



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA DEL AGUA Y MEDIO AMBIENTE

Plan de Adaptación al Cambio Climático en la Demarcación del Júcar

junio de 2022

Con el apoyo:



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



VICEPRESIDENCIA
PRIMERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Oficina Española de Cambio Climático

Informe elaborado por:

Miguel Ángel Pérez Martín

Clara Estrela Segrelles

Instituto de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, IIAMA-UPV.

Universitat Politècnica de València

Colaboración de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar:

Arancha Fidalgo Pelarda

Laura Tanco Ballesteros

Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor o autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto

ÍNDICE

Preámbulo.....	1
1 Informe resumen.....	1
2 Introducción	1
3 Marco Normativo	1
4 Caracterización Climática de la Demarcación.....	9
5 Escenarios de Cambio Climático	23
6 Principales impactos asociados al cambio climático	39
7 Evaluación de los riesgos asociados al cambio climático	43
8 Medidas de Adaptación.....	105
9 Participación pública.....	115
10 Referencias.....	117

Índice detallado

Preámbulo.....	1
1 Informe resumen.....	1
2 Introducción	1
3 Marco Normativo	1
3.1 Ley de Cambio Climático	2
3.2 Planificación Hidrológica	5
4 Caracterización Climática de la Demarcación.....	9
4.1 Régimen climático medio	9
4.1.1 Régimen de precipitaciones	10
4.1.2 Régimen de temperaturas	11
4.1.3 Régimen nival	12
4.1.4 Evapotranspiración potencial	14
4.1.5 Humedad del suelo y estrés hídrico	15
4.1.6 Régimen hidrológico	16
4.2 Régimen Climático extremo.....	18
4.2.1 Precipitaciones máximas diarias y horarias.....	18
4.2.2 Caudales máximos en la demarcación	20
4.2.3 Situaciones de sequía	21
5 Escenarios de Cambio Climático	23
5.1 Variaciones en la precipitación.....	25
5.2 Variaciones en la temperatura	26
5.3 Elevación del nivel del mar	28
5.4 Variación en la hidrología	29
5.5 Variaciones en la precipitación máxima diaria y horaria	30
5.5.1 Precipitación máxima diaria	31
5.5.2 Precipitación máxima horaria.....	34
5.6 Variaciones en la frecuencia y magnitud de las sequias.....	36
6 Principales impactos asociados al cambio climático	39
6.1 Impactos que afectan al estado de las masas de agua.....	39
6.2 Impactos que afectan a las actividades socioeconómicas	41
7 Evaluación de los riesgos asociados al cambio climático	43

7.1	Riesgos asociados a cambios en el régimen de caudales	45
7.1.1	Régimen medio de caudales	46
7.1.2	Recarga a los acuíferos	50
7.1.3	Cambio de ríos permanentes a ríos temporales	52
7.1.4	Cambio en el tipo de ecotipo de las masas de agua superficiales	53
7.1.5	Afección al ciclo de vida de las especies	54
7.1.6	Cambio en la concentración de contaminantes y cambio en los parámetros químicos.....	56
7.1.7	Aumento del estrés hídrico en la vegetación natural de la Demarcación.....	58
7.1.8	Cambios en hábitat de la vegetación natural de la cuenca.....	59
7.1.9	Cambios en el transporte de sedimentos	61
7.2	Riesgos asociados a cambios en el régimen de extremos	62
7.2.1	Crecidas y riesgo de inundaciones.....	63
7.2.2	Efecto del cambio climático en las sequías.....	64
7.2.3	Aumento en la frecuencia incendios forestales.....	65
7.3	Riesgos asociados al incremento de temperatura	66
7.3.1	Impactos sobre el régimen hidrológico	67
7.3.2	Reducción en el contenido de oxígeno disuelto.....	68
7.3.3	Reducción del hábitat potencial de las especies piscícolas de aguas frías (Trucha Común).....	69
7.3.4	Afección a las familias de macroinvertebrados.....	70
7.3.5	Incremento en el riesgo de eutrofización de lagos y humedales.....	71
7.3.6	Aumento de las necesidades de agua.....	72
7.3.6.1	Necesidades de riego de los cultivos	72
7.3.6.2	Necesidades de agua refrigeración de centrales térmicas y nucleares	79
7.3.6.3	Aumento del estrés hídrico de los cultivos.....	80
7.3.6.4	Uso urbano, industrial y otros usos de agua	83
7.3.7	Especies invasoras	84
7.4	Riesgos asociados al ascenso del nivel del mar.....	86
7.4.1	Riesgos en las masas de agua subterráneas.....	87
7.4.2	Riesgos en las zonas húmedas costeras.....	88
7.4.3	Riesgos en las masas de agua de transición.....	91
7.4.4	Riesgos en los sistemas costeros	92

7.5	Riesgos en la gestión del sistema.....	96
7.5.1	Balances sistemas de explotación.....	97
7.5.2	Balances masas de agua subterráneas	99
7.5.3	Reducción en la producción hidroeléctrica.....	102
7.5.4	Efectos en la producción piscícola.....	103
8	Medidas de Adaptación.....	105
8.1	Medidas de adaptación para el buen estado de las masas de agua ...	106
8.2	Medidas de adaptación de las infraestructuras hidráulicas.....	109
8.3	Medidas de adaptación de la gestión	110
8.3.1	Medidas de adaptación en la gestión de sistemas de explotación .	110
8.3.2	Medidas de adaptación en la gestión de aguas subterráneas	113
9	Participación pública.....	115
10	Referencias.....	117

Índice de figuras

Figura 1. Consideración del cambio climático en la planificación y gestión del agua.....	2
Figura 2. Mapa de precipitación anual media en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980 (PHJ, 2021).	10
Figura 3. Precipitación anual y media mensual media en la DHJ periodos 1940/41-1979/80 y desde 1980 (PHJ, 2021).....	10
Figura 4. Mapa de temperatura media diaria en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).	11
Figura 5. Temperatura media diaria anual y temperatura media diaria mensual en la DHJ periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).	11
Figura 6. Mapa volumen de nieve almacenado en la DHJ, periodo 1980/81-2017/18 (PHJ, 2021).	12
Figura 7. Volumen medio anual de nieve y régimen de nieve mensual con nieve almacenada y deshielo en la DHJ (PHJ, 2021).	12
Figura 8. Mapa de deshielo anual en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).	13
Figura 9. Deshielo anual y media mensual en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).....	13
Figura 10. Mapa de evapotranspiración anual en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).	14
Figura 11. Evapotranspiración anual y evapotranspiración mensual en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).	14
Figura 12. Humedad del suelo anual y media mensual en la DHJ (PHJ, 2021).	15
Figura 13. ET potencial, ET real y déficit de agua media mensual en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).	15
Figura 14. Mapa de aportaciones acumuladas en la red fluvial en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).	16
Figura 15. Aportación anual y régimen hidrológico en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).	16
Figura 16. Régimen hidrológico en río Júcar, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).	17
Figura 17. Infiltración de lluvia en la Demarcación del Júcar, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).	17
Figura 18. Mapas de lluvias máximas diarias, T 10 años, T100 años, T500 años (CEDEX, 2011).	18
Figura 19. Mapa de lluvias máximas horarias, T 10 años, T100 años, T500 años.	19

Figura 20. Mapas caudales máximos, T 50 años, T100 años, T500 años (CEDEX, 2021).....	20
Figura 21. Plan Especial de Sequía de la Demarcación y definición del índice de sequía prolongada y del índice de escasez de la demarcación.	21
Figura 22. Indicador de sequía prolongada en la DHJ, SPI-12 meses.....	22
Figura 23. Indicador de escasez en la DHJ, índice de estado.	22
Figura 24. Definición de escenarios de Cambio Climático. RCP Representative Concentration Pathways (van Vuuren et al, 2011).	23
Figura 25. Evolución de emisiones de CO ₂ asociadas a los escenarios de Cambio Climático RCP.	24
Figura 26. Anomalía de la temperatura superficial media global para los escenarios de Cambio Climático.	24
Figura 27. Mapa anual de anomalía relativa en la precipitación, media de modelos (Adaptecca).....	25
Figura 28. Anomalía relativa en la precipitación mensual en la Demarcación del Júcar RCP8.5 (Adaptecca).....	25
Figura 29. Anomalía de la temperatura superficial mínima (arriba) y máxima (abajo) diaria anual para la CHJ, media de modelos.....	26
Figura 30. Anomalía de la temperatura superficial media diaria para el mes de agosto para España, media de modelos.	27
Figura 31. Anomalía de la temperatura media, máxima y mínima mensual en la Demarcación del Júcar RCP4.5 y RCP 8.5 (Adaptecca).....	27
Figura 32. Cambio (%) en las principales variables hidrológicas en los tres PI respecto al PC para la DH del Júcar. Rango y media de resultados para RCP 4.5 (círculos) y RCP 8.5 (cuadrados).	29
Figura 33. Plan de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI-Júcar, 2021) y estudio Impacto del Cambio climático en las precipitaciones máximas diaria (CEDEX, 2021).....	30
Figura 34. Tasa de cambio en la precipitación máxima diaria (CEDEX, 2021)...	30
Figura 35. Tasas de cambio en cuantil medias significativas para precipitación diaria máxima anual, para T=10, 100 y 500 años (horizontal) y para el corto, medio y largo plazo (vertical), en base a modelos climáticos comunes para el modelo SQRT-R en RCP 4.5 en la DH del Júcar (PGRI-Júcar).	31
Figura 36. Tasas de cambio en cuantil medias significativas para precipitación diaria máxima anual, para T=10, 100 y 500 años (horizontal) y para el corto, medio y largo plazo (vertical), en base a modelos climáticos comunes para el modelo SQRT-R en RCP 8.5 en la DH del Júcar (PGRI-Júcar, 2021).	32
Figura 37. Tasas de cambio en cuantil medias significativas para precipitación horaria máxima anual, para T=10, 100 y 500 años para el corto, medio y largo	

plazo, en base a modelos climáticos comunes para el modelo SQRT-R en RCP 4.5 en la DH del Júcar (PGRI-Júcar, 2021).	34
Figura 38. Tasas de cambio en cuantil medias significativas para precipitación horaria máxima anual, para T=10, 100 y 500 años para el corto, medio y largo plazo, en base a modelos climáticos comunes para el modelo SQRT-R en RCP 8.5 en la DH del Júcar (PGRI-Júcar, 2021).	35
Figura 39. Índice histórico de sequía edáfica en la cabecera de la cuenca del Júcar.	36
Figura 40. Aumento de la probabilidad de sequía edáfica en la cabecera del río Júcar en los escenarios de cambio climático (Pérez Martín et al., 2015).	36
Figura 41. Cambios en los periodos de retorno de las sequías hidrológicas en la Demarcación de Júcar en los escenarios de cambio climático (CEDEX, 2017). ..	37
Figura 42. Esquema de la metodología propuesta para la determinación del riesgo asociado al cambio climático.	43
Figura 43. Esquema de riesgos asociados a cambios en el régimen hidrológico.	45
Figura 44. Régimen hidrológico actual y en los escenarios de cambio climático para las aportaciones naturales de la Demarcación.	47
Figura 45. Variación porcentual en la red fluvial por efecto del cambio climático en el primer trimestre del año natural según las RCP4.5 y 8.5 y puntos significativos de aportación para los modelos de gestión (PHJ, 2021).	47
Figura 46. Régimen hidrológico actual y en los escenarios de cambio climático para las aportaciones naturales en el río Júcar, Turia y Mijares.	48
Figura 47. Infiltración mensual a los acuíferos actual y en los escenarios de cambio climático para las aportaciones naturales.	50
Figura 48. Masa de agua que pasan de ríos permanentes a temporales.	52
Figura 49. Modelo de población de peces para los diferentes estados de vida de la especie (Rahel et al., 1996).	54
Figura 50. Resultados obtenidos en para los diferentes estados biológicos de la especie, incubación, desove y predesove (Rahel et al., 1996).	55
Figura 51. Reducción porcentual en el número de individuos en los escenarios de cambio climático (Rahel et al., 1996).	55
Figura 52. Masas de agua impactadas por nutrientes, resultados del modelo RREA.	56
Figura 53. Concentración de nitrato en la situación actual y en el escenario de cambio climático, resultados del modelo Patrical, aguas subterráneas GW (izquierda) y aguas superficiales SW (derecha).	57
Figura 54. Humedad del suelo media mensual para el periodo histórico reciente y en el escenario de cambio climático RCP8.5 para final de siglo.	58

Figura 55. Estrés hídrico para el periodo histórico reciente y en el escenario de cambio climático RCP8.5 para final de siglo.....	58
Figura 56. Cambios en el hábitat de la especie <i>Quercus rotundifolia</i> (Felicísimo, Á. M. (coord.) 2011.).....	59
Figura 57. Identificación de las áreas con mayor pérdida de biodiversidad vegetal (Felicísimo, Á. M. (coord.) 2011.).....	60
Figura 58. Esquema conceptual de la UTE 4 Turia.....	64
Figura 59. Riesgo mensual de aparición de incendios forestales, índice FWI, en los escenarios de cambio climático en la cabecera del Júcar	65
Figura 60. Mapa de peligrosidad para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, para el corto (2010-2040) medio (2040-2070) y largo plazo (2070-2100).....	66
Figura 61. Régimen hidrológico actual y en los escenarios de cambio climático para las aportaciones naturales influenciadas por el deshielo, río Júcar en Cuenca y río Cabriel en Cuenca.....	67
Figura 62. Niveles de oxígeno requeridos para las diferentes especies.....	68
Figura 63. Evolución del Mapa de Riesgo de reducción de oxígeno disuelto en el agua largo del tiempo. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.....	68
Figura 64. <i>Salmo trutta</i> (Trucha común)	69
Figura 65. Evolución del Mapa de Riesgo de reducción de oxígeno disuelto en el agua largo del tiempo. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.....	69
Figura 66. Familias de Macroinvertebrados	70
Figura 67. Evolución del Mapa de Riesgo de reducción de oxígeno disuelto en el agua largo del tiempo. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.....	70
Figura 68. Ejemplo de Bloom de algas en la situación actual (superior) y con un incremento de la temperatura del agua de 2°C (medio plazo) y de 4°C (largo plazo).....	71
Figura 69. Necesidades de riego para los cítricos en la situación actual y los escenarios de cambio climático para el futuro cercano y final de siglo con el escenario RCP8.5 considerando una reducción de las estomas de 50%	74
Figura 70. Necesidades de riego para el maíz en la situación actual y los escenarios de cambio climático para el futuro cercano y final de siglo con el escenario RCP8.5 considerando una reducción en la conductancia de las estomas del 50%	76
Figura 71. Necesidades de riego para el maíz en la situación actual y los escenarios de cambio climático para el futuro cercano y final de siglo con el escenario RCP8.5 considerando una reducción en la conductancia de las estomas del 50%	76
Figura 72. Centrales térmicas en la Demarcación del Júcar (PHJ, 2021).....	79
Figura 73. Fecha de siembra del trigo según variedades (Agrusa, 2022).....	80

Figura 74. Rango térmico del ciclo del cultivo de trigo, para plantación inicios de octubre, noviembre y diciembre, y temperatura media en Cuenca.	81
Figura 75. Estrés hídrico actual en el cultivo para la plantación el 1 de octubre y el 1 de noviembre en Cuenca.	81
Figura 76. Rango térmico del ciclo del cultivo de trigo, para plantación inicios de octubre, noviembre, y temperatura media en Cuenca en el escenario de cambio climático a medio plazo y largo plazo.	82
Figura 77. Probabilidad de presencia potencial y presencia actual (en negro) en los ámbitos de Júcar y Segura (FIC-UPM, 2020)	84
Figura 78. Mapas de presencia potencial futura en España en los escenarios de cambio climático modelizados (Zambrano, J., 2021)	85
Figura 79. Esquema de penetración de la cuña salina.	87
Figura 80. Masas de agua subterráneas en riesgo de avance significativo de la cuña salina.	87
Figura 81. Evaluación del riesgo del aumento del nivel medio del mar en L'Albufera de Valencia y afección a los actuales niveles de gestión del lago.	88
Figura 82. Superficie por debajo del nivel del mar bajo los escenarios de cambio climático en L'Albufera de Valencia.	89
Figura 83. Evaluación del riesgo del aumento del nivel medio del mar en L'Albufera de Valencia.	89
Figura 84. Evaluación del riesgo del aumento del nivel medio del mar en L'Albufera de Valencia y afección a los actuales niveles de gestión del lago.	90
Figura 85. Avance del nivel del mar en las masas de agua junto a la desembocadura.	91
Figura 86. WEI y Grado de explotación CTA (abstracciones/recurso renovable) bajo el escenario de cambio climático a largo plazo en los sistemas de explotación de la Demarcación.	98
Figura 87. Sistema de recursos hídricos del río Júcar (PHJ, 2021).	98
Figura 88. Grado de explotación actual en las masas de agua subterráneas de la Demarcación.	100
Figura 89. Variación en el índice de explotación basado únicamente en la reducción de aportaciones en el medio plazo.	101
Figura 90. Grado de explotación bajo el escenario de cambio climático a medio plazo en las masas de agua subterráneas de la Demarcación.	101
Figura 91. Centrales hidroeléctricas en la Demarcación del Júcar (PHJ, 2021).	102
Figura 92. Acuicultura en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (PHJ, 2021).	103
Figura 93. Modelo térmico del río (Pérez-Martín et al., 2022).	106

Figura 94. Ajuste entre la temperatura del agua calculada y observada en el tramo de río analizado, para un grado de cobertura vegetal del 62% (Pérez-Martín et al., 2022).....	107
Figura 95. Incremento de temperatura en el largo plazo y efecto en la temperatura del agua (Pérez-Martín et al., 2022).....	107
Figura 96. Efecto en la temperatura del agua en la hipótesis de cambio climático con un grado de cobertura vegetal del 90% (Pérez-Martín et al., 2022).	107
Figura 97. Infraestructura de reaireación y enfriamiento de agua: Sidestream Elevated Pool Aeration station in the Chicagoland Cal-Sag Channel and Calumet River (fte: Metropolitan Water Reclamation District).	108
Figura 98. Infraestructura de reaireación y enfriamiento de agua: Sidestream Elevated Pool Aeration (SEPA) stations.....	109
Figura 99. Grado de explotación CTA (abstracciones/recurso renovable) bajo el escenario de cambio climático a largo plazo en los sistemas de explotación de la Demarcación.....	111
Figura 100. Grado de explotación WEI (derivaciones/recurso renovable) y CTA (abstracciones/recurso renovable) bajo el escenario de cambio climático a medio plazo en los sistemas de explotación de la Demarcación.	112

Índice de tablas

Tabla 1. Escenarios de aumento del nivel del mar.....	28
Tabla 2. Variaciones en los recursos hídricos debidos al cambio climático	29
Tabla 3. Porcentaje de celdas en la DH del Júcar que presenta cambio en cuantil significativo positivo (“+”) o negativo (“-”) respecto a la precipitación diaria máxima anual para la mayoría de modelos climáticos comunes (izquierda). Valor medio en la DH del Júcar de las tasas de cambio en cuantil en las celdas con cambios significativos asociadas al percentil 10, a la media, y al percentil 90 (expresadas en %), resultantes del ajuste del modelo SQRT-R para precipitación diaria máxima anual en base a los modelos (derecha) (PGRI-Júcar, 2021)	33
Tabla 4. Impactos en los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados.....	40
Tabla 5. Impactos en los usos del agua.....	41
Tabla 6. Cambios en las variables hidrológicas en la demarcación (PHJ, 2021) .	46
Tabla 7. Variación porcentual de las aportaciones en los puntos significativos de la red fluvial (PHJ, 2021).....	49
Tabla 8. Variación porcentual de la recarga de lluvia a los acuíferos (PHJ, 2021)	51
Tabla 9. Masas de agua que cambian de ecotipo	53
Tabla 10. Porcentajes de cambio en la precipitación diaria máxima anual acumulada en relación al modelo SQRT-R para el periodo de impacto 2041-2070 en los subtramos ARPSIs fluviales o pluviales de la DH del Júcar con cambios superiores al 10% (PGRI-Júcar, 2021)	63
Tabla 11. Índice FWI, índice KBDI y número potencial de incendios forestales al año en la cabecera del Júcar (Pérez-Martín et al. 2015)	65
Tabla 12. ETP y necesidades de riego para los cítricos en la Provincia de Valencia, actual y bajo los escenarios de cambio climático RCP8.5 en el futuro cercano y en el futuro lejano considerando la reducción máxima en la ETo por el cierre de las estomas.....	73
Tabla 13. Necesidades de riego para los críticos y los frutales con hueso en la situación actual y en los escenarios de cambio climático, caso de reducción de la conductancia de las estomas del 25%.	75
Tabla 14. Necesidades de riego para los críticos y los frutales con hueso en la situación actual y en los escenarios de cambio climático, caso de reducción de la conductancia de las estomas del 50%.	75
Tabla 15. Necesidades de riego para el maíz, el trigo, la cebada y la vid en la situación actual y en los escenarios de cambio climático considerando una reducción en la conductancia de las estomas del 25%.	77

Tabla 16. Necesidades de riego para el maíz, el trigo, la cebada y la vid en la situación actual y en los escenarios de cambio climático considerando una reducción en la conductancia de las estomas del 50%.	77
Tabla 17. Demanda de refrigeración de centrales en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (PHJ, 2021).....	79
Tabla 18. Balance de los sistemas de explotación y cálculo de los índices de explotación WEI y CTA para la situación actual, Plan Hidrológico.	97
Tabla 19. Balance de los sistemas de explotación y cálculo de los índices de explotación WEI y CTA el escenario de cambio climático a largo plazo, sin medias adicionales.	98
Tabla 20. Recurso renovable actual y en los escenarios de cambio climático.....	99
Tabla 21. Estimación del bombeo actual y en los escenarios de cambio climático.	99
Tabla 22. Determinación del índice de explotación en los escenarios de cambio climático.	100
Tabla 23. Afección del cambio climático en la producción hidroeléctrica (PHJ, 2021).....	102
Tabla 24. Repercusiones potenciales del cambio climático en los sistemas de acuicultura (MAGRAMA, 2014	104
Tabla 25. Balance de los sistemas de explotación y cálculo de los índices de explotación WEI y CTA el escenario de cambio climático a largo plazo, con medidas adicionales.	111

Preámbulo

Este documento es una guía para la elaboración del 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, establecido en el Real Decreto 1159/2021, de 28 de diciembre, por el que se modifica el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.

Para su mejor comprensión se incluyen siempre que ha sido posible ejemplos aplicados en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. En los casos en los que no existe la información o no se han desarrollado los estudios, se realizan indicaciones en relación al alcance que tendrían que tener dichos estudios.

1 Informe resumen

Este resumen está destinado al público en general donde se describen:

- El marco general
- La caracterización climática
- Los escenarios de cambio climático considerados,
- Los principales riesgos asociados al cambio climático en la Demarcación Hidrográfica
- Los principales ejes de las medidas de adaptación contempladas en el plan
- La participación pública realizada durante el plan

La Unión Europea ha impulsado el Pacto Verde Europeo, European Green Deal, cuyo objetivo es transformar la UE en una economía moderna, eficiente en el uso de los recursos y competitiva, garantizando: la reducción de las emisiones netas de gases de efecto invernadero en 2050; el crecimiento económico esté disociado del uso de recursos; y no haya personas ni lugares que se queden atrás.

Concretamente en España la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética introduce la elaboración de los análisis de los riesgos derivados del Cambio Climático, 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; y 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.

Posteriormente, el Real Decreto 1159/2021, de 28 de diciembre, por el que se modifica el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica, introduce la elaboración del 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, y establece los contenidos de estos estudios, los cuales se describen a continuación.

La caracterización climática de la Demarcación Hidrográfica del Júcar identifica las condiciones medias a lo largo del año de las principales variables meteorológicas e hidrológicas de la Demarcación, como son la precipitación,

temperatura, caudales, recarga a los acuíferos y otras. El clima de la Demarcación varía de húmedo en la zona norte y el interior en las cabeceras de los ríos Júcar Cabriel y Turia, a un clima semiárido en la zona sur, el Vinalopó. Las principales variables climáticas para el periodo 1940/1980 son: precipitación anual media de 534 mm, temperatura media anual de 13.4 °C y una evapotranspiración potencial ET de 954 mm/año. La evolución del clima reciente, media de 1980 a 2020, ha sido una reducción de la precipitación media anual a 492 mm/año, un incremento de temperatura media de 0.7 °C, con 14.1°C y un aumento en la evapotranspiración potencial a 974 mm/año. Estos cambios han producido un descenso en la cantidad anual de nieve y el consecuente deshielo, y han reducido los recursos naturales de la Demarcación desde el año 1980, tanto los recursos superficiales como la recarga a los acuíferos. Los datos disponibles muestran una tendencia hacia una situación de menor lluvia y mayor temperatura, lo que produce una disminución en los recursos hídricos anuales y en la humedad del suelo en primavera.

El régimen climático extremo de la Demarcación Hidrográfica del Júcar se caracteriza por una fuerte irregularidad en las lluvias máximas diarias, con valores mucho más elevados en la zona costera, donde se pueden alcanzar valores superiores a 300 mm/día para periodos de retorno de 100 años. Por otro lado, en la Demarcación hidrográfica se producen sequías de 2-3 años de duración en ciclos recurrentes de aproximadamente 10-11 años.

Los escenarios de cambio climático indican para Demarcación Hidrográfica del Júcar un aumento progresivo de la temperatura del aire 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. La precipitación media anual se irá reduciendo a lo largo del siglo, llegando a una reducción hasta el 10% RCP4.5 y el 20% RCP8.5 a final de siglo en función del escenario considerado. La combinación de ambos factores produce en los recursos hídricos en la Demarcación Hidrográfica del Júcar una reducción en el largo plazo entre un 21% a un 36% dependiendo del escenario de emisiones, produciéndose esta reducción de forma paulatina a lo largo del siglo. Para el escenario RCP8.5 en el largo plazo y teniendo también en cuenta el descenso en la evapotranspiración debido al incremento en la concentración de CO₂ en la atmósfera que produce una reducción en la conductancia de las estomas, la reducción en los recursos naturales se situaría entre el 25 y el 30%. Además, se producirá un aumento en la aparición de sequías y los estudios indican aumentos en la precipitación máxima horaria, existiendo todavía grandes incertidumbres en la determinación de si se producirán incrementos significativos en las precipitaciones máximas diarias. Finalmente, se producirá un incremento de 0.8 m en el nivel del mar a final de siglo.

Los cambios proyectados en la precipitación, en la temperatura del agua y en el ciclo hidrológico producirán a su vez **importantes impactos**, los cuales se han agrupado en dos tipologías: impactos que afectan al buen estado de las masas de agua y los ecosistemas asociados, especialmente a los procesos ecológicos, las especies y hábitats ligados a los ecosistemas acuáticos, e impactos que afectan a las actividades socio económicas.

Los impactos que afectan al buen estado de las masas de agua se han identificado: 15 principales impactos que afectan las masas de agua superficiales y 3 principales impactos que afectan a las masas de agua subterráneas. El ascenso de temperaturas y la reducción de caudales favorecerán procesos de eutrofización, el aumento de la concentración de los contaminantes, y la reducción del oxígeno disuelto que pueden reducir los nichos actuales de muchas especies de agua dulce. También, la reducción del hábitat de las especies piscícolas de aguas frías y las afecciones a los macroinvertebrados son otros impactos significativos que afectan al buen estado de las masas de agua.

Respecto a los impactos que afectan a las actividades socioeconómicas estos se agrupan en impactos en el abastecimiento urbano, en la agricultura, en la producción de energía hidroeléctrica, en los usos recreativos y la acuicultura. En el sector urbano se identifican 6 grandes impactos relacionados con cambios en la disponibilidad del agua, como la pérdida de garantía hídrica por el descenso en los recursos disponibles, o el empeoramiento de la calidad del agua debido al aumento en la concentración de contaminantes y el aumento de la precipitación máxima diaria. En el sector agrícola también se identifican 6 principales impactos correspondientes al aumento del 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. También se han identificado impactos en el sector energético, con la pérdida en la producción de energía hidroeléctrica por la reducción de caudales, así como posibles afecciones en los procesos de refrigeración de centrales termoeléctricas por el aumento de la temperatura del agua. Finalmente, los usos recreativos y la acuicultura pueden verse afectados igualmente por el aumento en la concentración de contaminantes, y la reducción de caudales y de oxígeno, entre otros factores.

El análisis de riesgos derivados del cambio climático para los impactos identificados previamente incluye el análisis de los riesgos establecidos en el artículo 19 de la Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética, los cuales se agrupan en: riesgos asociados al cambio en el régimen de caudales, riesgos asociados a cambios en el régimen de extremos, riesgos asociados al incremento de la temperatura y riesgos asociados a la elevación del nivel del mar. Además, se incluye otro grupo con los riesgos en la gestión y sostenibilidad del sistema.

La evaluación del riesgo se utiliza el enfoque establecido por el IPCC (2014) de $\text{Riesgo} = \text{Peligrosidad} \cap \text{Exposición} \cap \text{Vulnerabilidad}$. 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 (Estrela-Segrelles et al, 2020).

Los riesgos derivados de los impactos previsibles sobre los regímenes de caudales hidrológicos y los recursos disponibles de los acuíferos, definidos en el

artículo 19 punto 3 apartado a, se han desarrollado en los siguientes riesgos: régimen medio de caudales; recarga a los acuíferos; cambio de ríos permanentes a ríos temporales; cambio en el tipo de ecotipo de las masas de agua superficiales; afección al ciclo de vida de las especies; cambio en la concentración de contaminantes y cambio en los parámetros químicos; aumento del estrés hídrico en la vegetación natural de la Demarcación; cambios en hábitat de la vegetación natural de la cuenca; y cambios en el transporte de sedimentos.

Los recursos medios en la Demarcación, así como la recarga a los acuíferos se reducirá en el entorno de un 25-30% hacia final de siglo, produciéndose un cambio en el régimen hidrológico medio, reduciéndose fundamentalmente la recarga a los acuíferos en primavera y con cambios aún por determinar en el transporte de sedimentos. Un elevado número de masas de agua superficiales, fundamentalmente en los tramos de cabecera, pasará de ser ríos permanentes a ríos intermitentes o estaciones, lo cual afectará de forma significativa a las condiciones de esas masas de agua y a los ecotipos asociados. El cambio en el régimen hidrológico también generara cambios en el hábitat de las especies de peces y en el ciclo de vida de dichas especies que deben ser evaluados. En términos generales, la concentración de contaminantes aumentará al mantenerse la carga de vertidos en un caudal circulante menor y se produce un aumento en el estrés hídrico de la vegetación natural, con una reducción en la humedad del suelo en primavera, que puede, junto con otras variables, modificar los hábitats potenciales de las diferentes especies de vegetación natural.

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, definidos en el artículo 19 punto 3 apartado b, incluidos son: el incremento de caudales máximos de las crecidas en la demarcación y la evaluación de los riesgos asociados obtenidos en los planes de gestión del riesgo de inundación en la demarcación; el aumento en la frecuencia e intensidad de las sequías; y el aumento en el número de incendios forestales.

Se ha identificado un aumento en las lluvias máximas diarias en las áreas con riesgo potencial significativo de inundación (ARPSI) que puede ser del 10-20% e incluso del 20-30% en algunas zonas, lo cual genera caudales máximos mayores que pueden representar riesgos en estas áreas. Aumenta la frecuencia y la intensidad de las sequías, y el número de incendios forestales se duplicará en el futuro.

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, definidos en el artículo 19 punto 3 apartado c, parten de los mapas de peligrosidad que incluyen el incremento de temperatura en el agua, con 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) para el mes de agosto. Los riesgos analizados e incluidos en este apartado son: impactos sobre el régimen hidrológico; reducción en el contenido de oxígeno disuelto; reducción del hábitat potencial de las especies piscícolas de aguas frías (Trucha Común); afección a las familias de macroinvertebrados; incremento en el riesgo de eutrofización de lagos y

humedales; aumento de las necesidades de agua para los diferentes usos agrícola, urbano e industrial y refrigeración centrales energéticas; y la aparición de especies invasoras.

El incremento medio de temperatura del agua en agosto se estima entre 1.0 y 1.4°C en el corto plazo, 2010-2040, entre 1.8 y 2.4°C en el medio plazo, 2040-2070, y entre 2.4 y 4.2 °C en el largo plazo, 2070-2100. En el conjunto del año, la temperatura media anual del agua se estima que se incrementará en 0.7 y 0.8°C en el corto plazo, 2010-2040, entre 1.3 y 1.9°C en el medio plazo, 2040-2070, y entre 1.7 y 3.1 °C en el largo plazo, 2070-2100.

Este aumento de temperatura producirá una menor acumulación de nieve, el adelanto de los caudales máximos asociados al deshielo y la pérdida de la regulación natural de los caudales asociada a la acumulación de nieve y el posterior deshielo. En el caso del río Júcar en la ciudad de Cuenca los caudales medios elevados (percentil 90%) se trasladan de los meses de marzo a abril a los meses de diciembre, enero y febrero con las consiguientes afecciones al ciclo de vida de las especies. En otras Demarcaciones este adelanto puede producir caudales superiores a los que se producen en la actualidad.

El aumento de temperatura del agua producirá una reducción en el hábitat potencial para las especies de aguas frías, una reducción en el oxígeno disuelto en el agua y afectará a los macroinvertebrados. En el largo plazo, 2070-2100, entre 55% y el 80% masas de agua tienen un riesgo alto o muy alto de pérdida de hábitat para las especies de aguas frías al superarse la barrera termal. Entre 21% y 32% masas de agua tienen un riesgo alto o muy 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. Finalmente, entre 83% y 92% masas de agua tienen un riesgo alto o muy alto de afección a los macroinvertebrados, que supera al 50% de los individuos. En todos los casos, el número de masas en riesgo alto y muy alto va aumentando significativamente a lo largo del siglo XXI.

También, el incremento de temperatura aumenta la actividad biológica en lagos y la movilización del fósforo en los sedimentos y puede producir un incremento en el crecimiento de algas aumentando los procesos de eutrofización.

Respecto a las necesidades de riego, el incremento de temperatura aumenta la evapotranspiración, y el cambio en el patrón de lluvias hacen que aumenten las necesidades de riego. Sin embargo, la mayor concentración de CO₂ en la atmósfera produce una reducción significativa, puede llegar al 50%, en la conductancia de las estomas por lo que se produce una reducción en la evapotranspiración de la vegetación. La combinación de todos estos efectos produce, según las hipótesis consideradas, que no se produzca un incremento en las dotaciones netas de agua o que este incremento se sitúe entre el 10% y el 20%.

Los riesgos derivados de los impactos posibles del ascenso del nivel del mar, definidos en el artículo 19 punto 3 apartado b, que son: riesgos en las masas de

agua subterráneas; riesgos en las zonas húmedas costeras; riesgos en las masas de agua de transición; riesgos en los sistemas costeros.

Los análisis realizados muestran que la elevación del nivel del mar supone un riesgo para los humedales costeros, entre los que destaca la Albufera de Valencia, donde el paulatino incremento en el nivel del mar conllevará a una elevación de la cota de agua dentro del lago, al objeto de evitar la entrada de agua salada al mismo. Este aumento repercutirá en la gestión del lago y en los tiempos de renovación del agua del lago. También, es evidente la afección a la zona costera y la mayor vulnerabilidad de la zona litoral.

Los principales riesgos para la gestión del sistema que se han considerado son los relativos al balance de agua para los sistemas de explotación y para las masas de agua subterráneas, los efectos en la producción hidroeléctrica y en la producción piscícola.

Los resultados de la sostenibilidad de los sistemas bajo el escenario de cambio climático a largo plazo, donde únicamente se han reducido los recursos naturales en función de los resultados de los escenarios de cambio climático, muestran un claro incremento de los índices de explotación WEI (water exploitation index, derivaciones/recurso renovable) y CTA (consumption-to-availability, consumo/recurso renovable). Los recursos naturales descienden y se mantienen las derivaciones y las abstracciones de agua, por lo que ambos índices aumentan. En el conjunto de la Demarcación el WEI pasa de 0.9 a 1.2, Por sistemas, el indicador asciende fundamentalmente en los sistemas con mayor índice en la actualidad, pasando de valores en el entorno de 1.2-1.6 a valores en el entorno de 1.6-1.7, con valores en el sistema Vinalopó de 1.4 a 1.7.

De igual forma el índice CTA afecta en mayor medida a los sistemas que en la actualidad tienen valores más elevados. Los sistemas se dividen en dos grupos, un primer grupo con valores por debajo de 0.4, umbral de estrés, y un segundo grupo de sistemas con valores superior a 0.4 que además se incrementa más ese indicador. Globalmente el CTA pasa de 0.4 a 0.6, por lo que aumenta de forma considerable el estrés hídrico (umbral de estrés hídrico $CTA > 0.4$) en la Demarcación.

Los balances específicos de las masas de agua subterráneas, bajo el escenario de cambio climático a medio plazo, se mantiene que el 50% de la superficie de las masas de agua subterráneas tienen un índice de explotación k , menor al 0.4, lo que puede considerarse un grado de explotación baja con poco estrés hídrico. Por otra parte, destaca que se incrementa fuertemente la superficie con un índice de explotación superior a 0.8, dado que pasa de ser menos del 10% a ser aproximadamente del 30% de la Demarcación.

Los principales ejes de medidas de adaptación al cambio climático de la Demarcación se derivan de los análisis de riesgos anteriores y se han agrupado en tres tipologías: Medidas de adaptación para el buen estado de las masas de agua; Medidas de adaptación de las infraestructuras hidráulicas; Medidas de adaptación de la gestión.

En relación a las medidas de adaptación para el buen estado de las masas de agua, destacan las medidas que contribuyen a reducir la temperatura del agua y la concentración de contaminantes. La principal medida 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 este 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; la disposición de refugios térmicos, 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, y en los casos que sea necesario la implantación de infraestructuras de aireación y enfriamiento de las aguas (Sidestream Elevated Pool Aeration -SEPA- Stations)) que no suponga un obstáculo para el tránsito de especies en el río.

Para reducir la concentración de contaminantes, medidas para mejorar en los tratamientos de agua en las estaciones de depuración y la inclusión de infraestructuras de reaireación, enfriamiento y renaturalización del agua (SEPA) en su retorno a las masas de agua superficiales, los cuales pueden incluirse en las autorizaciones de vertido, al objeto de reducir la carga de contaminantes y mejorar su reintegración al medio. También medidas para reducir la aplicación de nutrientes, mediante la aplicación de la fertirrigación, para fundamentalmente reducir su efecto final en la concentración de nutrientes en las masas de agua superficiales.

En relación con las medidas de adaptación de las infraestructuras hidráulicas, con carácter general se propone mejorar el monitoreo de la temperatura del agua y del oxígeno disuelto en el agua en los embalses de regulación y en las masas de agua situadas aguas abajo de ellos. Se propone incluir como variables de decisión en la gestión de las sueltas de agua de los embalses la temperatura del agua y el contenido de oxígeno disuelto en el agua. Para conseguir este objetivo es necesaria la realización de medidas de adaptación de las infraestructuras para poder seleccionar la cota de desagüe del embalse, mediante torres multitoma, o combinar sueltas de la zona superficial con la zona profunda (BOR, 2020), en función de la temperatura objetivo en el río aguas abajo.

Por otra parte, la adaptación de los elementos de desagüe de embalses con el objeto de aumentar la aireación del agua a la salida del embalse y reducir la temperatura del agua, mediante el uso de válvulas de reaireación específicas o la inclusión de infraestructuras de reaireación y enfriamiento en ríos (SEPA)

permeables al tránsito de especies y que también contribuyan a reducir la temperatura del agua.

En relación a las medidas adaptación de la gestión, se incluyen medidas para la sostenibilidad de la gestión de los sistemas de explotación y se incluirán las medidas específicas para la sostenibilidad de las masas de agua subterráneas. Los principales ejes de medidas para mantener la sostenibilidad de la gestión de los sistemas de explotación son el aumento en la eficiencia en el riego, el aumento en el volumen de agua reutilizada y un incremento en el agua desalada en el sistema Vinalopó.

La mejora en la eficiencia de riego consigue reducir el agua derivada en los sistemas, reduciendo el número de recirculaciones de agua en el propio sistema y mejorando la calidad del agua. La eficiencia media tras la implantación de las medidas del Plan, de 0.52, se eleva a una eficiencia de 0.7 llegando a 0.75 en los sistemas Júcar y Marina Baja y de 0.85 en el sistema más estresado, el Vinalopó. Con estos valores en el medio plazo los sistemas presentan un índice WEI similar o mejor a los valores actuales.

Adicional a estas medidas, el aprovechamiento en la reutilización del volumen máximo derivado en la actualidad por los emisarios submarinos al mar, de aproximadamente 200 hm³/año, junto con el incremento en la desalación en el sistema Vinalopó, de 20 hm³/año a 40 hm³/año, hace que los sistemas de explotación recuperen el equilibrio que presentan en la actualidad, con valores de CTA entre 0.2 y 0.6.

El incremento en la reutilización de los actuales 42 hm³/año a los 65 hm³/año establecidos en el horizonte del Plan y a los 200 hm³/año propuestos, requiere el desarrollo de infraestructuras, para aprovechar todos los recursos que en la actualidad se vierten por los emisarios submarinos. Para aprovechar estos recursos es necesario el almacenaje de los volúmenes de agua regenerados y/o la renaturalización de estos caudales y su aprovechamiento para recarga a los acuíferos y/o fines ambientales.

La reutilización de aguas regeneradas, tratadas en estaciones de depuración de aguas residuales, y de aguas desaladas tiene el problema del elevado coste de la energía. En este sentido, la utilización de energía renovable, concretamente energía solar fotovoltaica, en los esquemas de depuración y reutilización de aguas regeneradas contribuye a obtener un precio del agua que sea competitivo y permita su integración en la gestión de los sistemas de recursos hídricos, mediante la utilización en el riego en los periodos de primavera y verano y, por otra parte, que pueda complementar caudales en ríos en los periodos de otoño e invierno, facilitando la modulación del régimen hidrológico, o recargar los acuíferos en este mismo periodo.

En el largo plazo, con la aplicación de las medidas indicadas se consigue unos valores similares del índice WEI para los sistemas de explotación y en el conjunto de la Demarcación este índice WEI 0.8 incluso es un poco mejor que el valor actual de 0.9. En el caso del índice CTA que indica el grado de estrés hídrico las medidas consiguen revertir este indicador sin llegar a alcanzar los valores

actuales. Es decir, se incrementa el estrés hídrico de los sistemas, pasando el CTA global de 0.4 a 0.5 para el largo plazo, teniendo algunos sistemas incrementos considerables en este indicador.

Finalmente, el plan incluirá un resumen del proceso de participación pública desarrollado durante la elaboración de este Plan.

2 Introducción

En los últimos años la temperatura está aumentando y los patrones de lluvia cambiando (Burkett, 2014, Gómez-Martínez, 2018). 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 a 2-3.8 °C a largo plazo. El aumento de temperatura afectará a los ecosistemas y al estado de las masas de agua superficial.

La Ley de cambio climático y Transición Energética 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 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 impactos analizados están asociados al incremento de temperatura del aire y el consecuente incremento de temperatura en el agua, siendo: la pérdida de hábitat en las especies de aguas frías, la reducción en el oxígeno disuelto en el agua y la afección a las especies de macroinvertebrados. 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)

Tras la aprobación de la modificación del Reglamento de la Planificación Hidrológica se incluye la elaboración de los planes de adaptación a los riesgos del cambio climático. Este documento sirve de referencia para la elaboración de los estudios específicos de adaptación al cambio climático en las demarcaciones hidrográficas, ofreciendo ejemplos de aplicaciones o recomendaciones para la elaboración del mismo.

3 Marco Normativo

El marco normativo en relación al cambio climático ha tenido un importante desarrollo en los últimos años en Europa y en España.

En el contexto europeo, la Directiva Marco de Aguas (DMA, 2000) no recoge el concepto de cambio climático, y actualmente a Unión Europea ha aprobado el Pacto Verde Europeo (European Green Deal), diciembre de 2020, cuyo objetivo es transformar la UE en una economía moderna, eficiente en el uso de los recursos y competitiva, garantizando que:

- hayan dejado de producirse emisiones netas de gases de efecto invernadero en 2050
- el crecimiento económico esté disociado del uso de recursos
- no haya personas ni lugares que se queden atrás.

La Comisión Europea adoptó un conjunto de propuestas para adaptar las políticas de la UE en materia de clima, energía, transporte y fiscalidad con el fin de reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero en al menos un 55 % de aquí a 2030, en comparación con los niveles de 1990.

En el contexto de España, el cambio climático no se recoge el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA, 2001), ni en la trasposición de la directiva Marco del Agua la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social que incluye, en su artículo 129 , la modificación del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por la que se incorpora al derecho español la Directiva 2000/60/CE, estableciendo un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

Es por primera vez en el Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH, 2007) y la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH, 2008) donde se hace referencia a él en relación a la posible reducción de recursos, efectos en las demandas y en los balances de agua. La reciente Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética (LCCTE), incluye un enfoque legal más amplio con la necesidad de evaluar los riesgos derivados del cambio climático en materia de aguas en: los cuales y acuíferos, los eventos extremos, el aumento de la temperatura y el aumento en el nivel del mar, y finalmente la modificación del reglamento de planificación hidrológica, Real Decreto 1159/2021, de 28 de diciembre, por el que se modifica el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica, incluye la elaboración de los planes de adaptación a los riesgos del cambio climático.

3.1 Ley de Cambio Climático

Con la entrada en vigor de la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética se amplían los requerimientos. El artículo 19 regula la consideración del cambio climático en la planificación y gestión del agua y dispone que la planificación y la gestión del agua deberán incluir los riesgos derivados del cambio climático. Se deberán considerar los riesgos derivados de los impactos previsibles sobre los regímenes de caudales hidrológicos, 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 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 (Figura 1).

Para abordar estos riesgos, la planificación hidrológica deberá, entre otros, anticiparse a los impactos previsibles del cambio climático, identificando y analizando el nivel de exposición y la vulnerabilidad de las actividades socioeconómicas y los ecosistemas, y desarrollando medidas que disminuyan tal exposición y vulnerabilidad y determinar la adaptación necesaria de los usos del agua compatibles con los recursos disponibles.

Estos requerimientos, también están en línea con los objetivos de desarrollo sostenible 6. Agua limpia y saneamiento, 13. Acción por el clima y 15. Vida de ecosistemas terrestres de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

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

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

Conseguir la seguridad hídrica para las personas, para la protección de la biodiversidad y para las actividades socioeconómicas ...**reduciendo la exposición y vulnerabilidad al cambio climático e incrementando la resiliencia**

Riesgos derivados del cambio climático:

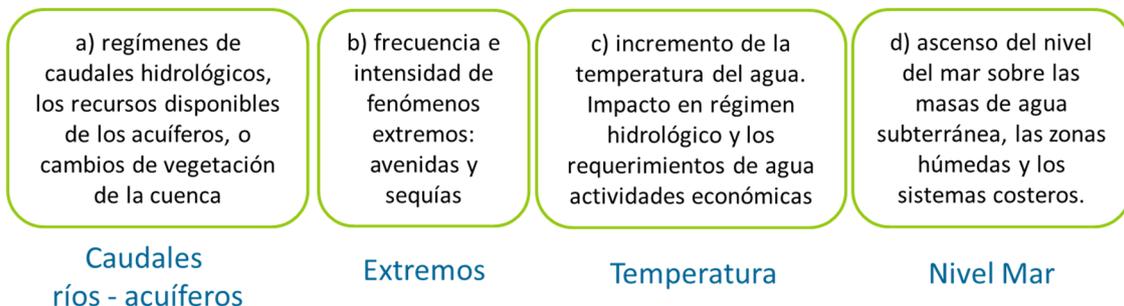


Figura 1. Consideración del cambio climático en la planificación y gestión del agua

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4. Con objeto de abordar los riesgos citados, la planificación y gestión hidrológica deberá:

- a) *Anticiparse a los impactos previsibles del cambio climático, identificando y analizando el nivel de exposición y la vulnerabilidad de las actividades socio-económicas y los ecosistemas, y desarrollando medidas que disminuyan tal exposición y vulnerabilidad. El análisis previsto en este apartado tomará en especial consideración los fenómenos climáticos extremos, desde la probabilidad de que se produzcan, su intensidad e impacto.*
 - b) *Identificar y gestionar los riesgos derivados del cambio climático en relación con su impacto sobre los cultivos y las necesidades agronómicas de agua del regadío, las necesidades de agua para refrigeración de centrales térmicas y nucleares y demás usos del agua.*
 - c) *Considerar e incluir en la planificación los impactos derivados del cambio climático sobre las tipologías de las masas de agua superficial y subterránea y sus condiciones de referencia.*
 - d) *Determinar la adaptación necesaria de los usos del agua compatibles con los recursos disponibles, una vez considerados los impactos del cambio climático, y con el mantenimiento de las condiciones de buen estado de las masas de agua.*
 - e) *Considerar los principios de la Estrategia del Agua para la Transición Ecológica para la adaptación y mejora de la resiliencia del recurso y de los usos frente al cambio climático en la identificación, evaluación y selección de actuaciones en los planes hidrológicos y en la gestión del agua.*
 - f) *Incluir aquellas actuaciones cuya finalidad expresa consista en mejorar la seguridad hídrica mediante la reducción de la exposición y la vulnerabilidad y la mejora de la resiliencia de las masas de agua, dentro de las que se incluyen las medidas basadas en la naturaleza.*
 - g) *Incluir en la planificación los impactos derivados de la retención de sedimentos en los embalses y las soluciones para su movilización, con el doble objetivo de mantener la capacidad de regulación de los propios embalses y de restaurar el transporte de sedimentos a los sistemas costeros para frenar la regresión de las playas y la subsidencia de los deltas*
 - h) *Elaborar el plan de financiación de las actuaciones asegurando la financiación para abordar los riesgos del apartado primero.*
 - i) *Realizar el seguimiento de los impactos asociados al cambio del clima para ajustar las actuaciones en función del avance de dichos impactos y las mejoras en el conocimiento.*
5. *En el marco de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación se considerará la necesidad de medidas de control de avenidas mediante actuaciones de corrección hidrológico forestal y prevención de la erosión.*

3.2 Planificación Hidrológica

La planificación hidrológica en España se regula principalmente mediante el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica y la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. Las referencias al cambio climático se incluyen en el Reglamento y en la Instrucción de Planificación.

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

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

En su artículo 11 establece:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) recoge y desarrolla los contenidos del Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH) y del texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA).

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

Por una parte, los apartados 2.4.6 y 3.5.2 son un desarrollo de los 2 artículos anteriores, con prácticamente el mismo contenido que el reglamento salvo la inclusión de una tabla con porcentajes de reducción de la aportación natural para cada una de las demarcaciones hidrográficas con el objetivo de incorporar el efecto del cambio climático en los planes hidrológicos en ausencia de modelos más precisos.

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

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

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

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

La modificación del reglamento de planificación hidrológica, Real Decreto 1159/2021, de 28 de diciembre, por el que se modifica el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica. Incluye la elaboración de los planes de adaptación a los riesgos del cambio climático con los siguientes contenidos:

«Artículo 4 bis. Adaptación al cambio climático.

1. 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. Dicho estudio analizará, al menos, los siguientes aspectos:

a) Escenarios climáticos e hidrológicos, incorporando la variabilidad espacial y la distribución temporal.

b) Identificación y análisis de impactos previsibles, nivel de exposición y vulnerabilidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres dependientes del agua, así como de las actividades socioeconómicas relacionadas con los usos del agua en la demarcación.

c) Medidas de adaptación que disminuyan la exposición y la vulnerabilidad, en el marco de una evaluación de riesgos.

2. En la evaluación de riesgos considerada en el apartado anterior deberán identificarse y analizarse, al menos, los siguientes aspectos:

a) El nivel de exposición y vulnerabilidad de las actividades socioeconómicas y los ecosistemas, proponiendo medidas que disminuyan tal exposición y vulnerabilidad.

b) La afección producida sobre los distintos usos del agua, en términos de alteración de sus necesidades hídricas y de impactos sobre los mismos, incluyendo los usos industriales para la generación de energía.

c) Los impactos sobre la posible deriva en los parámetros definitorios de las tipologías de las masas de agua superficial y sus condiciones de referencia, recogidos en 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.

d) Los impactos derivados de la retención de sedimentos en los embalses y las posibles soluciones para su movilización.

e) La identificación y evaluación de actuaciones que sean consistentes con los principios de la Estrategia del Agua para la Transición Ecológica, reduciendo la exposición y la vulnerabilidad e incrementando la resiliencia de las masas de agua

3. El estudio específico de adaptación a los efectos del cambio climático de cada demarcación incluirá, al menos, los siguientes contenidos:

- a) Documento de síntesis, donde se describan los escenarios considerados, los principales riesgos asociados al cambio climático en la demarcación, y los principales ejes de las medidas de adaptación propuestas en el estudio.
- b) Introducción, con una breve descripción general de la demarcación.
- c) Descripción general del marco normativo existente, en el contexto de la Unión Europea y España.
- d) Caracterización climática e hidrológica de la demarcación. Incluirá tanto el régimen climático medio (de temperaturas, pluviométrico, nival, hidrológico), como el régimen extremo de sequías y eventos de lluvia.
- e) Escenarios de cambio climático seleccionados, con la descripción y análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero, y de sus consecuencias sobre el incremento de temperatura y los cambios en la precipitación.
- f) Definición del escenario hidrometeorológico probable al horizonte temporal que corresponda según el artículo 21.4.
- g) Principales impactos asociados al cambio climático que se identifican en la demarcación, tanto sobre las masas de agua y ecosistemas, como sobre las actividades socioeconómicas.
- h) Evaluación de los riesgos asociados al cambio climático derivados de: las variaciones en los regímenes hidrológicos y en los recursos disponibles de los acuíferos, el incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos, el incremento de la temperatura del agua y el ascenso del nivel de mar, valorando su afección sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres dependientes del agua, así como sobre los requerimientos hídricos de las actividades económicas.
- i) Medidas de adaptación, que permitan reducir la exposición y vulnerabilidad y aumentar la resiliencia, ayudando a conservar el buen estado de las masas de agua, a aumentar la seguridad en el suministro de agua y a afrontar los fenómenos extremos.»

4 Caracterización Climática de la Demarcación

La caracterización climática consiste en la identificación de las variables climáticas fundamentales de la Demarcación Hidrográfica tanto para el régimen medio como el régimen de extremos (extremales de sequías y precipitaciones máximas). La caracterización climática se obtiene de los trabajos de elaboración del Plan Hidrológico de la Demarcación, del Plan Especial de Sequías y del Plan de gestión del Riesgo de Inundación.

4.1 Régimen climático medio

El régimen climático medio se obtiene del Plan Hidrológico de cuenca 2022-2027, incluyendo la información del periodo 1940/41 a 1979/80 y del periodo disponible a partir del año 1980/81. La comparación de ambos periodos muestra la tendencia producida en el clima en la Demarcación en las últimas décadas.

En múltiples estudios se detecta un cambio significativo en las variables hidrológicas producido en el año 1980, el cual está relacionado con cambios en los patrones atmosféricos del atlántico norte NAO (Gómez-Martínez et al. 2018). En la actualidad se cuenta con un registro amplio de información anterior y posterior al año 1980 por lo que puede analizarse el clima anterior y posterior a este año y así determinar la existencia o no de una tendencia en los cambios hidrológicos en los últimos años y posteriormente analizar si esta tendencia es concordante o no con las previsiones de cambio climático para este siglo.

Las principales variables identificadas en la caracterización climática de la Demarcación son:

- Régimen de precipitaciones
- Régimen de Temperaturas máxima y mínima diaria (Tmax, Tmin)
- Régimen Nival (almacenamientos nieve, deshielo)
- Evapotranspiración potencial
- Humedad del suelo y estrés hídrico
- Régimen Hidrológico

Para incluir la variabilidad espacial y temporal de las series se incluyen los mapas medios anuales, la serie anual y el patrón medio mensual de cada una de las variables. El anexo nº 1 complementa la información de este apartado con los mapas medios mensuales.

4.1.1 Régimen de precipitaciones

Los mapas de precipitación media anual entre los periodos 1940/41-1979/80 y desde 1980 muestran un descenso en las precipitaciones, fundamentalmente en las zonas de cabecera y de interior en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

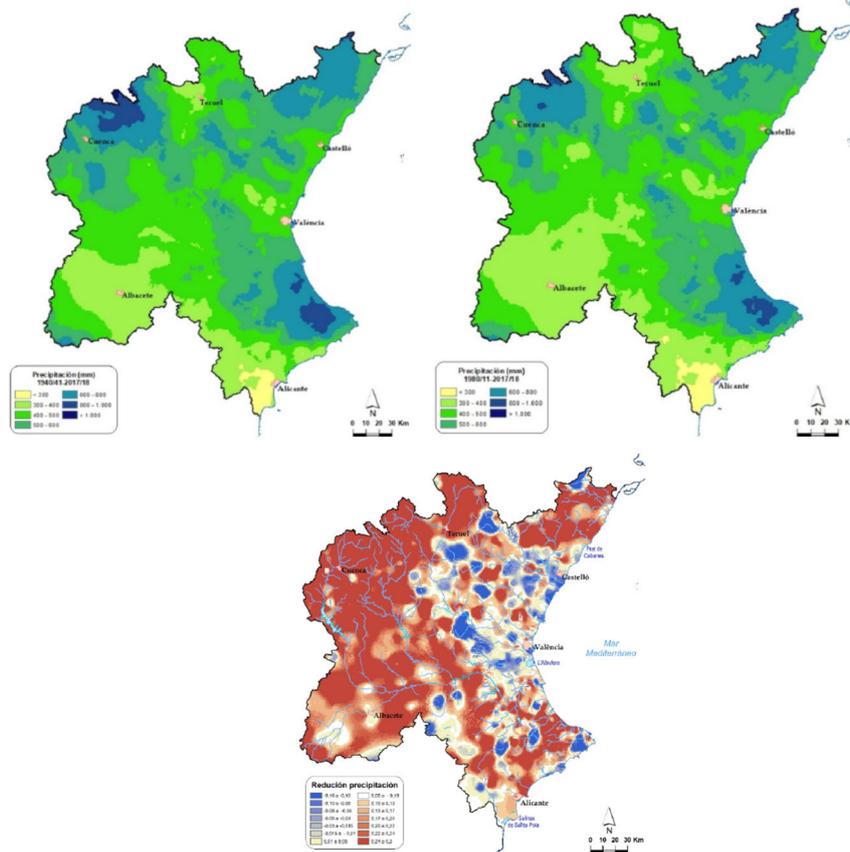


Figura 2. Mapa de precipitación anual media en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980 (PHJ, 2021).

La precipitación anual en toda la Demarcación pasa de 530 mm/año a 491 mm/año estando la reducción principalmente en los meses invernales de diciembre enero y febrero.

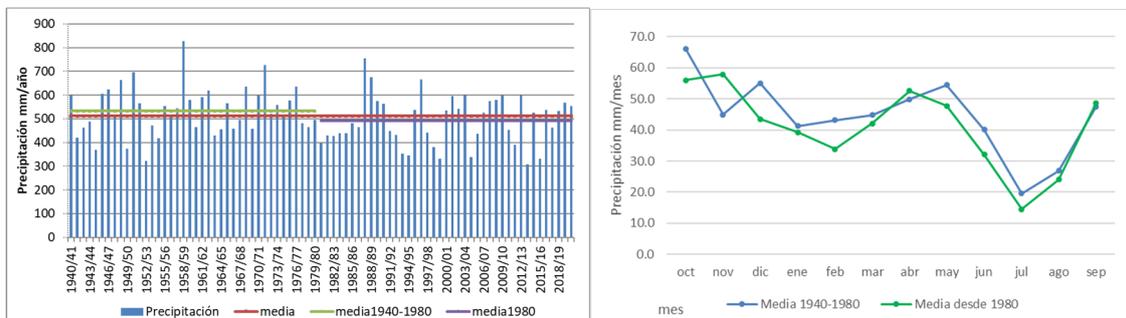


Figura 3. Precipitación anual y media mensual media en la DHJ periodos 1940/41-1979/80 y desde 1980 (PHJ, 2021).

4.1.2 Régimen de temperaturas

Los mapas de temperatura muestran un incremento de la temperatura con una reducción de las zonas frías, y elevación de la cota térmica.

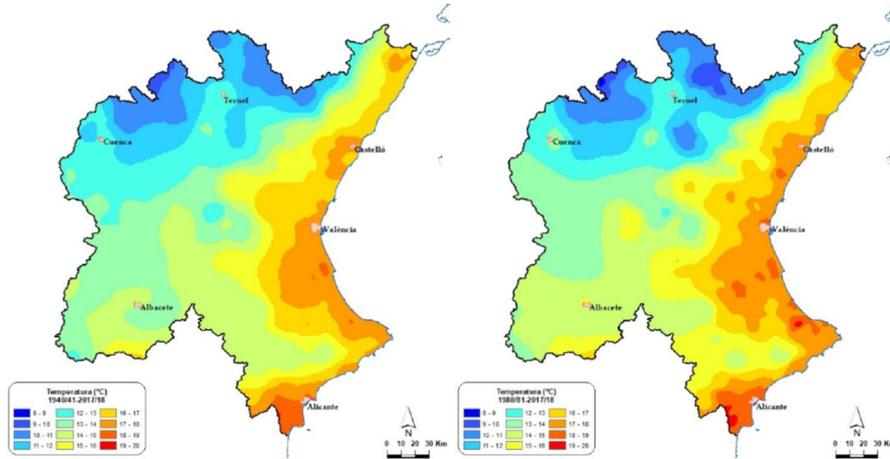


Figura 4. Mapa de temperatura media diaria en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).

La temperatura media diaria en la Demarcación ha aumentado 0.7 °C, con valores de incremento de hasta 0.9-1.2°C en los meses de verano, junio julio y agosto.

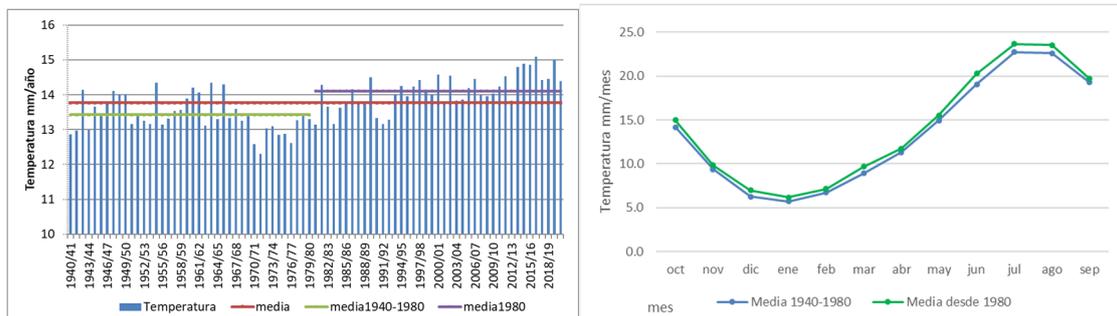


Figura 5. Temperatura media diaria anual y temperatura media diaria mensual en la DHJ periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).

Incluir este análisis también con temperatura media de las máximas y mínimas diarias de cada mes

4.1.3 Régimen nival

El mapa de almacenamiento medio de nieve muestra una reducción significativa en la nieve almacenada desde el año 1980. La nieve media almacenada en el periodo 1940-1980 es muy superior a la nieve almacenada después del año 1980. El almacenamiento de nieve se reduce tanto en cantidad como en superficie de las áreas geográficas donde se produce este almacenamiento.

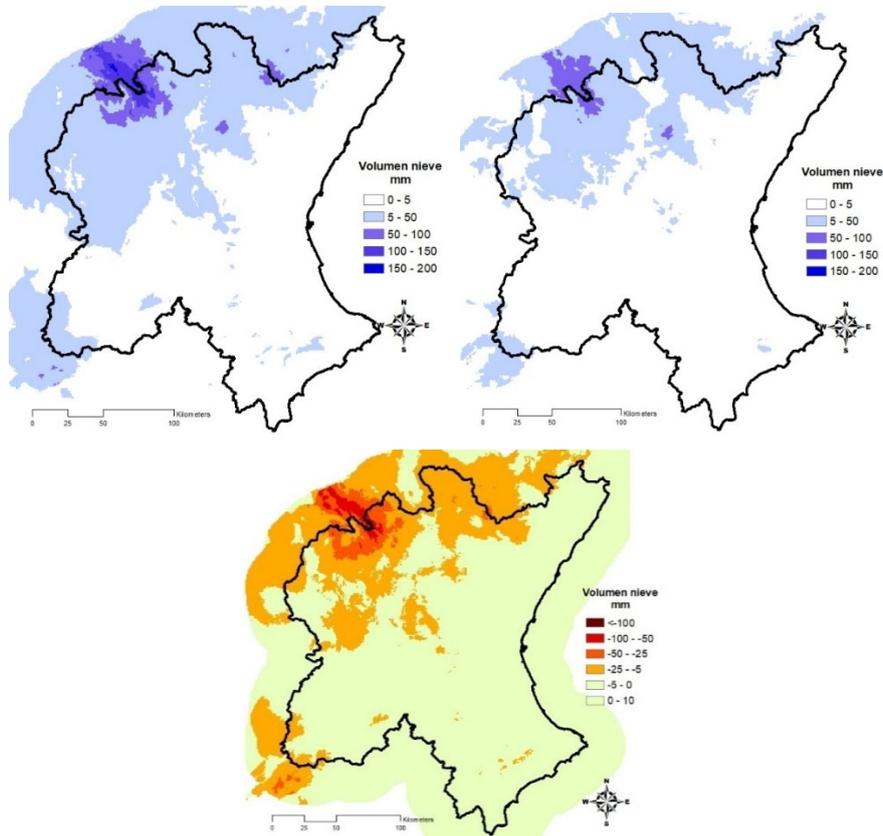


Figura 6. Mapa volumen de nieve almacenado en la DHJ, periodo 1980/81-2017/18 (PHJ, 2021).

El almacenamiento de nieve medio pasa de 8 mm/año a la mitad 4 mm/año y la distribución mensual del almacenamiento de nieve, disminuye fuertemente en todo el periodo invernal. El almacenamiento medio en la CHJ pasa de 30 mm a unos 15 mm.

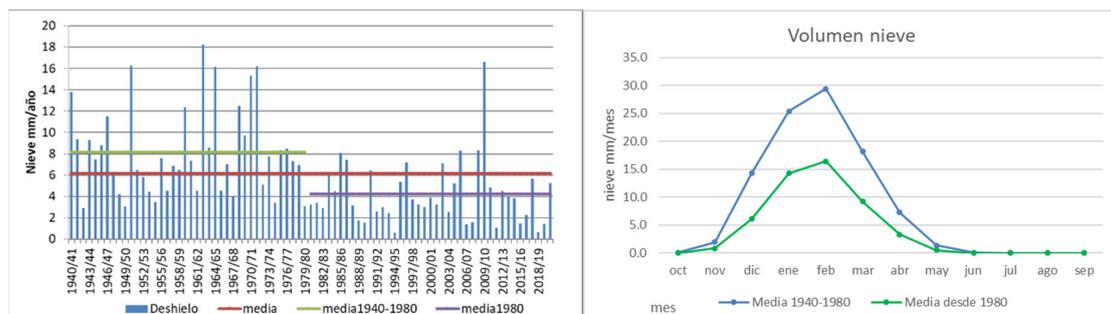


Figura 7. Volumen medio anual de nieve y régimen de nieve mensual con nieve almacenada y deshielo en la DHJ (PHJ, 2021).

Al igual que el almacenamiento de nieve, la cantidad de deshielo también se reduce tanto en extensión como en magnitud.

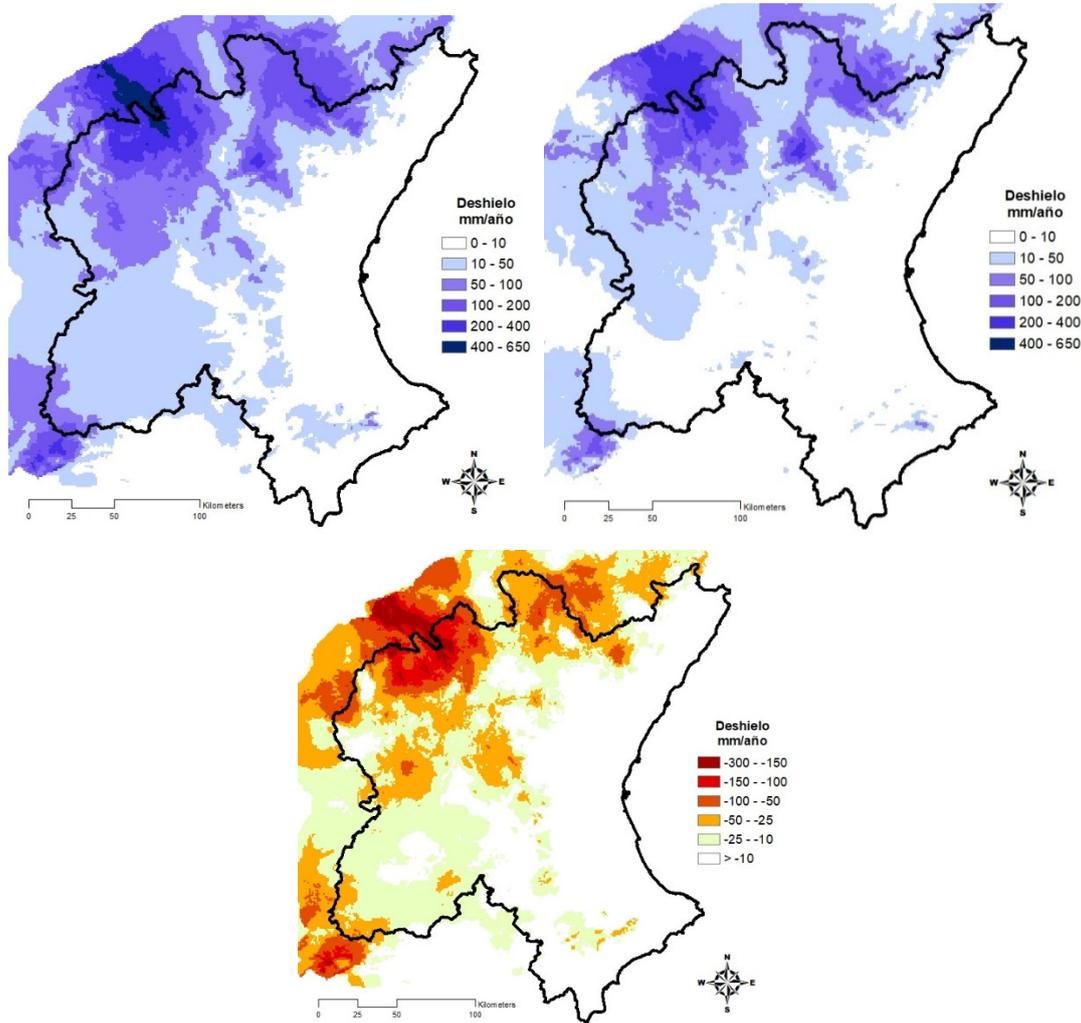


Figura 8. Mapa de deshielo anual en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).

El deshielo anual medio se reduce de 40 mm/año a 23 mm/año, reduciéndose prácticamente a la mitad en los meses de marzo y abril.

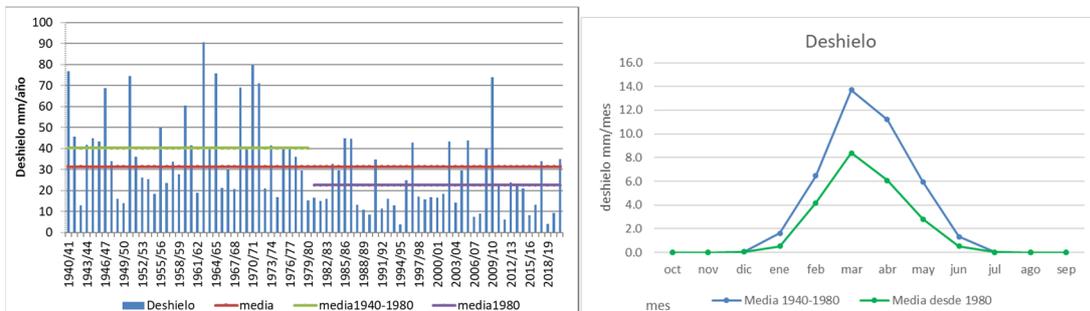


Figura 9. Deshielo anual y media mensual en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).

4.1.4 Evapotranspiración potencial

El aumento de temperatura registrado en los últimos años ha producido un aumento en la evapotranspiración potencial en la Demarcación

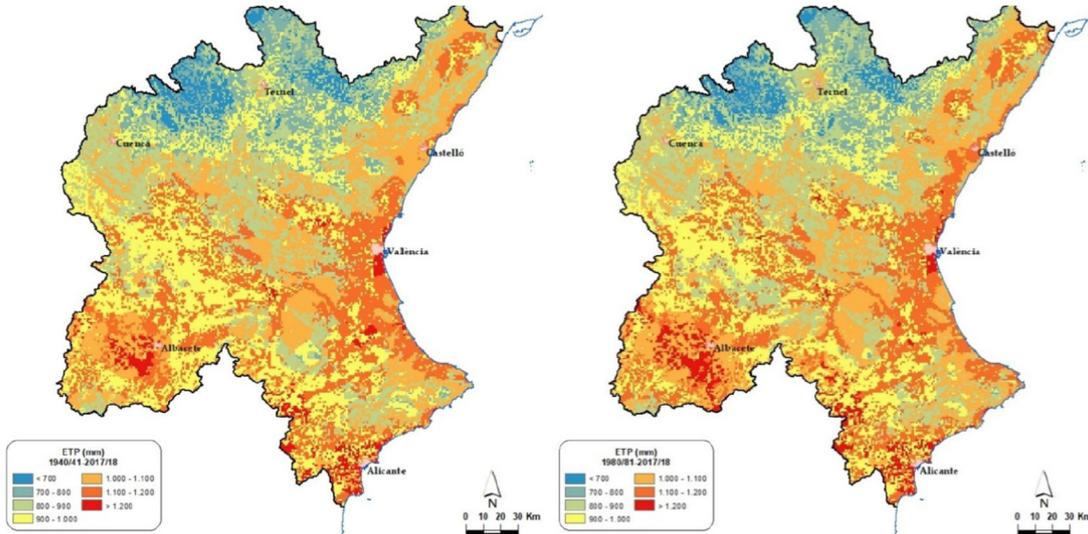


Figura 10. Mapa de evapotranspiración anual en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).

La evapotranspiración se ha incrementado en un 2%, pasando de 954 mm/año a 974 mm/año. El aumento mantiene la misma proporción a lo largo de todo el año.

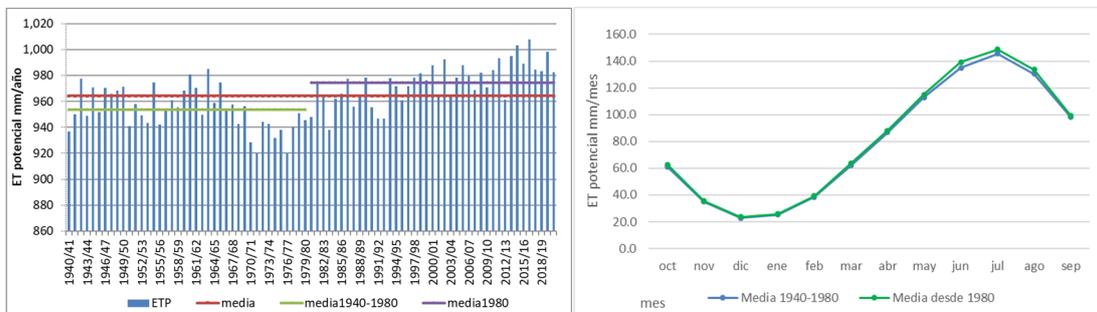


Figura 11. Evapotranspiración anual y evapotranspiración mensual en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).

4.1.5 Humedad del suelo y estrés hídrico

La humedad del suelo media anual también se reduce ligeramente desde el año 1980, produciéndose fundamentalmente esta reducción entre los meses de febrero a agosto.

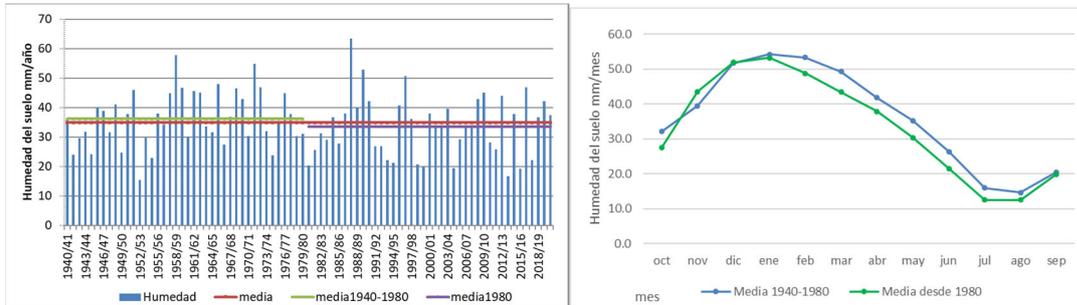


Figura 12. Humedad del suelo anual y media mensual en la DHJ (PHJ, 2021).

La diferencia entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real determina el déficit de agua de la vegetación. Este déficit de agua de la vegetación de la cuenca hidrográfica pasa de 508 mm/año en el periodo 1940-1980 a 558 mm/año en el periodo desde 1980. Esta variación supone que el estrés hídrico de la vegetación natural de la cuenca pase del 53% al 57% si se considera la media antes del año 1980 y la media después del año 1980.

El estrés hidrológico de la vegetación está relacionado con el tipo de vegetación que es capaz de resistir este estrés, la vegetación natural y la producción de los cultivos no regados. Y por otro lado determina las necesidades de riego para el mantenimiento de los cultivos.

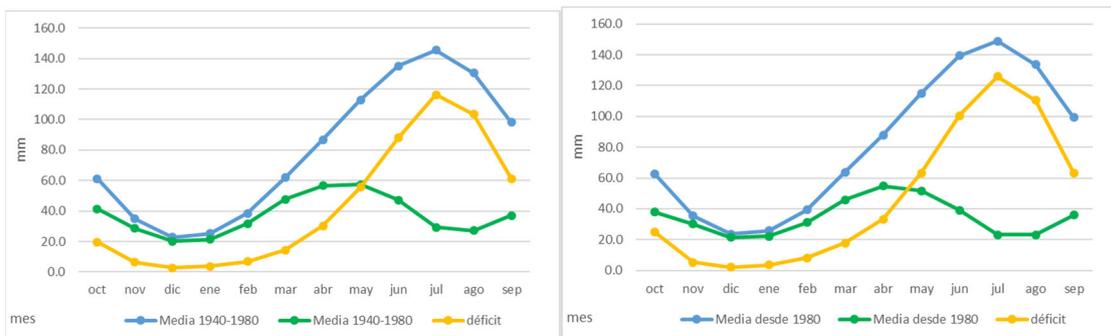


Figura 13. ET potencial, ET real y déficit de agua media mensual en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).

4.1.6 Régimen hidrológico

La reducción en la precipitación y el aumento en la temperatura, con el consecuente aumento en la evapotranspiración potencial, producen una reducción amplificada en las aportaciones naturales de la Demarcación, más acusada en las zonas de cabecera y del interior de la Demarcación.

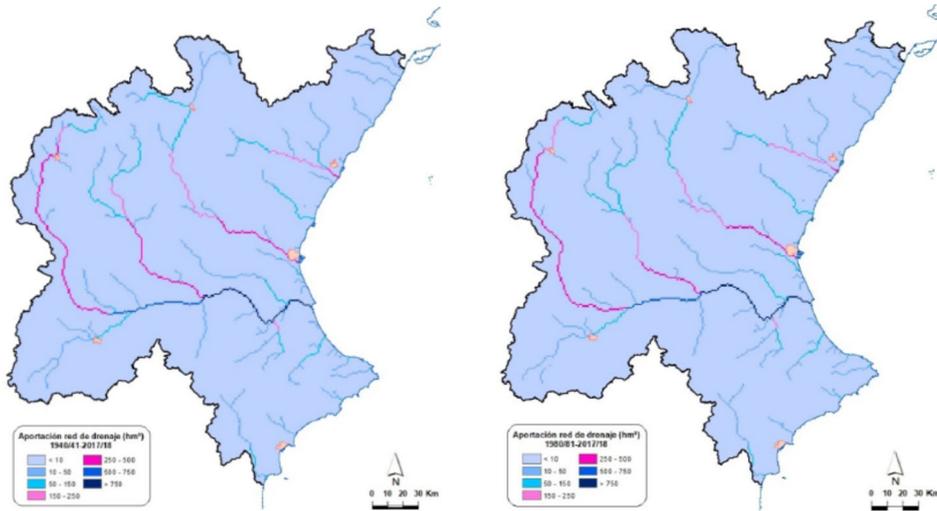


Figura 14. Mapa de aportaciones acumuladas en la red fluvial en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).

Las aportaciones naturales pasan de 3,400 hm³/año a 2,840 hm³/año, lo cual representa una reducción del 17%, repartida a lo largo de todo el año, pero siendo algo menor en los meses de octubre, noviembre y diciembre, donde tiene mayor peso la influencia de la zona costera.

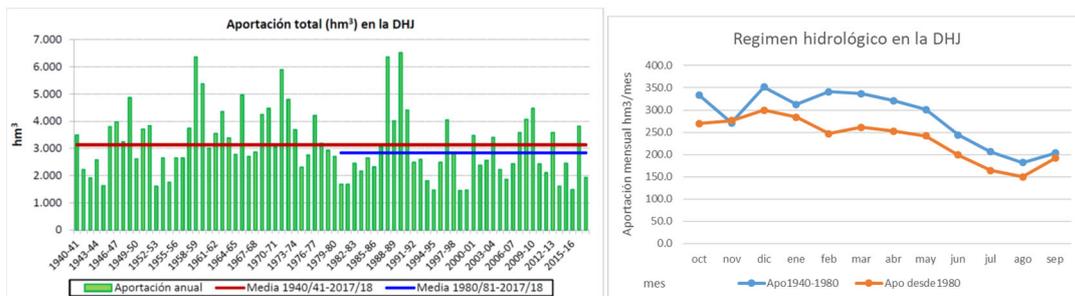


Figura 15. Aportación anual y régimen hidrológico en la DHJ, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).

En el caso del río Júcar, se produce un cambio en el régimen hidrológico fundamentalmente en los meses de febrero hasta agosto, relacionado con la reducción en las precipitaciones invernales.

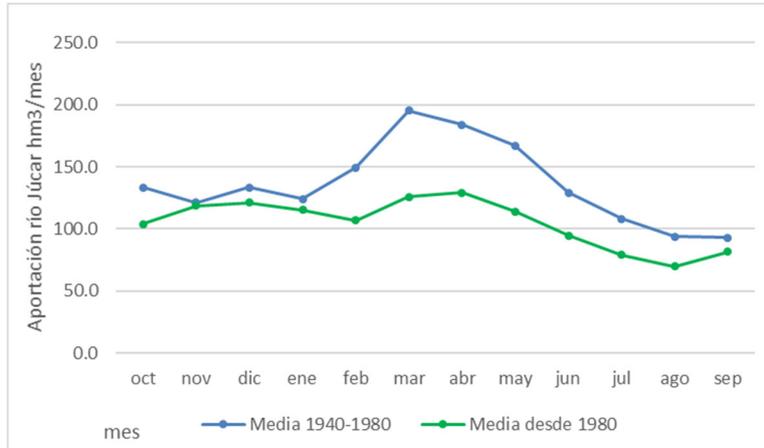


Figura 16. Régimen hidrológico en río Júcar, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).

La infiltración total a los acuíferos se reduce en los meses de febrero a mayo, con un descenso del 14% en la media del último periodo comparado con la media del periodo anterior.

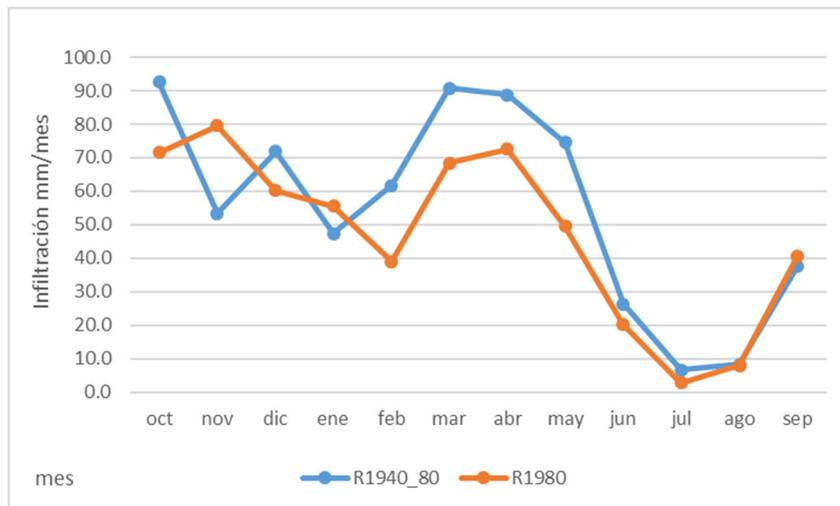


Figura 17. Infiltración de lluvia en la Demarcación del Júcar, periodo 1940/41-1979/80 y desde 1980/81 (PHJ, 2021).

4.2 Régimen Climático extremo

El régimen extremal se caracteriza por las precipitaciones máximas diarias y máximas horarias y por las situaciones de sequía.

4.2.1 Precipitaciones máximas diarias y horarias

En este apartado se incluye un resumen de la caracterización de los valores extremales de precipitación, incluyendo los mapas de precipitación máxima diaria y horaria para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años. El cual puede obtenerse de la publicación, Máximas lluvias diarias en la España peninsular (CEDEX, 1999) y del mapa de caudales máximos diarios (CEDEX, 2011).

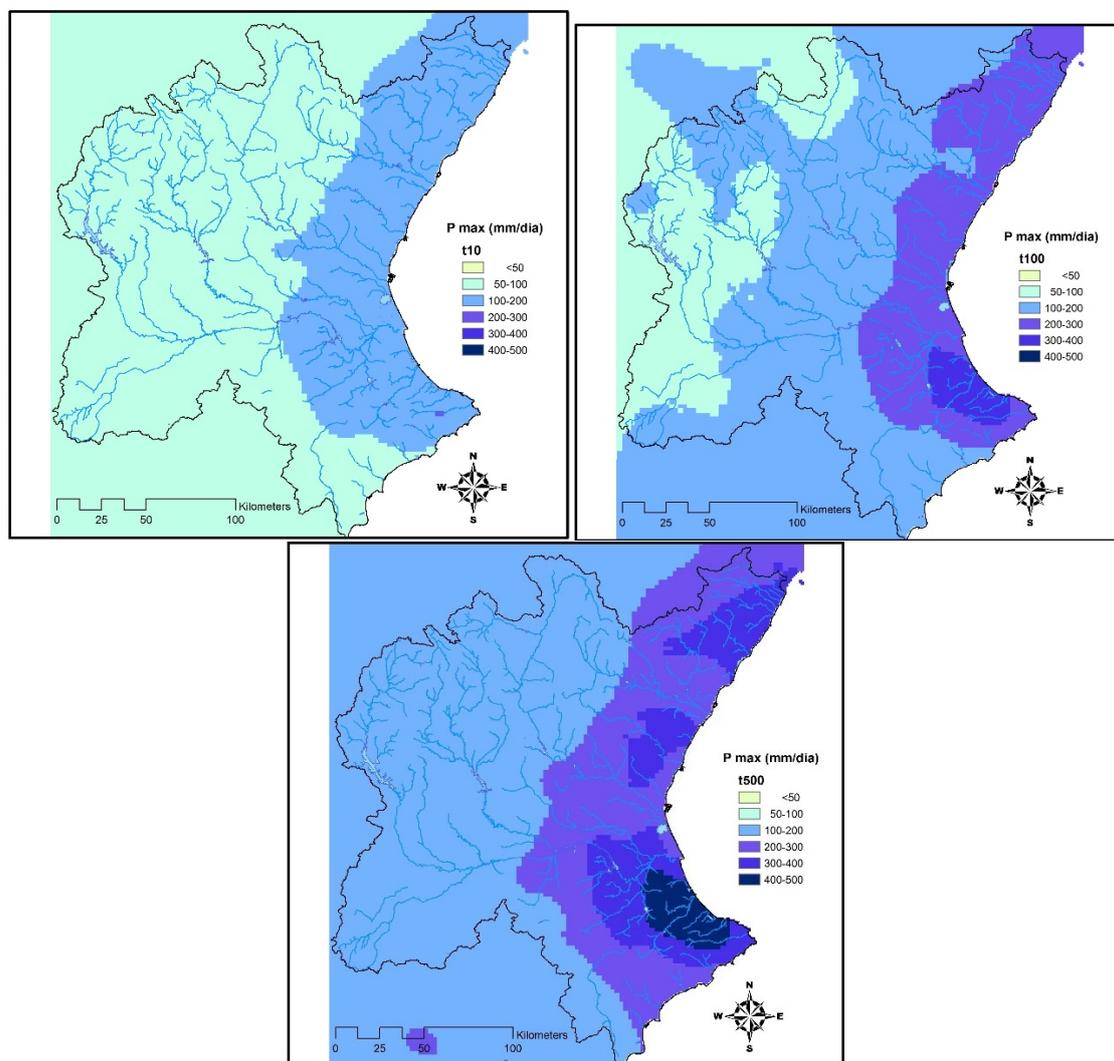
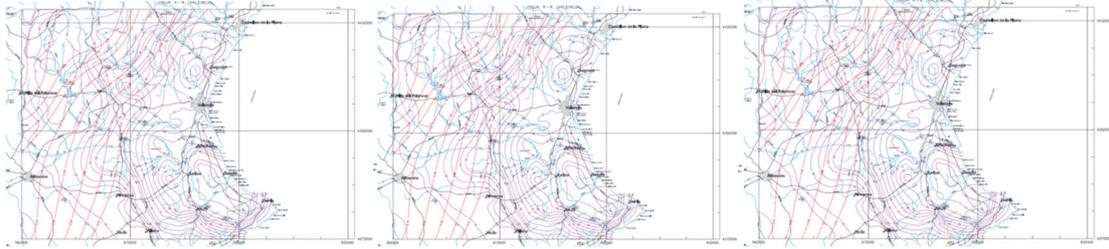


Figura 18. Mapas de lluvias máximas diarias, T 10 años, T100 años, T500 años (CEDEX, 2011).

Mapas de lluvia máxima horaria, igual al caso anterior

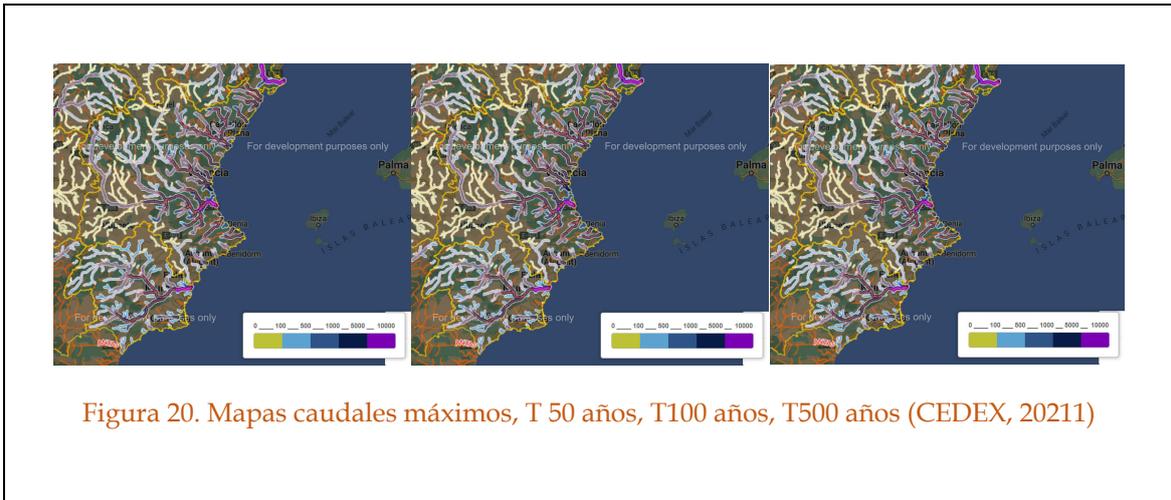


mapas de lluvias máximas horarias T10, T100 y T500, fuente CEDEX

Figura 19. Mapa de lluvias máximas horarias, T 10 años, T100 años, T500 años.

4.2.2 Caudales máximos en la demarcación

En este apartado se incluye una recopilación de los caudales máximos del Plan de gestión del riesgo de inundación de la demarcación (PGRI-J, 2021) y del Mapa de caudales máximos diarios (CEDEX, 2011), con un mapa de síntesis con los caudales máximos en la demarcación para los periodos de retornos T=50, 100 y 500 años.



4.2.3 Situaciones de sequía

En este apartado se incluye la caracterización de las sequías en la demarcación y los principales índices de sequía de la demarcación: el índice de sequía prolongada y el índice de escasez.

La caracterización de las sequías de la demarcación se elabora a partir de la información disponible en el Plan Especial de Sequías de la Demarcación. Incluyendo información de la periodicidad de las sequías, intensidad y magnitud medida de las sequías.

Los principales índices de sequías en la demarcación son el índice de sequía prolongada y el índice de escasez. El índice de sequía prolongada se obtiene aplicando el SPI (standard precipitation index) de 12 meses a las series de precipitación mensual disponibles. Por su parte, el índice de escasez se determina a partir de la aplicación del índice de estado (IEE) tal y como se establece en el Plan Especial de Sequías de la Demarcación.

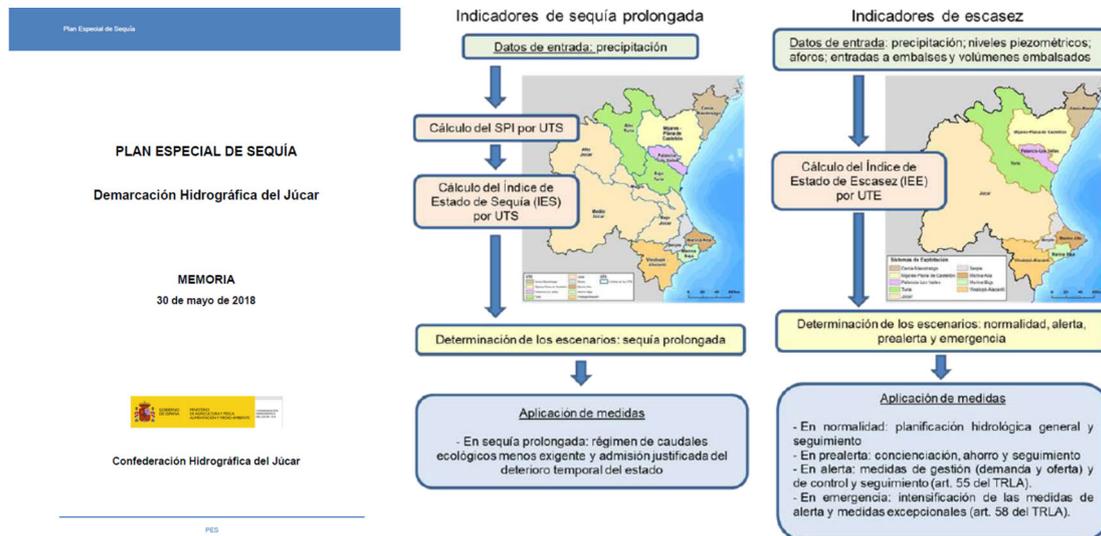


Figura 21. Plan Especial de Sequía de la Demarcación y definición del índice de sequía prolongada y del índice de escasez de la demarcación.

El índice de sequía prolongada de la demarcación muestra los principales periodos de sequía producidos en la demarcación desde que se disponen de series de datos homogéneas.

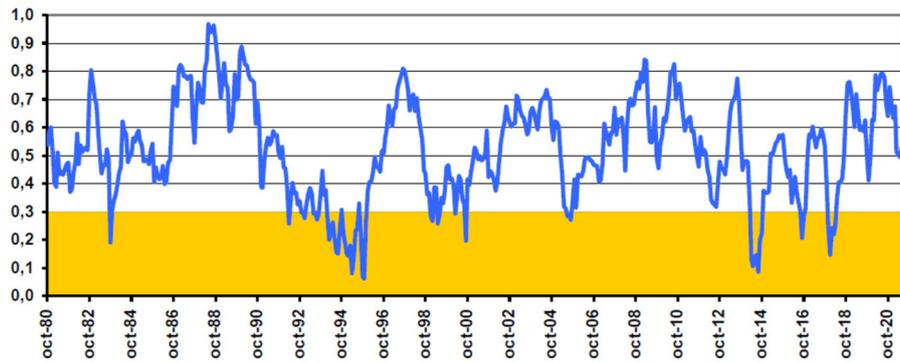


Figura 22. Indicador de sequía prolongada en la DHJ, SPI-12 meses.

El índice de estado muestra los periodos donde el sistema se ha encontrado en condiciones de sequía operativa desde que se dispone de información.

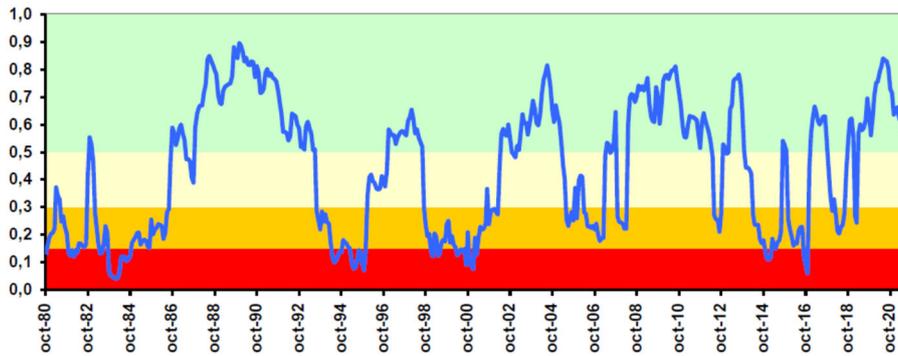


Figura 23. Indicador de escasez en la DHJ, índice de estado.

5 Escenarios de Cambio Climático

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, SSP2-4.5 (equivalente al anterior RCP4.5) y SSP5-8.5 (equivalente al anterior 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 determina el riesgo asociado al cambio climático en el territorio para cada uno de los impactos analizados, mediante la elaboración de mapas de riesgo.

Los escenarios considerados en este estudio 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 escenario RCP 4.5 establece que el forzamiento radiativo se estabiliza en 4.5W/m² a mitad de siglo XXI, con unos niveles de CO₂ en la atmósfera en el entorno de 650 ppm (en la actualidad se sitúa en 410 ppm). El escenario RCP 8.5 se corresponde con un forzamiento radiativo de 8.5W/m² a final de siglo XXI y con unos niveles asociados de CO₂ que superan las 1000 ppm a final de siglo.

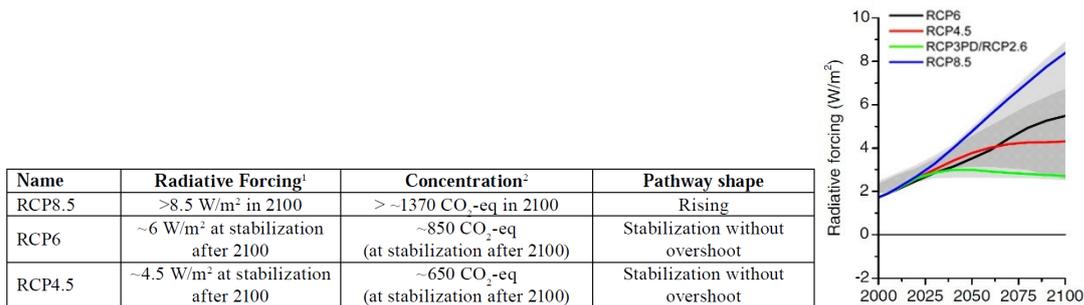


Figura 24. Definición de escenarios de Cambio Climático. RCP Representative Concentration Pathways (van Vuuren et al, 2011).

El conjunto de escenarios RCP 4.5 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 RCP 8.5 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.

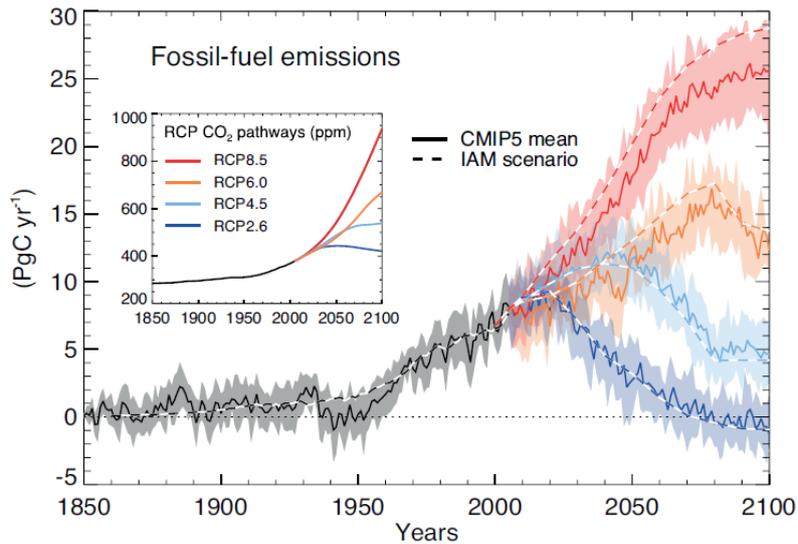


Figura 25. Evolución de emisiones de CO₂ asociadas a los escenarios de Cambio Climático RCP.

El incremento de temperatura del aire en superficie media global alcanzaría los 2°C a finales de siglo para los escenarios RCP4.5 y los 4°C para los escenarios RCP8.5.

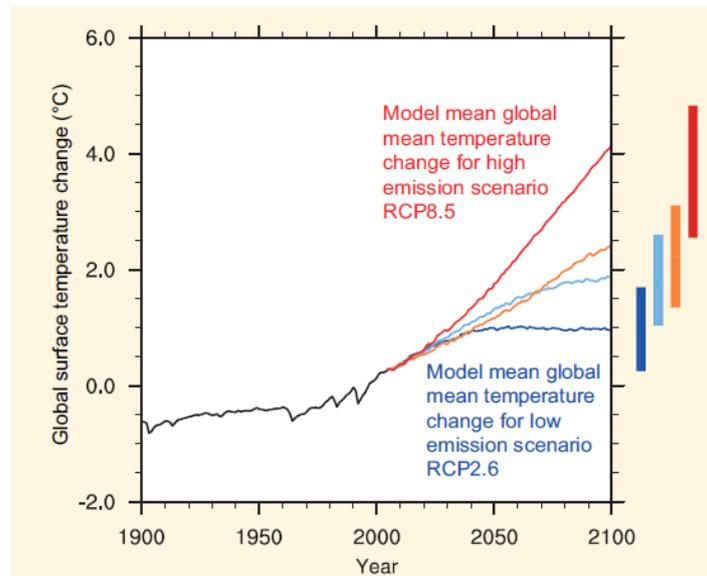


Figura 26. Anomalía de la temperatura superficial media global para los escenarios de Cambio Climático.

5.1 Variaciones en la precipitación

En España, se dispone de los resultados de los escenarios elaborados para la Oficina Española del Cambio Climático (OECC), a partir 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 de la Agencia Española de Meteorología (AEMET) para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Además, se incluyen tres ventanas temporales: el corto plazo (2010-2040), el medio plazo (2040-70) y el largo plazo (2070-2100).

La plataforma Adapteca proporciona información de las variaciones de precipitación mensual y anual. A partir de esta información se puede elaborar los mapas de variación de la precipitación en la demarcación hidrográfica, los cuales podrían tener una disminución en la precipitación entre un 10 y un 20% en función del escenario considerado.

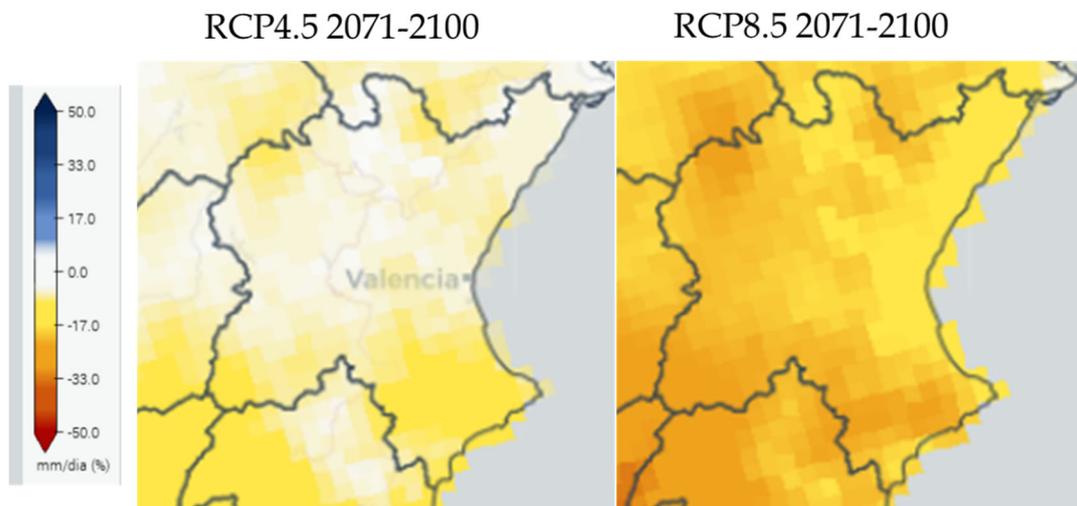


Figura 27. Mapa anual de anomalía relativa en la precipitación, media de modelos (Adapteca).

La información mensual permite obtener la anomalía relativa a lo largo del año, teniendo una muy alta relevancia si la reducción en la precipitación se produce en el periodo de lluvias o en el periodo estival.

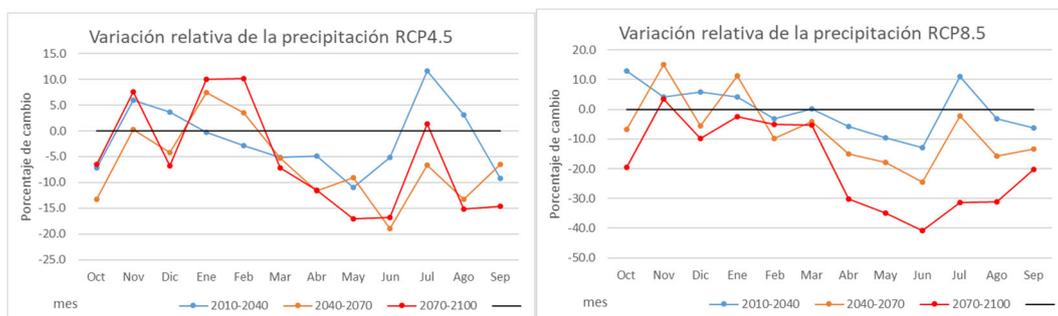


Figura 28. Anomalía relativa en la precipitación mensual en la Demarcación del Júcar RCP8.5 (Adapteca).

5.2 Variaciones en la temperatura

El conjunto de modelos de cambio climático, media de modelos (*multimodel average*), muestran para España un aumento de la temperatura media diaria para el conjunto del año de entre 0.9 y 1.0 °C en el corto plazo, 2010-2040, un aumento entre 1.6 y 2.3 °C en el medio plazo, 2040-2070, y un aumento de entre 2.0 y 3.8 °C en el largo plazo, 2070-2100.

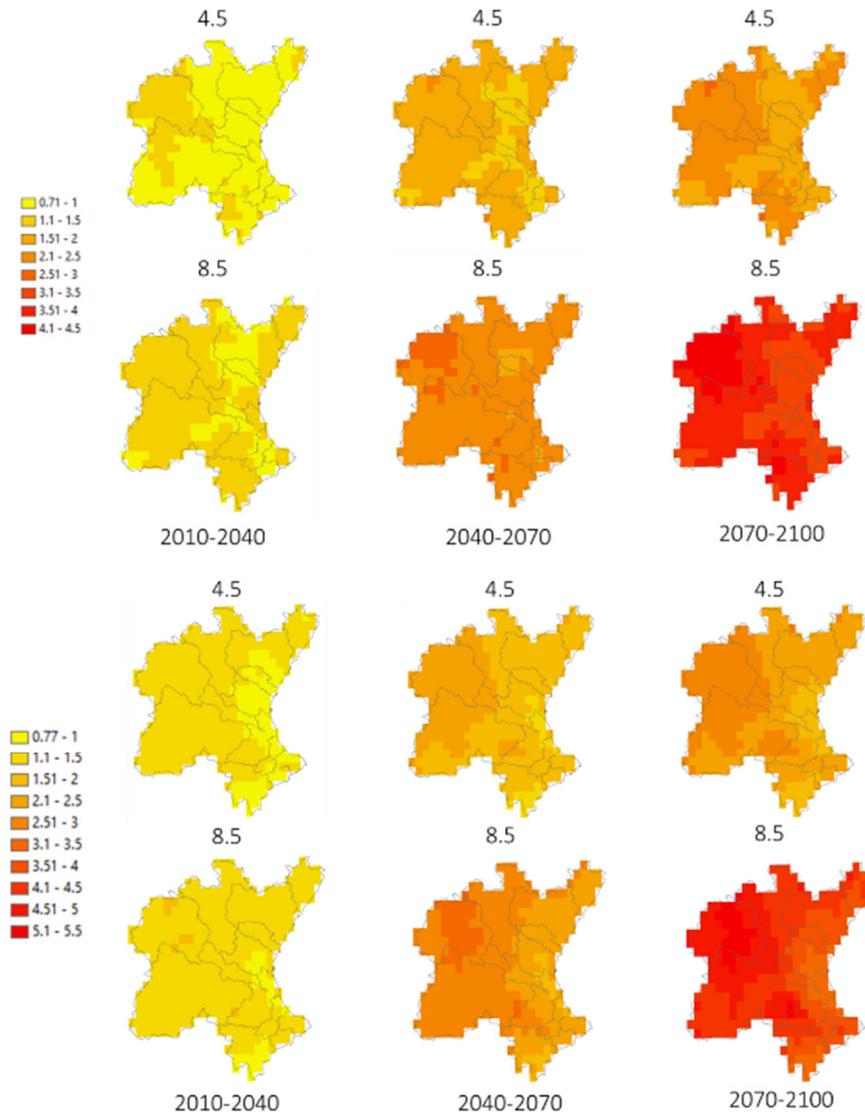


Figura 29. Anomalía de la temperatura superficial mínima (arriba) y máxima (abajo) diaria anual para la CHJ, media de modelos.

El incremento de temperatura es mayor en los meses más cálidos con un aumento de la temperatura media diaria para el mes de agosto de entre 1.2 y 1.6 °C en el corto plazo, 2010-2040, un aumento entre 2.2 y 2.9 °C en el medio plazo, 2040-2070, y un aumento de entre 2.7 y 4.7 °C en el largo plazo, 2070-2100.

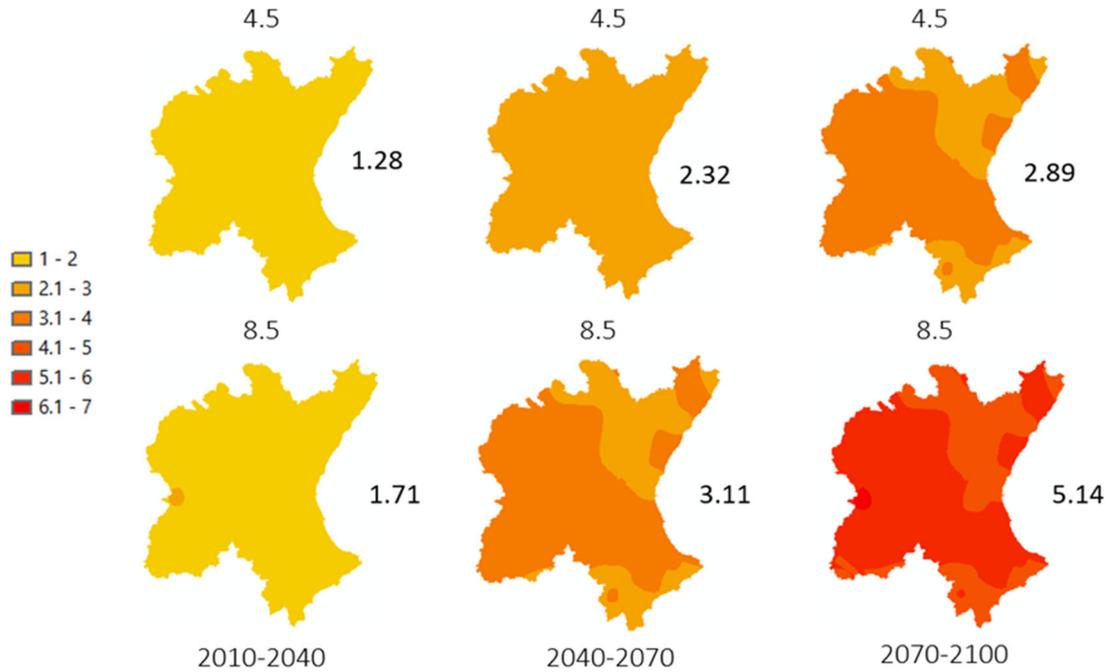


Figura 30. Anomalía de la temperatura superficial media diaria para el mes de agosto para España, media de modelos.

El incremento de la temperatura mínima es similar en los dos escenarios, sin embargo, existe una mayor diferencia en el incremento en la temperatura máxima. Por otra parte, la temperatura se incrementa más en los meses de verano que en el resto del año hidrológico.

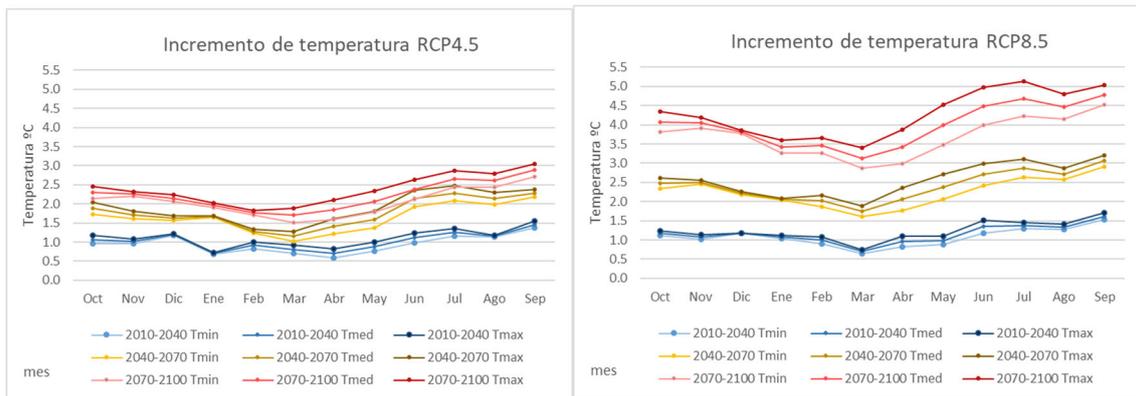


Figura 31. Anomalía de la temperatura media, máxima y mínima mensual en la Demarcación del Júcar RCP4.5 y RCP 8.5 (Adaptecca).

5.3 Elevación del nivel del mar

El nivel medio del mar está aumentando debido a dos factores principales, el derretimiento de los polos y Groenlandia y la expansión térmica debida a que el agua de mayor temperatura se expande, ocupando más espacio. El nivel medio global del mar ha aumentado 0,16 m entre 1902 y 2015. El informe especial sobre Océano y Criosfera en un Clima Cambiante (IPCC, 2019) establece que la tasa de aumento global del nivel medio del mar en 2006-2015 es de 3,6 mm/año, aproximadamente 2,5 veces la tasa de 1901 -1990 de 1,4 mm/año.

Está previsto que el cambio medio global del nivel del mar en relación con 1986-2005 sea de 0,53 m en la proyección RCP 4.5 y de 0,84 m en la proyección RCP 8.5 (IPCC, 2019) a finales del siglo XXI.

Según los escenarios de cambio climático, en la costa del Mediterráneo occidental el nivel medio del mar aumentará más que la media global. Este incremento será de 0,16 m a corto plazo (2026-2045) y de 0,79 m a largo plazo (2081-2100) con respecto al período de referencia (1986-2005). Los escenarios extremos indican aumentos de entre 1,35 y 1,92 m (2081-2100) (Thiéblemont et al., 2019). El aumento del nivel del mar producido por el cambio climático afecta severamente a los ecosistemas costeros.

Nombre del escenario	Fuente	Δ NMM (m)	Percentil	Hipótesis
RCP 8.5 CHJ_016	IPCC AR5 RCP8.5 (C3E-Cantabria, 2016)	0.16	50	Escenario de corto plazo (2026-2045)
RCP 8.5 CHJ_079	IPCC SROCCC - RCP8.5 (Thiéblemont et al., 2019)	0.79	50	Escenario del percentil 50 (2081-2100)
Extremo A CHJ_135	IPCC SROCCC - RCP8.5 (Thiéblemont et al., 2019)	1.35	95	Extremo A Escenario del percentil 95 (2081-2100)
Extremo B CHJ_192	(Thiéblemont et al., 2019)	1.92	Extremo	Extremo B El peor escenario

Tabla 1. Escenarios de aumento del nivel del mar

5.4 Variación en la hidrología

El aumento de la temperatura producirá un aumento en la evapotranspiración potencial en la demarcación que junto con la reducción en las precipitaciones producirá una disminución en los recursos hídricos naturales, tal y como se recoge en el documento de la Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España (CEDEX, 2017).

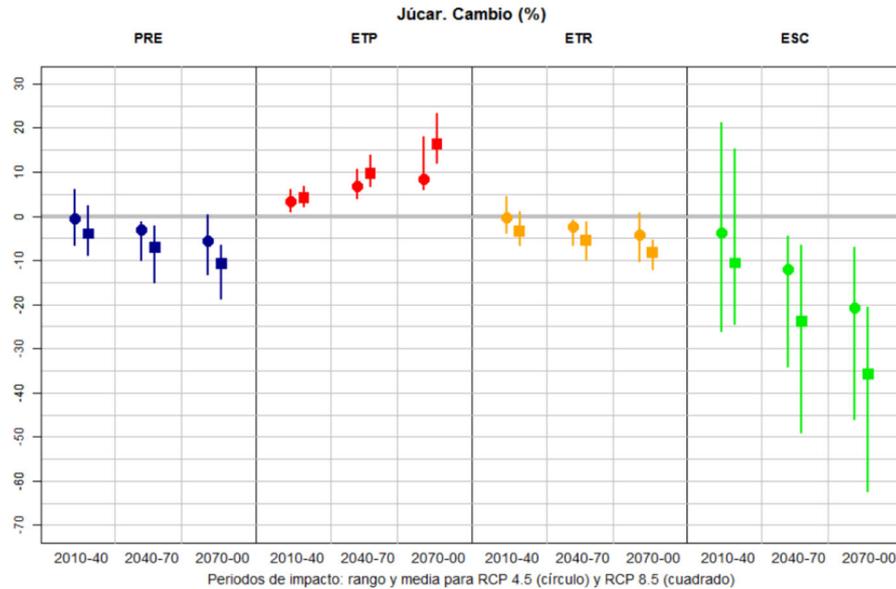


Figura 32. Cambio (%) en las principales variables hidrológicas en los tres PI respecto al PC para la DH del Júcar. Rango y media de resultados para RCP 4.5 (círculos) y RCP 8.5 (cuadrados).

Los recursos hídricos en la Demarcación Hidrográfica del Júcar se reducirán en el largo plazo entre un 21% a un 36% dependiendo del escenario de emisiones, produciéndose esta reducción de forma paulatina a lo largo del siglo.

ESCORRENTÍA Cambio Anual (%)		RCP 4.5			RCP 8.5		
		Mx	Med	Mn	Mx	Med	Mn
Júcar	2010-2040	21	-4	-26	15	-11	-25
	2040-2070	-4	-12	-34	-7	-24	-49
	2070-2100	-7	-21	-46	-20	-36	-62

Tabla 2. Variaciones en los recursos hídricos debidos al cambio climático

5.5 Variaciones en la precipitación máxima diaria y horaria

Las variaciones en las precipitaciones máximas diaria y horarias se obtienen de la revisión y actualización del plan de gestión del riesgo de inundación 2º ciclo (PGRI-Júcar, 2021) y del Impacto del Cambio Climático en las Precipitaciones Máximas en España (CEDEX, 2021) elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.



Figura 33. Plan de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI-Júcar, 2021) y estudio Impacto del Cambio climático en las precipitaciones máximas diaria (CEDEX, 2021).

El estudio del CEDEX obtiene la tasa de cambio para la precipitación diaria máxima anual.

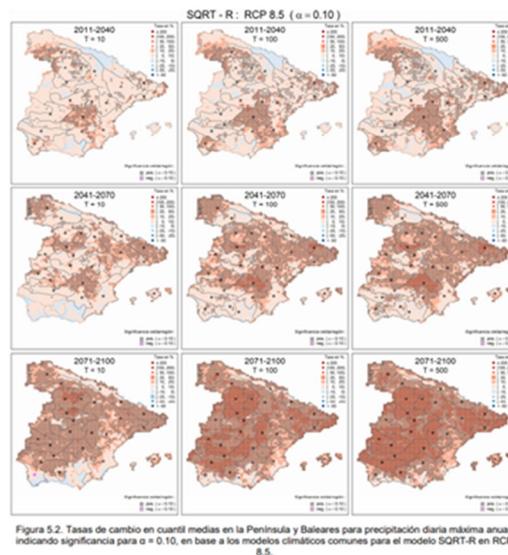


Figura 5.2. Tasas de cambio en cuantil medias en la Península y Baleares para precipitación diaria máxima anual, indicando significancia para $\alpha = 0.10$, en base a los modelos climáticos comunes para el modelo SQRT-R en RCP 8.5.

Figura 34. Tasa de cambio en la precipitación máxima diaria (CEDEX, 2021).

5.5.1 Precipitación máxima diaria

Tal y como indica el Plan de gestión de riesgos de inundación, se observa como para ambos escenarios el número de celdas significativas y la magnitud de los cambios aumenta a medida que lo hace el periodo de retorno, celdas activas, y según avanza el siglo XXI, y que los mayores porcentajes de cambio se dan en mayor medida en las cabeceras de las principales cuencas que en la zona más próxima a la costa.

En el escenario RCP4.5 se producen aumentos en las tasas de cambio en el entorno de un aumento entre el 10% y el 20% en las celdas activas, con cambio significativo. Los mayores aumentos se producen a finales de siglo en la zona de Albacete con cambio del 20% y hasta el 30% para periodo de retorno de 100 años y de 500 años.

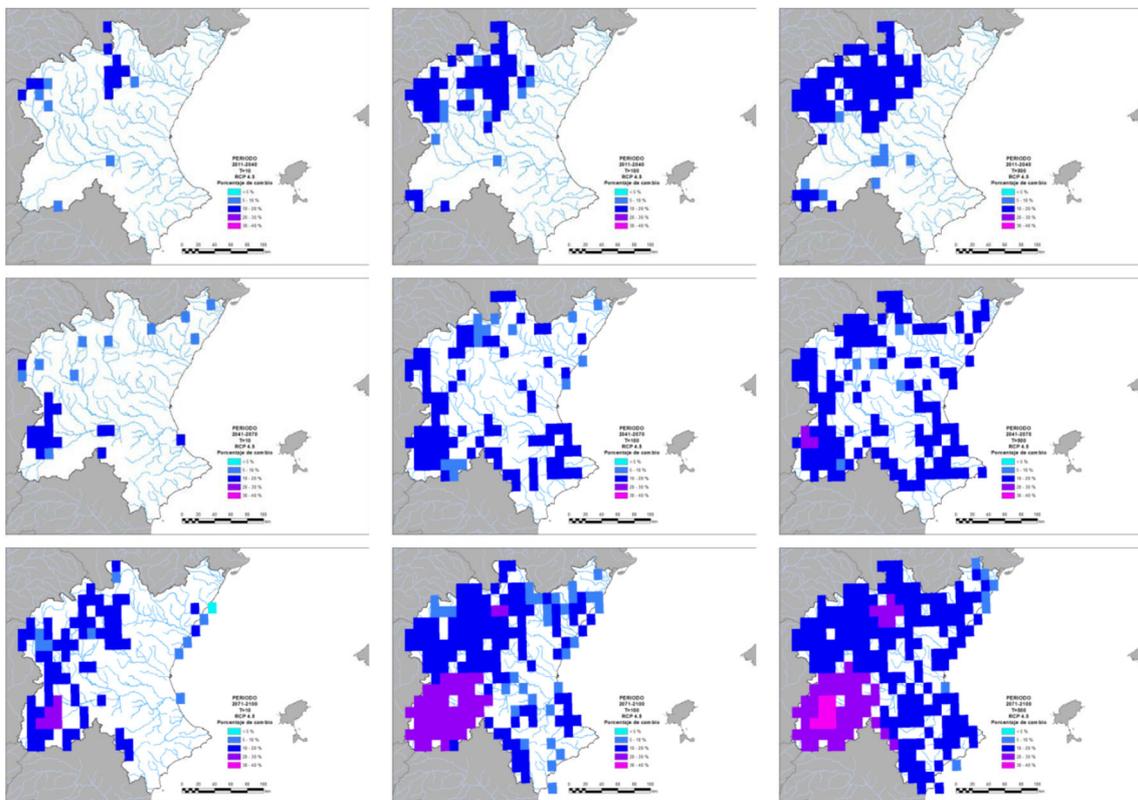


Figura 35. Tasas de cambio en cuantil medias significativas para precipitación diaria máxima anual, para T=10, 100 y 500 años (horizontal) y para el corto, medio y largo plazo (vertical), en base a modelos climáticos comunes para el modelo SQRT-R en RCP 4.5 en la DH del Júcar (PGRI-Júcar).

Igualmente, tal y como indica el plan de gestión de riesgos de inundación de la Demarcación del Júcar, en el escenario RCP 8.5 las celdas con cambios significativos en el primer periodo de impacto para T=10 años se localizan en la cabecera del Júcar y en la cuenca del río Arquillo y en celdas dispersas frente a la costa, extendiéndose y aumentando el valor del porcentaje de cambio a medida que aumenta el periodo de retorno. En concreto, para 500 años de periodo de

retorno, se identifican cambios en torno al 20 % en la cabecera del Júcar, en las cuencas de los ríos Ledaña, Valdemembra y Arquillo, y en las cuencas de los pequeños ríos costeros al sur del Júcar. En los dos siguientes periodos de impacto las zonas con cambio aumentan en las cabeceras de las cuencas de los grandes ríos y disminuyen, llegando incluso a desaparecer, en el sur de la demarcación para ambos periodos de impacto, y en prácticamente toda la zona costera para el periodo “2071-2100”. En ambos periodos, para el periodo de retorno de 500 años, se alcanzan tasas de cambio máximas que superan el 30%, en la zona suroeste de la demarcación en el caso del periodo “2041-2070” y en la cabecera del Júcar en el periodo “2071-2100”.

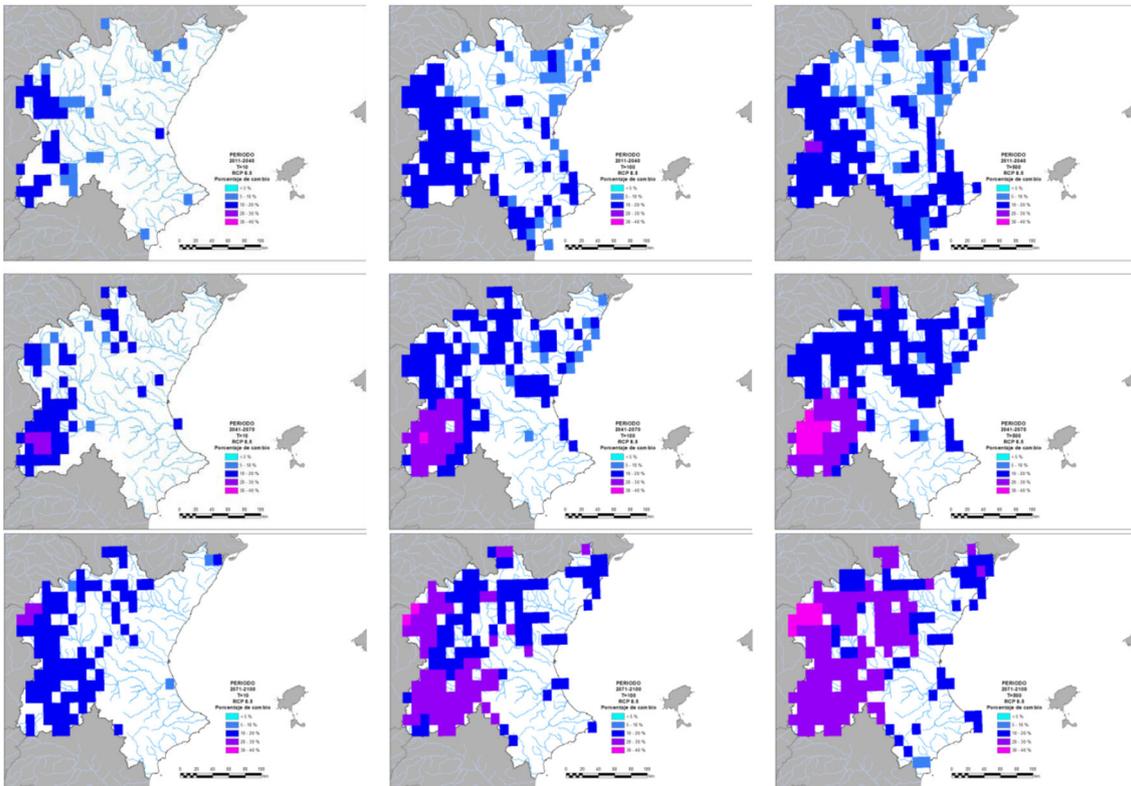


Figura 36. Tasas de cambio en cuantil medias significativas para precipitación diaria máxima anual, para T=10, 100 y 500 años (horizontal) y para el corto, medio y largo plazo (vertical), en base a modelos climáticos comunes para el modelo SQRT-R en RCP 8.5 en la DH del Júcar (PGRI-Júcar, 2021).

La magnitud de los cambios en la demarcación para las celdas con cambio significativo, 6% de las celdas, para “RCP 4.5: 2011-2040” y T = 10 años es 11%, con un rango de variabilidad de [-8%, 25%], mientras que para “RCP 8.5: 2071-2100” y T = 500 años, la media es 22% en la celdas con cambio significativo que representan el 58% de las celdas, con un rango de variabilidad de [-1%, 49%]. Como síntesis, la magnitud de los cambios medios en la Demarcación para las celdas con cambio significativo, varían desde un 11%, 13% y 13% para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años (celdas significativas 6%, 20%, 27%), hasta un 14%, 20% y 22% para “RCP 8.5: 2071-2100” (celdas con cambio significativo 31%, 49% y 58%).

Escenario y periodo de impacto	SQRT-R ($\alpha = 0.10$)						Valor	SQRT-R		
	T10		T100		T500			T10	T100	T500
	+	-	+	-	+	-	Percentil 10	Media	Percentil 90	
RCP 4.5: 2011-2040	6	0	20	0	27	0	-8	11	25	
RCP 4.5: 2041-2070	9	0	33	0	44	0	-8	11	27	
RCP 4.5: 2071-2100	27	0	63	0	76	0	-4	13	31	
RCP 8.5: 2011-2040	15	0	40	0	54	0	-5	11	24	
RCP 8.5: 2041-2070	19	0	45	0	55	0	-2	14	29	
RCP 8.5: 2071-2100	31	0	49	0	58	0	-1	14	33	

Tabla 3. Porcentaje de celdas en la DH del Júcar que presenta cambio en cuantil significativo positivo (“+”) o negativo (“-”) respecto a la precipitación diaria máxima anual para la mayoría de modelos climáticos comunes (izquierda). Valor medio en la DH del Júcar de las tasas de cambio en cuantil en las celdas con cambios significativos asociadas al percentil 10, a la media, y al percentil 90 (expresadas en %), resultantes del ajuste del modelo SQRT-R para precipitación diaria máxima anual en base a los modelos (derecha) (PGRI-Júcar, 2021)

5.5.2 Precipitación máxima horaria

Tal y como indica el Plan de Gestión de Riesgos de Inundación de la Demarcación del Júcar, para el modelo SQRT-R las zonas donde se localizan principalmente las celdas con cambios significativos positivos en los cuantiles aumentando a medida que avanza el siglo XXI.

Para el escenario RCP4.5 las tasas de cambio alcanzan valores del 30% en muchos puntos de la demarcación.

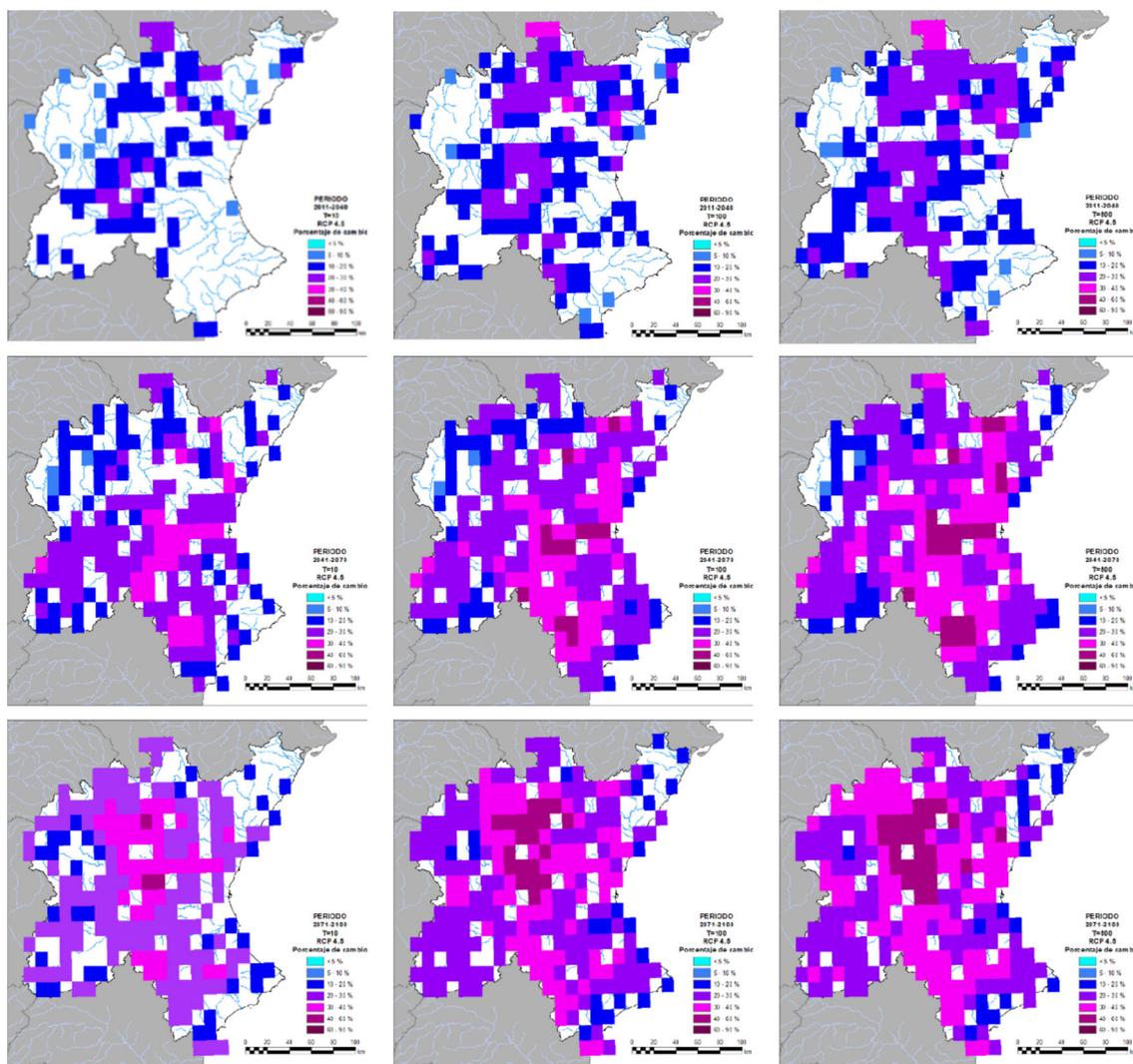


Figura 37. Tasas de cambio en cuantil medias significativas para precipitación horaria máxima anual, para $T=10, 100$ y 500 años para el corto, medio y largo plazo, en base a modelos climáticos comunes para el modelo SQRT-R en RCP 4.5 en la DH del Júcar (PGRI-Júcar, 2021).

En el escenario RCP8.5 se alcanza valores del 30-40% a finales de siglo en la mayor parte de la demarcación.

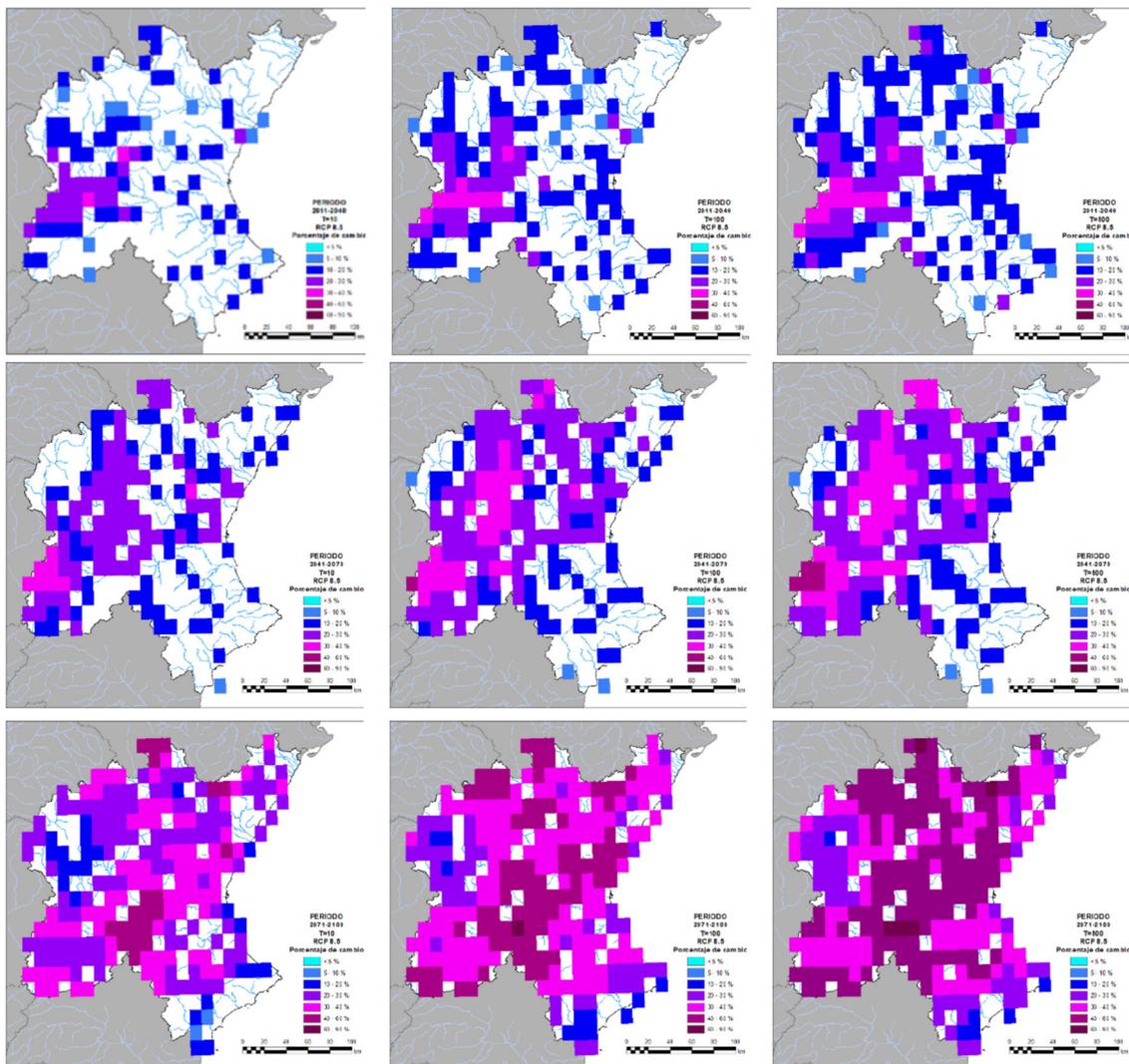


Figura 38. Tasas de cambio en cuantil medias significativas para precipitación horaria máxima anual, para $T=10$, 100 y 500 años para el corto, medio y largo plazo, en base a modelos climáticos comunes para el modelo SQRT-R en RCP 8.5 en la DH del Júcar (PGRI-Júcar, 2021).

5.6 Variaciones en la frecuencia y magnitud de las sequías

En este apartado se recogen los cambios en los índices de sequía meteorológica, sequía edáfica y sequía hidrológica en la demarcación hidrográfica.

La utilización y comparación de los índices de sequía en la demarcación, como el índice de sequía prolongada o el índice de sequía edáfica, con el clima actual y el clima modificado por los escenarios de cambio climático identifica los cambios en frecuencia y magnitud de las sequías en la demarcación (Pérez Martín et al., 2015).

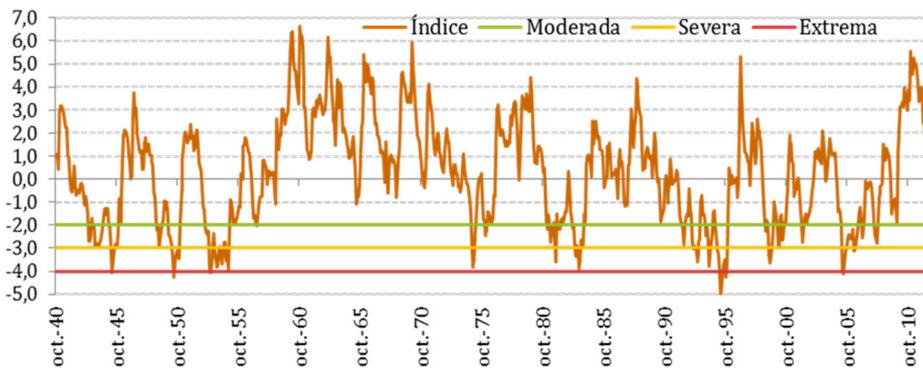


Figura 39. Índice histórico de sequía edáfica en la cabecera de la cuenca del Júcar.

Los resultados muestran que la frecuencia de las sequías severas se duplica en los próximos años y tendrá una frecuencia diez veces mayor en el largo plazo (Pérez Martín et al., 2015).

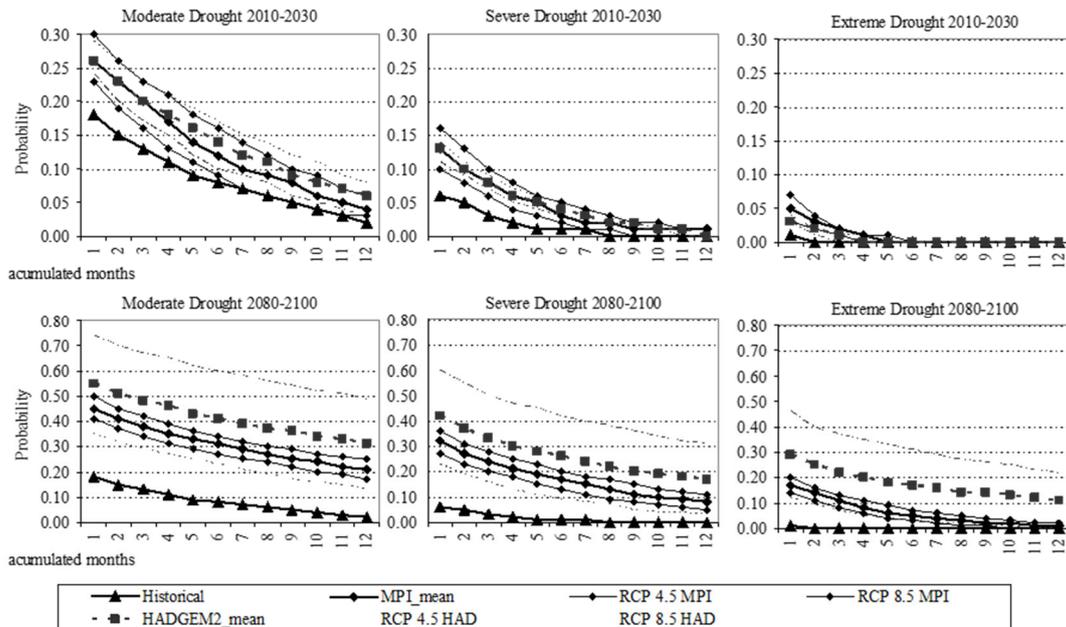


Figura 40. Aumento de la probabilidad de sequía edáfica en la cabecera del río Júcar en los escenarios de cambio climático (Pérez Martín et al., 2015).

En relación a la sequía hidrológica, las variaciones en la frecuencia y magnitud de las sequías hidrológicas se recogen en el documento de la Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España (CEDEX, 2017). Donde para diferentes escenarios se recogen las variaciones en el periodo de retorno de las sequías, para sequías de 2 años y de 5 años para los resultados derivados de diferentes modelos climáticos.

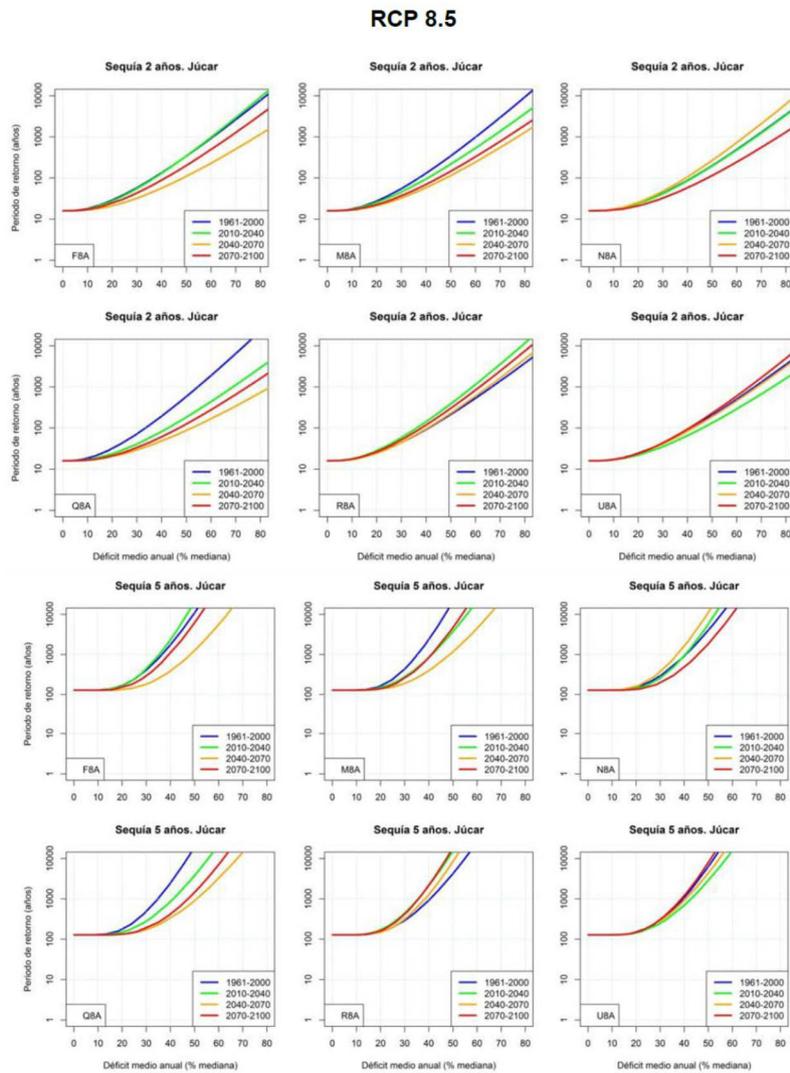


Figura 41. Cambios en los periodos de retorno de las sequías hidrológicas en la Demarcación de Júcar en los escenarios de cambio climático (CEDEX, 2017).

6 Principales impactos asociados al cambio climático

Los impactos asociados al cambio climático se han agrupado en dos tipologías, según afecten al buen estado de las masas de agua o según afecten a las actividades socio económicas. Los impactos se agrupan en:

- Impactos que afectan al estado de las masas de agua
- Impacto que afectan a las actividades socioeconómicas

6.1 Impactos que afectan al estado de las masas de agua

Los cambios proyectados en la precipitación, en la temperatura del agua y en el ciclo hidrológico producirán a su vez importantes impactos en el estado de las masas de agua, afectando especialmente a los procesos ecológicos, las especies y hábitats ligados a los ecosistemas acuáticos. Se han identificado 15 principales impactos que afectan a al estado de las masas de agua superficiales y 3 principales impactos que afectan al buen estado de las masas de agua subterráneas (tabla 4, Estrela-Segrelles et al., 2020).

El ascenso de temperaturas y la reducción de caudales favorecerán procesos de eutrofización y el aumento de la concentración de los contaminantes. La reducción del oxígeno disuelto en las aguas producido por el aumento de temperatura, junto con la disminución de los flujos de agua, pueden reducir los nichos actuales de muchas especies de agua dulce (CEDEX, 2012). La reducción del hábitat en las especies piscícolas de aguas frías y las afecciones en los macroinvertebrados son otros impactos significativos que afectan al buen estado de las masas de agua.

Según un reciente informe (MedEcc, 2019), en la biota de los arroyos se han observado, como consecuencia del cambio climático, cambios en la distribución de organismos hacia latitudes o elevaciones mayores, así como en la composición de las comunidades de organismos, que a menudo resultan en homogeneización y pérdida de diversidad. El aumento de la erosión, producido por una combinación de uso intensivo de la tierra y condiciones climáticas adversas, puede dar lugar al aumento de la turbidez del agua, afectando a los nichos ecológicos, así como a la sedimentación en los fondos de los ríos, reduciendo las zonas de freza. Además, el incremento del nivel del mar puede intensificar los procesos de intrusión marina.

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	Elevación nivel del mar en humedades y 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
	SW 15	Afección al transporte de sedimentos	HMF
	SW16 Cambio del estado de las masas de agua superficiales (DMA)		
Masas de agua subterránea	GW1	Incremento de la concentración de contaminantes (NO3)	QUI
	GW2	Cuña salina aguas subterráneas	QUI
	GW3	Balace aguas subterráneas	CUA
	GW4 Cambio del estado de las masas de agua subterráneas (DMA)		

Fuente: Estrategia de adaptación al cambio climático en la planificación hidrológica a escala de Demarcación. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Tabla 4. Impactos en los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados

6.2 Impactos que afectan a las actividades socioeconómicas

Los cambios en el ciclo natural del agua inciden en la cantidad y calidad de los recursos hídricos disponibles, con impactos en actividades socioeconómicas como el abastecimiento urbano, la agricultura, la producción de energía hidroeléctrica, los usos recreativos o la acuicultura (Estrela-Segrelles, 2020) (Tabla 2). Además, si se considera el ciclo hídrico en su conjunto, también pueden verse afectados otros sectores como el sector forestal, el turístico, las ciudades o la salud humana.

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)

Fuente: Estrategia de adaptación al cambio climático en la planificación hidrológica a escala de Demarcación. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Tabla 5. Impactos en los usos del agua

En el sector urbano se identifican 6 grandes impactos relacionados con cambios en la disponibilidad del agua, como la pérdida de garantía hídrica por el descenso en los recursos disponibles, o el empeoramiento de la calidad del agua debido al aumento en la concentración de contaminantes. También se consideran los impactos asociados al aumento de la precipitación máxima diaria.

En el sector agrícola también se identifican 6 principales impactos correspondientes al 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.

También se han identificado impactos en el sector energético, con la pérdida en la producción de energía hidroeléctrica por la reducción de caudales, así como posibles afecciones en los procesos de refrigeración de centrales termoeléctricas por el aumento de la temperatura del agua. Finalmente, los usos recreativos y la acuicultura pueden verse afectados igualmente por el aumento en la concentración de contaminantes, y la reducción de caudales y de oxígeno, entre otros factores.

7 Evaluación de los riesgos asociados al cambio climático

Los riesgos establecidos en el artículo 19 de la Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética, se agrupan en: riesgos asociados al cambio en el régimen de caudales, riesgos asociados a cambios en el régimen de extremos, riesgos asociados al incremento de la temperatura, riesgos asociados a la elevación del nivel del mar y riesgos en la gestión del sistema.

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 determina el riesgo asociado al cambio climático en el territorio para cada uno de los impactos analizados, mediante la elaboración de mapas de riesgo.

En la evaluación del riesgo se utiliza el enfoque establecido por el IPCC (2014) de $\text{Riesgo} = \text{Peligrosidad} \cap \text{Exposición} \cap \text{Vulnerabilidad}$. 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 (Estrela et al, 2020) (Figura 1).

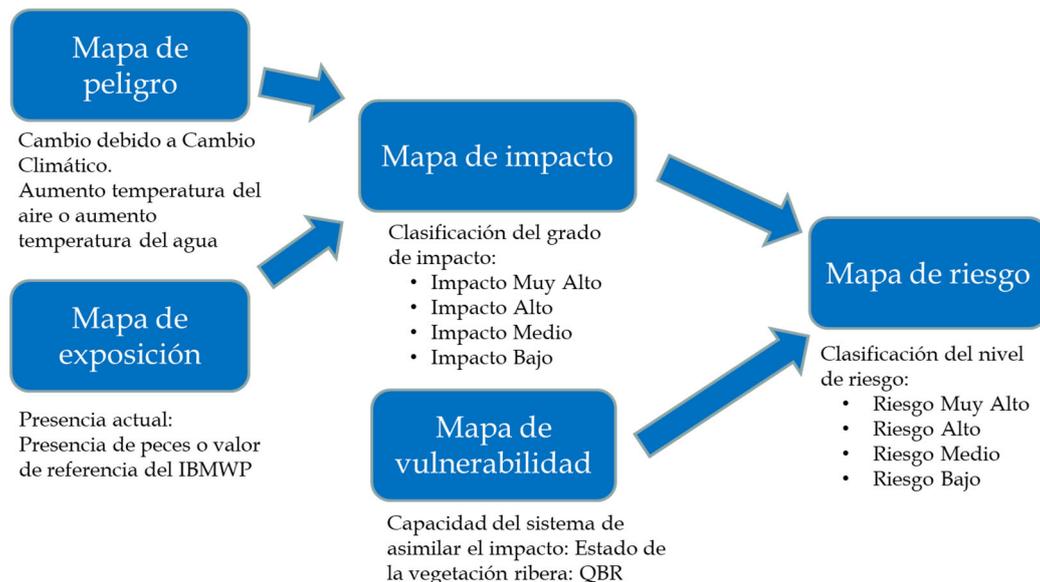


Figura 42. Esquema de la metodología propuesta para la determinación del riesgo asociado al cambio climático.

Los **mapas de peligrosidad**, considerada como: sucesos o tendencias físicas relacionadas con el clima o los impactos físicos de este (IPCC, 2014), 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, 2014), 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, 2014), determinan el grado de afección que produce el cambio climático en el caso analizado. 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, 2014). 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, 2014), se han definido como una combinación del grado de impacto y de la vulnerabilidad.

7.1 Riesgos asociados a cambios en el régimen de caudales

En este apartado se desarrollan los riesgos definidos en el artículo 19 punto 3 apartado a, que son: 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.

Los riesgos asociados al cambio en el régimen de caudales se obtienen a partir de los resultados obtenidos con los modelos de simulación hidrológica cuando se aplican los escenarios de cambio climático, que incluyen: las reducciones en el caudal natural en los diferentes puntos de la demarcación (CEDEX, 2020); la reducción en la recarga de los acuíferos (CEDEX, 2021); la identificación de los tramos de río que pasan de permanentes a estacionales; la modificación en el régimen hidrológico estacional y la afección al ciclo de vida de las especies; incremento en la concentración de contaminantes, aumento del estrés hídrico en la vegetación natural de la cuenca.

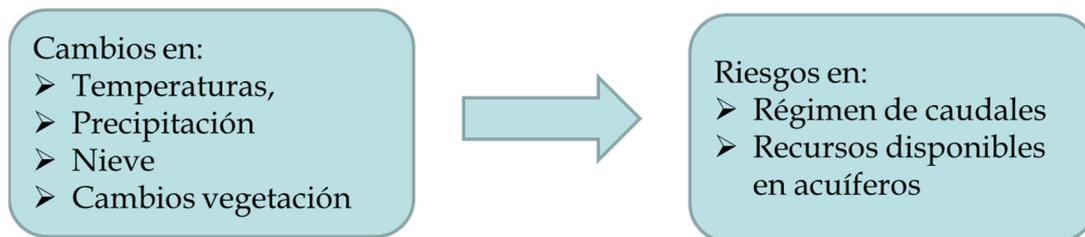


Figura 43. Esquema de riesgos asociados a cambios en el régimen hidrológico.

Los riesgos asociados a cambios en el régimen de caudales que se han incluido en este apartado son:

- Régimen medio de caudales
- Recarga a los acuíferos
- Cambio de ríos permanentes a ríos temporales
- Cambio en el tipo de ecotipo de las masas de agua superficiales
- Afección al ciclo de vida de las especies
- Cambio en la concentración de contaminantes y cambio en los parámetros químicos
- Aumento del estrés hídrico en la vegetación natural de la Demarcación
- Cambios en hábitat de la vegetación natural de la cuenca
- Cambios en el transporte de sedimentos

7.1.1 Régimen medio de caudales

El ciclo hidrológico se ve significativamente reducido en los escenarios de cambio climático. El descenso en la precipitación y el aumento en la evapotranspiración potencial debido al aumento de la temperatura produce un descenso en todas las componentes del ciclo hidrológico. Por otra parte, la mayor concentración de CO₂ atmosférico produce que la vegetación tenga mayor facilidad para conseguir este nutriente de forma que reduce el intercambio mediante un mayor cierre de sus estomas, por lo que el aumento de evapotranspiración es menor. Por una parte, se obtiene un aumento de la evapotranspiración debido al incremento de temperatura y, por otra parte, se obtiene una reducción de la evapotranspiración por la disminución en la conductancia de las estomas (Sanderson et al., 2007). El resultado de ambos efectos produce una ligera disminución en la evapotranspiración potencial, la cual debe tenerse en consideración.

Sin embargo, el cambio en el patrón de precipitaciones, y concretamente su disminución, es determinante en los resultados obtenidos de cambios en el ciclo hidrológico, con una importante reducción en las aportaciones naturales del orden del 30%.

A final de siglo XXI se tendrá una reducción en la evapotranspiración entre un -4% y un -8 %, reducción en la humedad del suelo entre un -2% y un -4%, reducciones en la recarga a los acuíferos y en las aportaciones naturales entre un -20% y un -35% (PHJ, 2021).

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

Tabla 6. Cambios en las variables hidrológicas en la demarcación (PHJ, 2021)

El régimen hidrológico se ve modificado en la Demarcación, con una reducción en los caudales invernales que se traslada al periodo de primavera por la menor recarga a los acuíferos y la reducción en los drenajes naturales de los acuíferos. Las aportaciones se reducen en el largo plazo en el entorno del 30% respecto al periodo desde el año 1980.

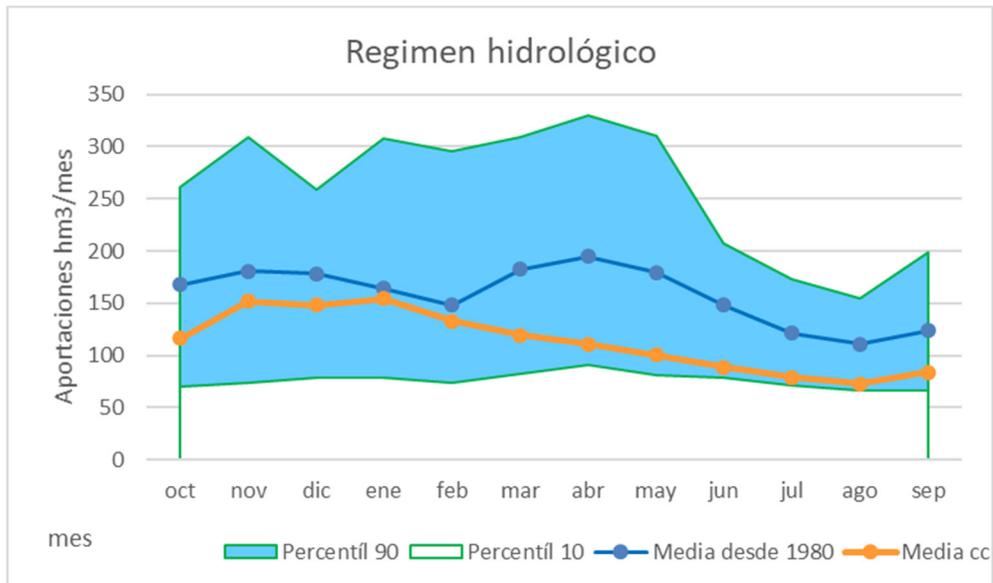


Figura 44. Régimen hidrológico actual y en los escenarios de cambio climático para las aportaciones naturales de la Demarcación.

El régimen hidrológico se modifica en los principales puntos de la demarcación según las figuras siguientes.

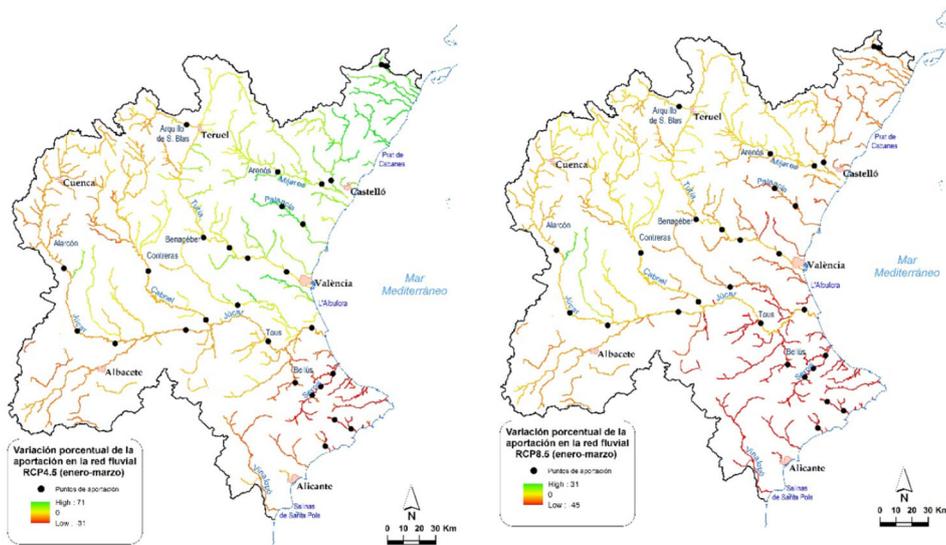


Figura 45. Variación porcentual en la red fluvial por efecto del cambio climático en el primer trimestre del año natural según las RCP4.5 y 8.5 y puntos significativos de aportación para los modelos de gestión (PHJ, 2021).

Los cambios en los regímenes hidrológicos en los principales puntos de la demarcación se muestran en las figuras siguientes.

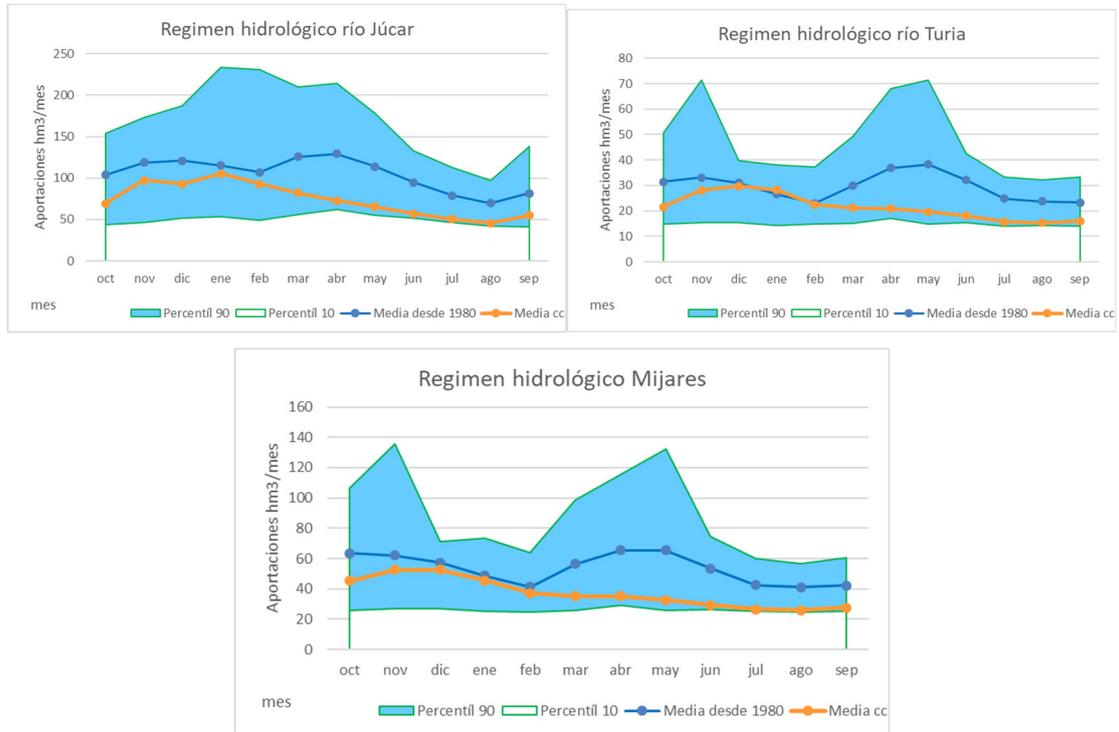


Figura 46. Régimen hidrológico actual y en los escenarios de cambio climático para las aportaciones naturales en el río Júcar, Turia y Mijares.

En el escenario RCP8.5 la reducción de aportaciones en las cabeceras de los ríos Turia y Júcar es mayor en los meses de otoño e invierno

Sistema de explotación	Punto de aportación	RCP4.5				RCP8.5			
		Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	Jul-Sep	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	Jul-Sep
Cenia-Maestrazgo	Ulldecona	0%	13%	5%	-3%	-11%	-16%	-11%	-12%
Cenia-Maestrazgo	Az. San Pedro	0%	13%	5%	-3%	-11%	-16%	-11%	-12%
Mijares-Plana de Castellón	Arenos	1%	4%	0%	0%	-6%	-10%	-10%	-6%
Mijares-Plana de Castellón	Sichar	2%	5%	1%	0%	-5%	-11%	-10%	-6%
Mijares-Plana de Castellón	M ^a Cristina	4%	11%	2%	-1%	-2%	-15%	-11%	-8%
Palancia-Los Valles	Regajo	8%	17%	3%	0%	-7%	-18%	-21%	-17%
Palancia-Los Valles	Algar	5%	13%	2%	0%	-9%	-18%	-20%	-17%
Turia	Arquillo	-13%	-5%	-7%	-9%	-19%	-10%	-14%	-17%
Turia	Benageber	-9%	-3%	-4%	-6%	-15%	-10%	-13%	-12%
Turia	Loriguilla	-8%	-2%	-4%	-6%	-15%	-10%	-13%	-13%
Turia	Manises	-8%	-2%	-4%	-6%	-15%	-11%	-14%	-13%
Júcar	Alarcón	-16%	-8%	-8%	-10%	-22%	-11%	-16%	-18%
Júcar	Madrigueras	-16%	-8%	-8%	-10%	-22%	-11%	-16%	-18%
Júcar	Los Frailes	-16%	-8%	-8%	-10%	-22%	-11%	-16%	-18%
Júcar	Molinar	-16%	-8%	-8%	-10%	-22%	-11%	-16%	-18%
Júcar	Contreras	-13%	-6%	-7%	-9%	-20%	-10%	-15%	-17%
Júcar	Cofrentes	-13%	-6%	-7%	-9%	-20%	-10%	-15%	-17%
Júcar	Tous	-14%	-7%	-8%	-10%	-21%	-11%	-16%	-18%
Júcar	Bellús	7%	-12%	-8%	-6%	-8%	-31%	-29%	-23%
Júcar	Forata	-3%	0%	-5%	-7%	-16%	-18%	-23%	-22%
Júcar	Sueca	-12%	-7%	-8%	-10%	-20%	-13%	-17%	-19%
Serpis	Encantada	4%	-13%	-12%	-9%	-14%	-34%	-30%	-25%
Serpis	Beniarrés	7%	-15%	-10%	-7%	-13%	-36%	-30%	-24%
Serpis	Villalonga	7%	-15%	-10%	-7%	-13%	-36%	-30%	-24%
Serpis	Bernisa	7%	-15%	-10%	-7%	-12%	-35%	-30%	-23%
Marina Baja	Amadorio	9%	-14%	-8%	-10%	-12%	-35%	-23%	-20%
Marina Baja	Guadalest	10%	-18%	-11%	-6%	-13%	-35%	-29%	-22%
Marina Baja	Bolulla-Algar	10%	-18%	-11%	-5%	-13%	-35%	-29%	-21%

Tabla 7. Variación porcentual de las aportaciones en los puntos significativos de la red fluvial (PHJ, 2021)

7.1.2 Recarga a los acuíferos

La reducción en la recarga de lluvia en los acuíferos se produce fundamentalmente en el invierno y la primavera. Se produce la desaparición del incremento de recarga en el periodo de marzo a mayo.

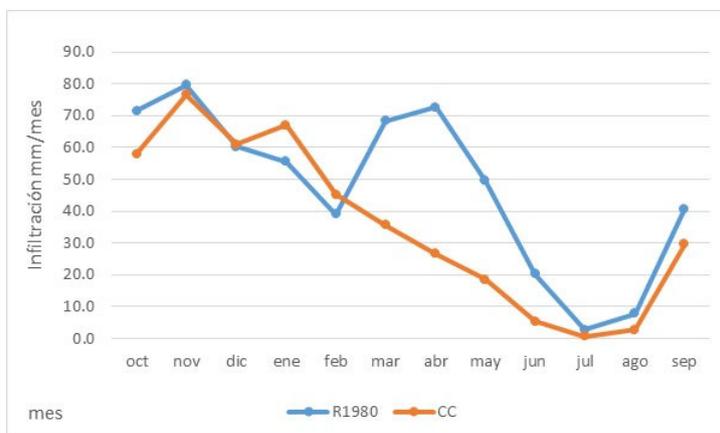


Figura 47. Infiltración mensual a los acuíferos actual y en los escenarios de cambio climático para las aportaciones naturales.

En la tabla siguiente se muestran los valores de recarga para cada uno de los acuíferos.

Código Masa	Nombre Masa	RCP4.5				RCP8.5			
		Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep
080-101	Hoya de Alfambra	-7%	7%	-1%	2%	-10%	-11%	-9%	10%
080-102	Javalambre Occidental	-9%	3%	-3%	0%	-14%	-11%	-10%	3%
080-103	Javalambre Oriental	-6%	16%	-1%	1%	-14%	-15%	-7%	5%
080-104	Mosqueruela	0%	10%	-2%	-2%	-7%	-12%	-6%	0%
080-105A	La Tenalla	-7%	14%	2%	-10%	-17%	-15%	-9%	-12%
080-105B	El Turmell	-6%	13%	0%	-7%	-16%	-19%	-8%	-8%
080-106	Plana de Cenia	-5%	46%	4%	-19%	-5%	-31%	0%	-5%
080-107	Plana de Vinaròs	-1%	30%	11%	-14%	-12%	-33%	-10%	-10%
080-110	Plana de Oropesa - Torreblanca	12%	23%	8%	-6%	13%	-27%	-6%	-9%
080-111	Lucena - l'Alcora	-1%	12%	1%	-1%	-8%	-14%	-4%	0%
080-112	Hoya de Teruel	-7%	8%	-3%	3%	-11%	-6%	-13%	6%
080-113	Arquillo	-7%	5%	-3%	5%	-8%	-12%	-13%	12%
080-114	Gea de Albarracín	-15%	0%	-7%	-9%	-16%	-11%	-18%	-13%
080-115	Montes Universales	-15%	-6%	-15%	-28%	-22%	-10%	-25%	-31%
080-116	Triásico de Boniches	-11%	-5%	-15%	-27%	-16%	-7%	-23%	-29%
080-117	Jurásico de Uña	-16%	-7%	-16%	-38%	-23%	-10%	-25%	-40%
080-118	Cretácico de Cuenca Norte	-19%	-11%	-18%	-40%	-26%	-15%	-29%	-45%
080-119	Terciario de Alarcón	-21%	-12%	-17%		-25%	-16%	-32%	
080-120	Cretácico de Cuenca Sur	-21%	-12%	-19%		-25%	-17%	-36%	
080-121	Jurásico de Cardenete	-17%	-11%	-19%	-22%	-21%	-17%	-33%	-22%
080-122	Vallanca	-11%	-4%	-13%	-19%	-17%	-9%	-25%	-20%
080-124	Sierra del Toro	0%	14%	-6%	-12%	-11%	-20%	-20%	-16%
080-125	Jérica	9%	19%	-8%	0%	-2%	-23%	-21%	-2%
080-126	Onda - Espadán	-1%	8%	-3%	-2%	-8%	-22%	-10%	-6%
080-127	Plana de Castelló	-1%	2%	0%	-7%	-6%	-23%	-11%	-15%
080-128	Plana de Sagunto	3%	-1%	10%	-13%	-3%	-22%	-10%	-13%
080-130A	Azuébar-Vall d'Uixó	-8%	-6%	0%	3%	-3%	-37%	-12%	-14%
080-130B	Segorbe-Quart	6%	17%	-2%	-10%	-1%	-27%	-22%	-17%
080-130C	Cornacó-Estivella	-6%	5%	-4%	0%	-13%	-25%	-17%	-11%
080-131	Llíria - Casinos	-1%	9%	-4%	-4%	-12%	-25%	-20%	-12%
080-132A	Anticlinal de Chelva	-3%	12%	-16%	-4%	-11%	-17%	-24%	-9%
080-132B	Medio Turia	-9%	7%	-11%	-3%	-14%	-17%	-18%	-9%
080-132C	La Contienda de Chiva	-14%	8%	-17%	21%	-13%	-28%	-26%	16%
080-133	Requena - Utiel	-5%	3%	-6%		-13%	-17%	-29%	

Código Masa	Nombre Masa	RCP4.5				RCP8.5			
		Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	Jul-Sep	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	Jul-Sep
080-134A	Ranera	-9%	-1%	-13%	-18%	-19%	-13%	-26%	-18%
080-134B	Contreras	-19%	-12%	-28%		-26%	-24%	-50%	0%
080-134C	Camporrobles	-25%	-11%	-26%		-28%	-24%	-53%	
080-136A	Lezuza	-25%	-19%	-15%		-17%	-27%	-41%	
080-136B	El Jardín	-21%	-14%	-19%		-24%	-21%	-38%	
080-137	Arco de Alcaraz	-16%	-13%	-21%		-16%	-22%	-36%	
080-139	Cabrillas - Malacara	-6%	8%	-12%	1%	-9%	-20%	-30%	-5%
080-140A	Pedralba	-6%	14%	-5%	12%	-7%	-28%	-15%	5%
080-140B	Mesozoicos de Cheste	-4%	11%	-7%	-1%	-5%	-26%	-19%	-7%
080-140C	Terciarios de Chiva-Montserrat	2%	6%	-12%	-2%	-1%	-26%	-24%	-6%
080-142	Plana de València Sur	7%	-8%	-11%	4%	7%	-38%	-31%	-3%
080-143	La Contienda de Picassent	17%	-1%	-17%	1%	15%	-39%	-34%	-6%
080-144A	Martés-Quencall	-6%	1%	-17%	9%	-13%	-25%	-30%	0%
080-144B	Alfaris-La Escala	-1%	0%	-26%	8%	-15%	-30%	-25%	-8%
080-144C	Las Pedrizas	8%	-12%	-21%	8%	8%	-33%	-35%	9%
080-145	Caroch Norte	-4%	-11%	-10%	2%	-9%	-30%	-29%	-4%
080-146	Almansa	7%	7%	-3%		-16%	-26%	-21%	
080-147	Caroch Sur	12%	-13%	-10%	-2%	0%	-38%	-25%	-13%
080-148	Hoya de Xàtiva	0%	-18%	-12%	21%	-6%	-41%	-26%	12%
080-149	Sierra de las Agujas	5%	-17%	-11%	-4%	-2%	-34%	-26%	-15%
080-150	Barx	6%	-14%	-1%	2%	-6%	-30%	-20%	-12%
080-151	Plana de Xeraco	-9%	-20%	-17%	59%	-6%	-43%	-44%	31%
080-152	Plana de Gandia	1%	-25%	-11%	18%	-4%	-35%	-28%	5%
080-153	Marchuquera - Falconera	5%	-20%	-6%	16%	-4%	-33%	-25%	0%
080-154	Sierra de Ador	4%	-20%	-6%	15%	-5%	-32%	-23%	2%
080-159	Rocín	9%	-8%	-4%	-18%	-9%	-34%	-20%	-22%
080-160	Villena - Beneixama	-4%	-11%	-12%		-15%	-43%	-30%	
080-161	Volcadores - Albaida	6%	-17%	-11%	7%	-11%	-39%	-27%	-7%
080-162	Almirante Mustalla	3%	-19%	-5%	17%	-4%	-34%	-22%	3%
080-163	Oliva - Pego	-3%	-24%	-14%	30%	6%	-43%	-28%	9%
080-164	Ondara - Dénia	-4%	-22%	-7%	20%	0%	-38%	-23%	1%
080-165	Montgó	-1%	-18%	-4%	13%	-4%	-30%	-15%	-6%
080-166A	Pedreguer	2%	-18%	-3%	3%	-2%	-31%	-21%	-16%
080-166B	Gorgos	8%	-19%	-9%	28%	-4%	-35%	-33%	-3%
080-167	Alfaro - Segaría	5%	-19%	-4%	12%	-1%	-37%	-23%	-5%
080-168	Mediodía	8%	-19%	-6%	27%	-2%	-36%	-28%	0%
080-169	Muro de Alcoy	4%	-16%	-9%	-6%	-12%	-37%	-24%	-16%
080-176A	Barrancones	3%	-18%	-8%	-3%	-14%	-38%	-26%	-22%
080-176B	Carrasqueta	1%	-7%	-2%	-13%	-17%	-33%	-20%	-20%
080-177	Sierra Aitana	-1%	-19%	-6%	9%	-14%	-33%	-21%	-3%
080-178	Serrella - Aixortà - Algar	1%	-19%	-7%	15%	-12%	-34%	-26%	-11%
080-179	Depresión de Benissa	-2%	-20%	-5%	6%	-11%	-34%	-24%	-15%
080-180	Xàbia	-5%	-21%	-4%	-5%	-8%	-34%	-14%	-20%
080-181	Serral - Salinas	-5%	-2%	-9%	-17%	-19%	-26%	-17%	-17%
080-183A	Orxeta - Relleu	-1%	-13%	-3%	-10%	-15%	-34%	-14%	-15%
080-183B	Busot	3%	-6%	-2%	-12%	-16%	-32%	-15%	-19%
080-184	Sant Joan - Benidorm	5%	-14%	-5%	2%	-14%	-36%	-25%	-12%
080-185	Agost - Monnegre	18%	-1%	-5%		-16%	-36%	-22%	
080-186	Sierra del Cid	2%	-11%	0%	-20%	-17%	-34%	-15%	-19%
080-191	Maestrazgo Occidental	-2%	13%	-5%	-4%	-11%	-22%	-7%	-6%
080-192	Maestrazgo Oriental	1%	19%	-2%	-5%	-7%	-25%	-4%	-9%
080-193	Alpuente superior	-7%	4%	-8%	-13%	-14%	-11%	-18%	-15%
080-194	Alpuente inferior	-7%	5%	-10%	-11%	-15%	-15%	-26%	-14%
080-195	Plana de València Norte	2%	-5%	0%	-7%	-8%	-28%	-15%	-16%
080-196	Sierra Grossa	9%	-20%	-14%	14%	-4%	-39%	-30%	9%
080-200	Mancha Oriental	-11%	-14%	-16%		-14%	-24%	-38%	
080-202	Pinar de Camús	2%	-15%	-12%	0%	-14%	-38%	-25%	-17%
080-203	Cabranta	-1%	-18%	-8%	-6%	-14%	-35%	-20%	-21%
080-204	Terciarios de Onil	-6%	-9%	-8%	-12%	-18%	-32%	-21%	-27%
080-206	Peñarubia	-9%	-5%	-5%		-18%	-37%	-23%	
080-207	Hoya de Castalla	4%	-6%	-4%	-6%	-12%	-37%	-25%	
080-208	Argüeña - Maimó	-4%	-7%	-3%	-24%	-17%	-35%	-21%	-32%
080-209	Quibas	8%	-6%	-5%		-20%	-34%	-21%	
080-210	Sierra de Argallet	15%	-11%	2%		-9%	-36%	-18%	
080-211	Bajo Vinalopó	3%	-12%	-4%		-13%	-35%	-22%	

Tabla 8. Variación porcentual de la recarga de lluvia a los acuíferos (PHJ, 2021)

7.1.3 Cambio de ríos permanentes a ríos temporales

La reducción en las aportaciones naturales y en la recarga a los acuíferos, reduce los drenajes de agua subterráneas produciendo que algunas masas de agua pasen de ser ríos permanentes a ríos temporales.

La identificación de las masas de agua superficiales que pasan de ser ríos permanentes a ríos temporales se ha realizado mediante la determinación de los caudales naturales en los periodos de estiaje, cogiendo como ejemplo los caudales en el mes de agosto. Se han identificado los tramos de río con caudales superiores a 100 l/s, valor establecido como umbral, en el mes de agosto, representativo del estiaje. Aquellos tramos con caudales superiores al umbral en el periodo histórico, pero con caudal inferiores en los escenarios de cambio climático se han identificado como los tramos que pasarían de permanentes a ríos temporales.

Los tramos identificados se corresponden con los tramos de cabecera y afluentes de los principales ríos. Los tramos no regulados podrían tener importantes efectos en el ecosistema.

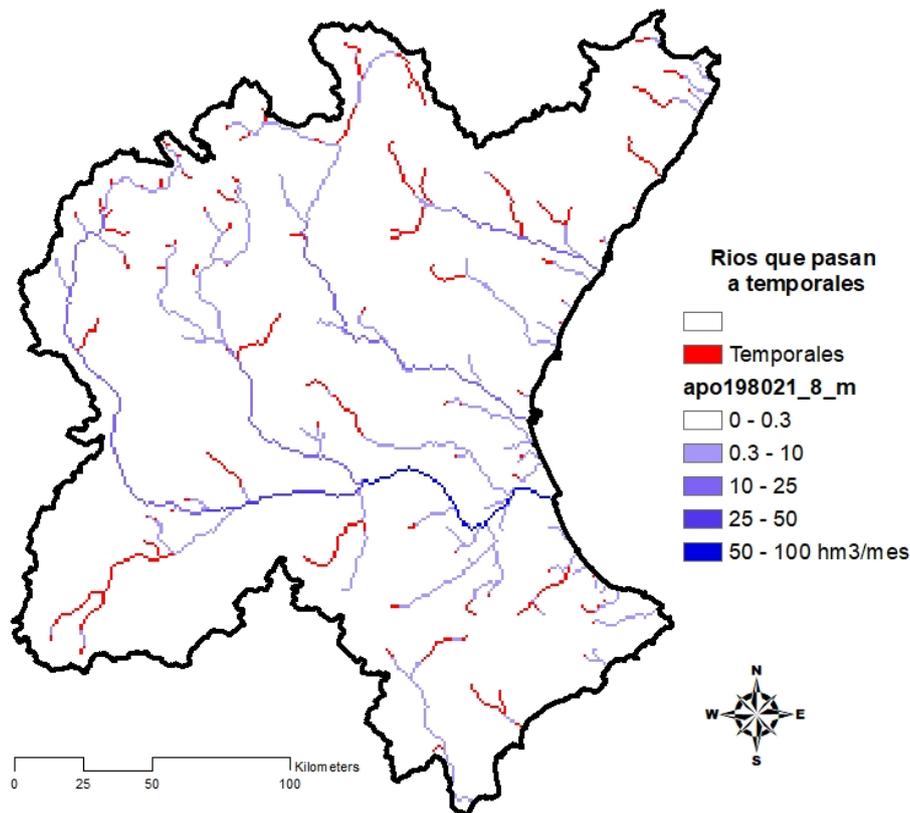


Figura 48. Masa de agua que pasan de ríos permanentes a temporales.

7.1.4 Cambio en el tipo de ecotipo de las masas de agua superficiales

Este apartado no se encuentra desarrollado en la actualidad en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

En este apartado se realizará una nueva identificación de las masas de agua en cada una de los ecotipos existente, para identificar que masas de agua cambian de ecotipo, debido al incremento de temperatura al cambio en el régimen hidrológico.

Cod masa de agua	Nombre masa	Ecotipo actual	Ecotipo en escenario CC
01012			
01013			
01014			
01015			
01016			
01017			
01018			

Tabla 9. Masas de agua que cambian de ecotipo

7.1.5 Afección al ciclo de vida de las especies

El cambio en el régimen hidrológico modifica las velocidades y calados de los ríos pudiendo alterar las condiciones del hábitat de los ríos en los tramos no regulados o poco regulados por los embales. En este apartado se analiza la afección en el ciclo biológico de los principales tramos de río no regulados o con un nivel de regulación pequeño.

En el caso del Júcar no existe estudios desarrollados que incluyan esta información, por lo que se incluye a continuación recomendaciones para la elaboración de estos estudios.

En las masas de agua más significativas de la demarcación se aplicará un modelo de población de peces para las principales especies de peces de la demarcación, con el objetivo de evaluar los cambios y las causas principales que afecten a la población de peces.

A modo de ejemplo se muestra el siguiente estudio donde se analiza la afección a una especie en los diferentes estados de desarrollo de dicha especie.

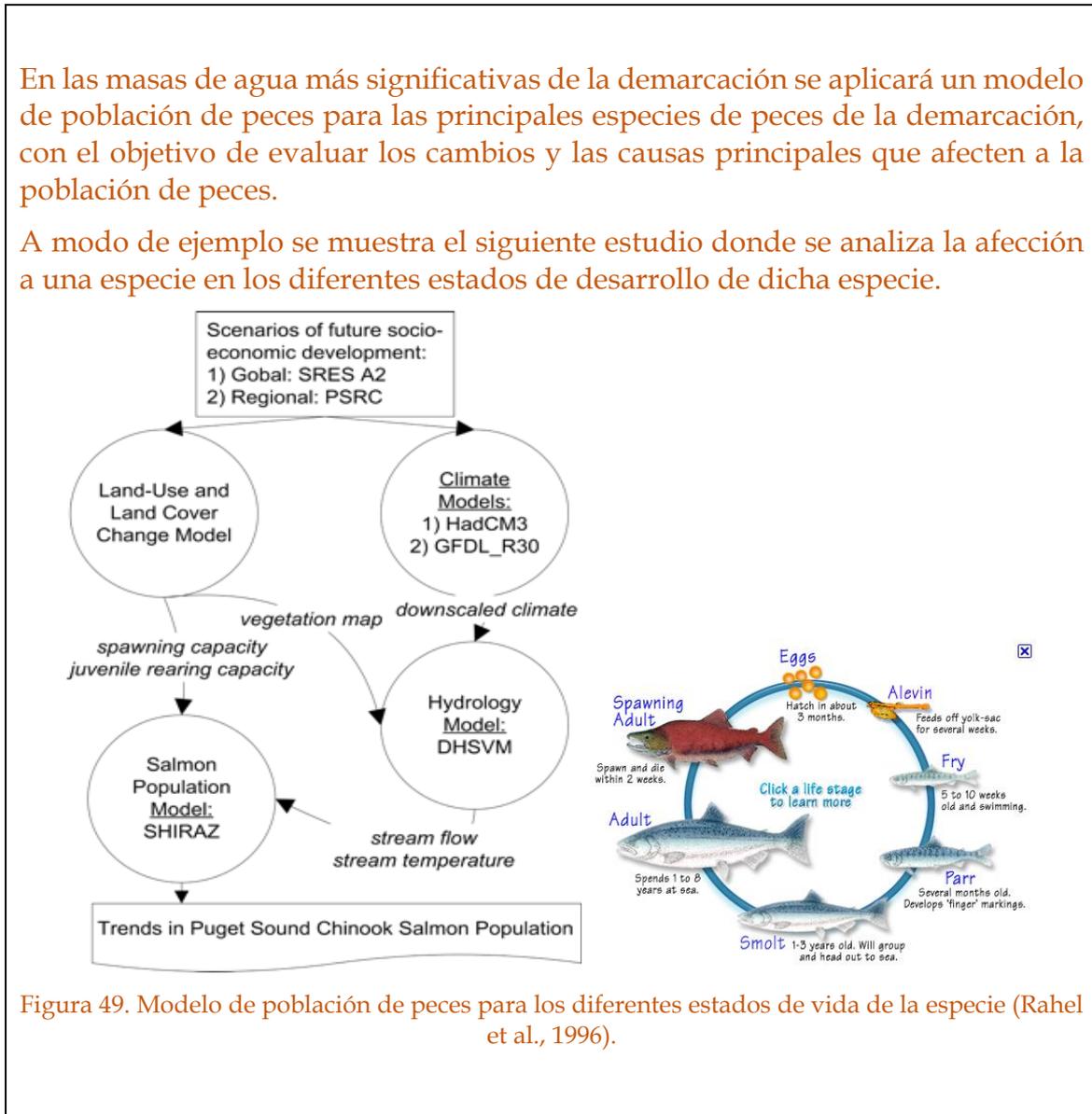


Figura 49. Modelo de población de peces para los diferentes estados de vida de la especie (Rahel et al., 1996).

Los resultados se obtienen el grado de afección para los diferentes estados biológicos de la especie, tal y como se muestra en la figura siguiente.

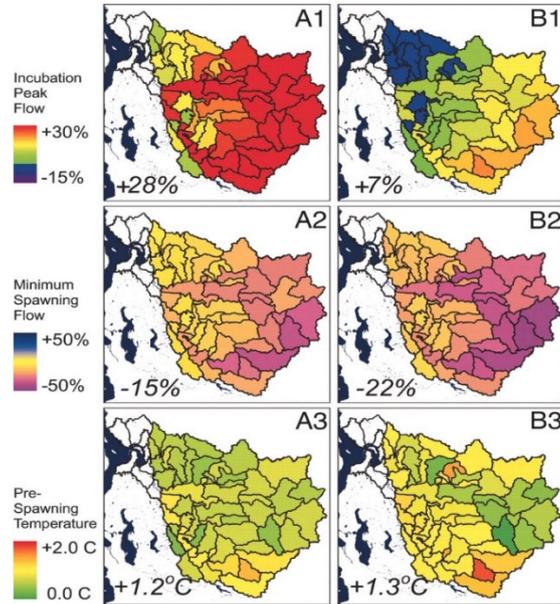


Figura 50. Resultados obtenidos en para los diferentes estados biológicos de la especie, incubación, desove y predesove (Rahel et al., 1996).

Finalmente, se obtiene integrando los resultados de cada estado de los peces el porcentaje pérdida de individuos para los escenarios de cambio climático.

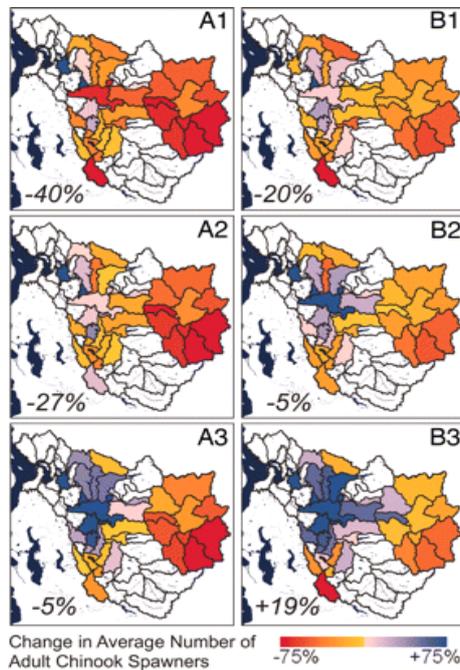


Figura 51. Reducción porcentual en el número de individuos en los escenarios de cambio climático (Rahel et al., 1996).

7.1.6 Cambio en la concentración de contaminantes y cambio en los parámetros químicos

La carga contaminante actual, puntual y difusa, con la previsible reducción en los caudales circulantes en las masas de agua superficial y subterránea, debido a la reducción en las aportaciones naturales, producirá cambios en la concentración de contaminantes. En este apartado se evaluará con los modelos actuales el cambio en la concentración de contaminantes, y los cambios en los parámetros químicos, en masas de agua superficiales y en masas de agua subterráneas, como por ejemplo la concentración de nitrato.

En aguas superficiales se evaluará el cambio en la concentración de contaminantes y cambios en los parámetros químicos en ríos: DBO5, ph, concentración de fósforo, concentración de nitrato

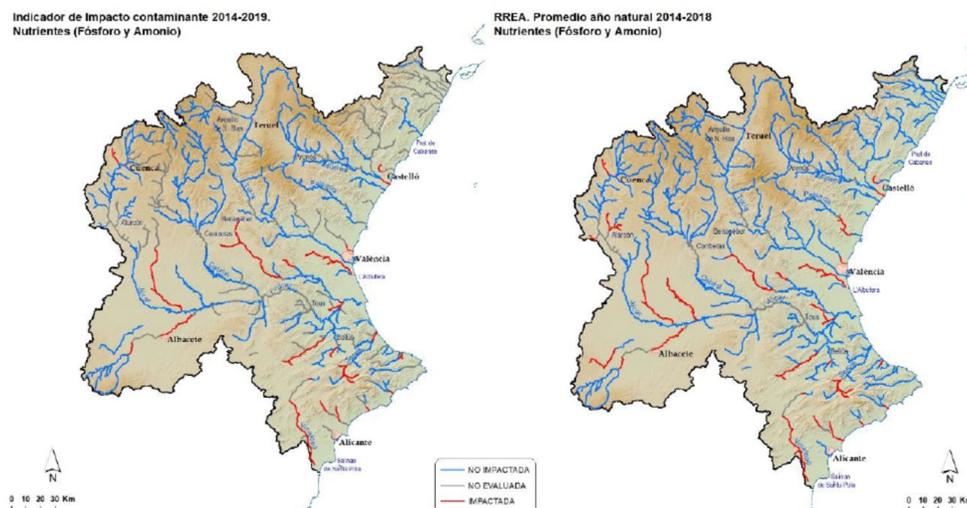


Figura 52. Masas de agua impactadas por nutrientes, resultados del modelo RREA.

En el caso de la contaminación por nitratos en las aguas subterráneas, los resultados muestran que pueden producirse cambios entre 5 y 10 mgNO₃/l en las masas de agua siendo necesaria la evaluación en cada una de ellas. La reducción en la recarga al acuífero también reduce la entrada de nitrato que es arrastrada por la infiltración, por lo que es necesaria la evaluación individualizada en cada masa de agua subterránea.

Por otra parte, en las aguas superficiales se observa un incremento sistemático en la concentración de nitrato, dado que se mantienen los aportes de nitrógeno que se mezclan en una cantidad menor de agua superficiales. Las concentraciones podrían pasar de un rango de 5-15 mgNO₃/l a valores entre 20 y 40 mgNO₃/l.

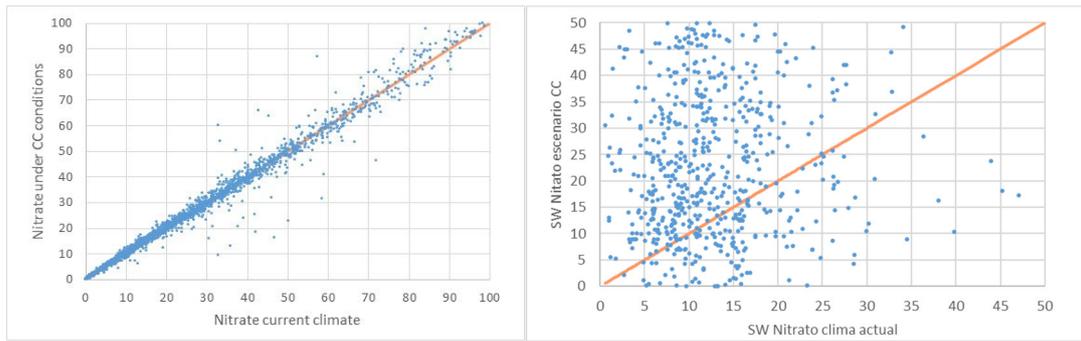


Figura 53. Concentración de nitrato en la situación actual y en el escenario de cambio climático, resultados del modelo Patrical, aguas subterráneas GW (izquierda) y aguas superficiales SW (derecha).

7.1.7 Aumento del estrés hídrico en la vegetación natural de la Demarcación

En los escenarios de cambio climático se produce un descenso en el contenido de humedad del suelo, fundamentalmente en el periodo de marzo a junio. Esta reducción representa menor disponibilidad de agua para la vegetación por lo que el déficit de agua se incrementa y aumenta el estrés hídrico de la vegetación. En el escenario RCP8.5 a largo plazo, se produce un aumento en la evapotranspiración potencial, ETP, del 12% y una reducción de la evapotranspiración real, Ei, del 14%, ambos efectos producen un aumento en el déficit hídrico del 30%.

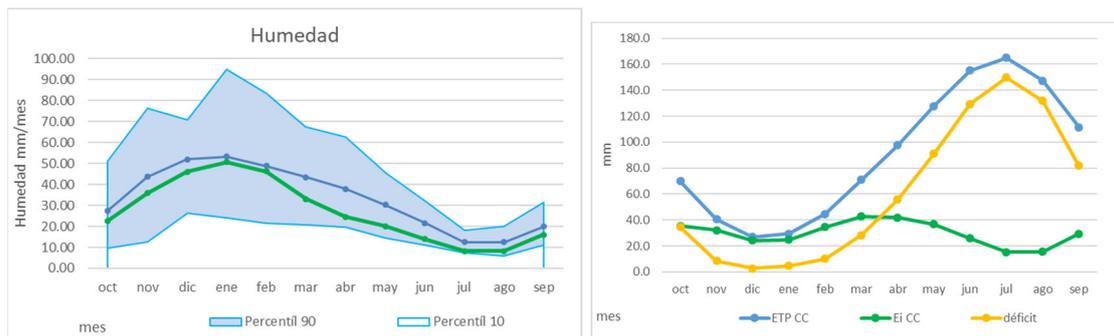


Figura 54. Humedad del suelo media mensual para el periodo histórico reciente y en el escenario de cambio climático RCP8.5 para final de siglo.

El estrés hídrico aumenta prácticamente en todos los meses, teniendo un mayor aumento en los meses de marzo a junio, y alcanzando valores superiores al 80% en los meses de junio, julio y agosto. El periodo de elevado estrés hídrico se extiende de los meses de julio y agosto en la actualidad al periodo de junio, julio y agosto.

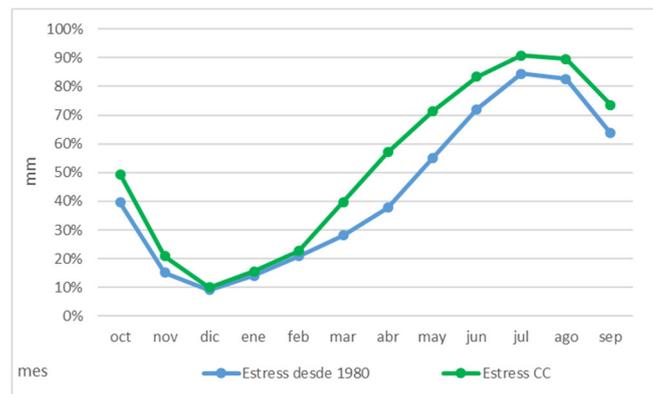


Figura 55. Estrés hídrico para el periodo histórico reciente y en el escenario de cambio climático RCP8.5 para final de siglo.

7.1.8 Cambios en hábitat de la vegetación natural de la cuenca

En este apartado se analizan los cambios en la vegetación de la demarcación, considerando los cambios en el hábitat de las principales especies de la demarcación. El análisis consistirá en analizar los resultados de cambios en el hábitat procedente del estudio Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 2. Flora y vegetación (Felicísimo, Á. M. (coord.) 2011.). Se evaluarán los valores umbrales de clima, precipitación y temperatura, utilizados para definir los hábitats y su posible aplicación con los escenarios de cambio climático más actualizados. Finalmente se analizará el efecto de los cambios en los hábitats en la generación de escorrentías y la generación de crecidas.

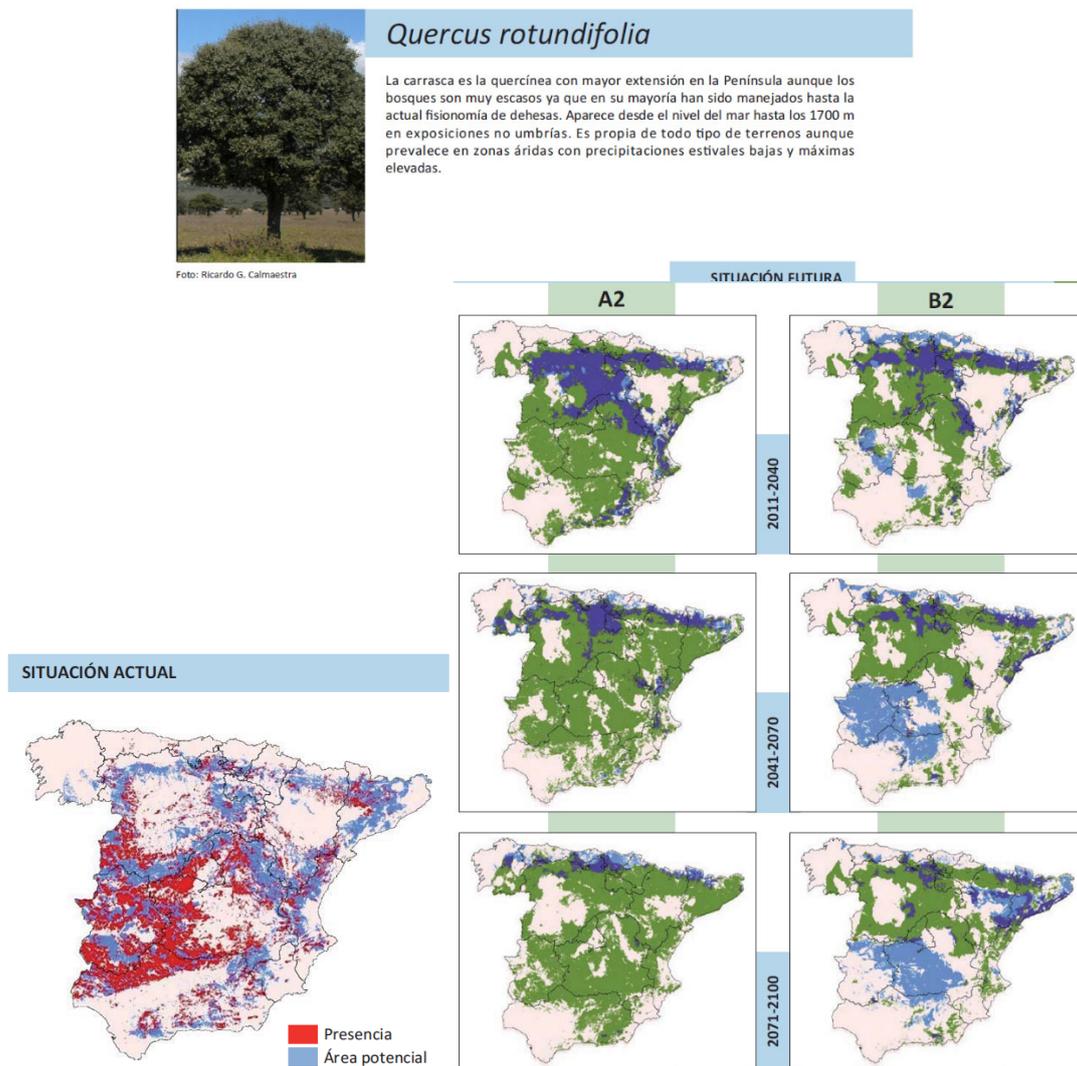


Figura 56. Cambios en el hábitat de la especie *Quercus rotundifolia* (Felicísimo, Á. M. (coord.) 2011.).

En la figura siguiente se muestran las áreas afectas con mayores pérdidas de especies.

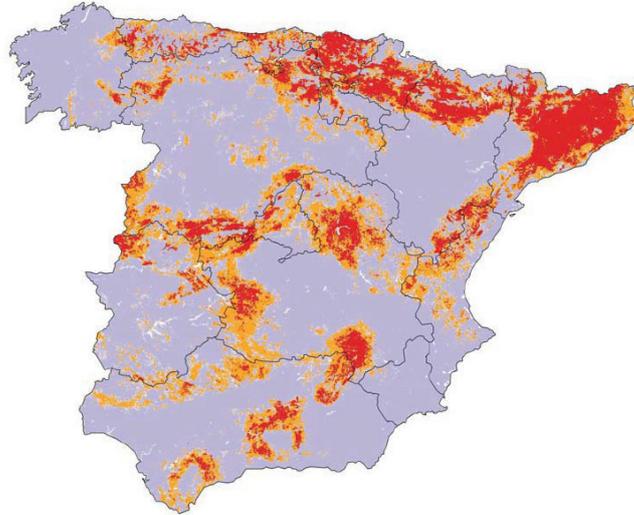


Figura 4. Zonas críticas por pérdida de riqueza específica para la combinación A2/CGCM2. Naranja: pérdida de 9 o más especies (percentil 0,75); rojo: pérdida de 13 o más especies (percentil 0,90).

Figura 57. Identificación de las áreas con mayor pérdida de biodiversidad vegetal (Felicísimo, Á. M. (coord.) 2011.).

7.1.9 Cambios en el transporte de sedimentos

En este apartado se analizarán los efectos del cambio climático sobre el caudal sólido, en particular en la desembocadura. Incluyendo los estudios de los efectos del cambio climático en la zona costera, como la “Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático en la costa española” (IHC, 2019).

En especial se analizará según establece la normativa, Art 19.4:

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.

7.2 Riesgos asociados a cambios en el régimen de extremos

En este apartado se desarrollan los riesgos definidos en el artículo 19 punto 3 apartado b, que son: 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.

Los riesgos asociados al cambio en el régimen de extremos incluyen: el incremento de caudales máximos de las crecidas en la demarcación y la evaluación de los riesgos asociados obtenidos en los planes de gestión del riesgo de inundación en la demarcación; el aumento en la frecuencia e intensidad de las sequías; y el aumento en el número de incendios forestales.

7.2.1 Crecidas y riesgo de inundaciones

Obtención del incremento de los caudales máximos en la demarcación, a partir de los valores de incremento de la tasa de cambio en la precipitación en las Áreas con riesgo potencial significativo de inundación (ARPSI) de la Demarcación del Júcar.

ARPSIs		Tasas de cambio precipitación diaria máxima anual (mayor a 10%)					
Nombre tramo ARPSI	Código subtramo ARPSI	T10	T10	T100	T100	T500	T500
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Rambla Gallinera - Marjal de Pego	ES080_ARPS_0011-01			10-20%		10-20%	10-20%
Serpis - Beniopa	ES080_ARPS_0012-01			10-20%		10-20%	
	ES080_ARPS_0012-02			10-20%		10-20%	
	ES080_ARPS_0012-03			10-20%		10-20%	
Bajo Júcar - Ribera del Júcar	ES080_ARPS_0014-04						10-20%
	ES080_ARPS_0014-10			10-20%		10-20%	
	ES080_ARPS_0014-13					10-20%	
	ES080_ARPS_0014-15					10-20%	
	ES080_ARPS_0014-16			10-20%		10-20%	
	ES080_ARPS_0014-17					10-20%	
Río Clariano	ES080_ARPS_0015-02			10-20%		10-20%	
Río Valdemembra	ES080_ARPS_0016-02				10-20%	10-20%	20-30%
Canal de María Cristina	ES080_ARPS_0017-01		10-20%		20-30%	10-20%	20-30%
Ríos Júcar y Moscas	ES080_ARPS_0018-02				10-20%		10-20%
Rambla de Las Hoyuelas	ES080_ARPS_0019-01			10-20%		10-20%	
Barranco del Puig, Cañada del Molinar, Barranco de Bords	ES080_ARPS_0020-01				10-20%		10-20%
	ES080_ARPS_0020-03						10-20%
Barranco del Carraixet	ES080_ARPS_0021-01						10-20%
	ES080_ARPS_0021-02				10-20%		10-20%
Bajo Turia	ES080_ARPS_0022-01						10-20%
	ES080_ARPS_0022-03					10-20%	
	ES080_ARPS_0022-04			10-20%		10-20%	
	ES080_ARPS_0022-05					10-20%	
	ES080_ARPS_0022-07					10-20%	
	ES080_ARPS_0022-08					10-20%	10-20%
	ES080_ARPS_0022-09				10-20%		10-20%
	ES080_ARPS_0022-10				10-20%		10-20%
Ríos Turia y Alfambra	ES080_ARPS_0023-01					10-20%	10-20%
	ES080_ARPS_0023-02				10-20%		10-20%
Palancia y barrancos de Sagunto y Almenara	ES080_ARPS_0024-02						10-20%
	ES080_ARPS_0024-03						10-20%
Barranco de la Murta	ES080_ARPS_0028		10-20%	10-20%	10-20%	10-20%	

Tabla 10. Porcentajes de cambio en la precipitación diaria máxima anual acumulada en relación al modelo SQRT-R para el periodo de impacto 2041-2070 en los subtramos ARPSIs fluviales o pluviales de la DH del Júcar con cambios superiores al 10% (PGRI-Júcar, 2021)

7.2.2 Efecto del cambio climático en las sequías

Resumen de los riesgos derivados de un incremento en la frecuencia y en la magnitud de las sequías. En coordinación con el plan especial de sequías elaborado (PES, 2018) y del nuevo PES en elaboración, se realizará una evaluación de los efectos en el medioambiente y en las garantías de las demandas bajo las nuevas series hidrológicas obtenidas con los escenarios de cambio climático.

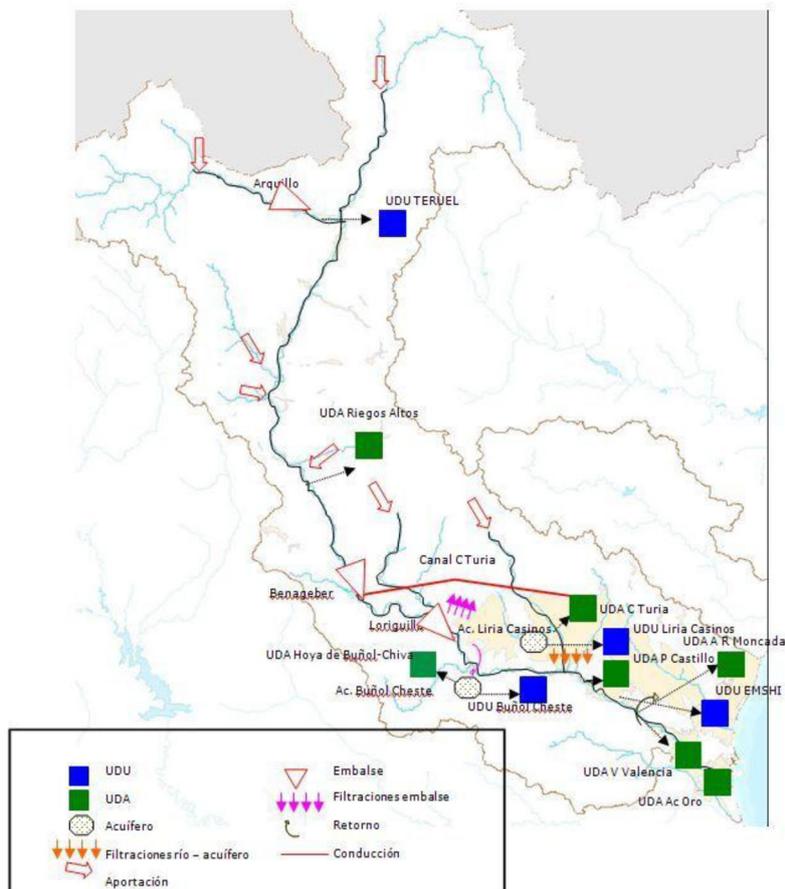


Figura 58. Esquema conceptual de la UTE 4 Turia.

7.2.3 Aumento en la frecuencia incendios forestales

A partir de los datos de precipitación y temperatura mensual se determinan los índices de riesgo de aparición de incendios forestales, los índices FWI (Fire Weather Index, Van Wagner, 1974) y el índice KWI (Keetch and Byram, 1968). Ambos índices tienen unos umbrales mediante los cuales se determina si existe un riesgo alto, muy alto o extremo de que se produzcan incendios forestales. La relación de situaciones de riesgo con la base de datos de incendios realmente producidos determina el número de igniciones que se produce por temporada en función del nivel de riesgo.

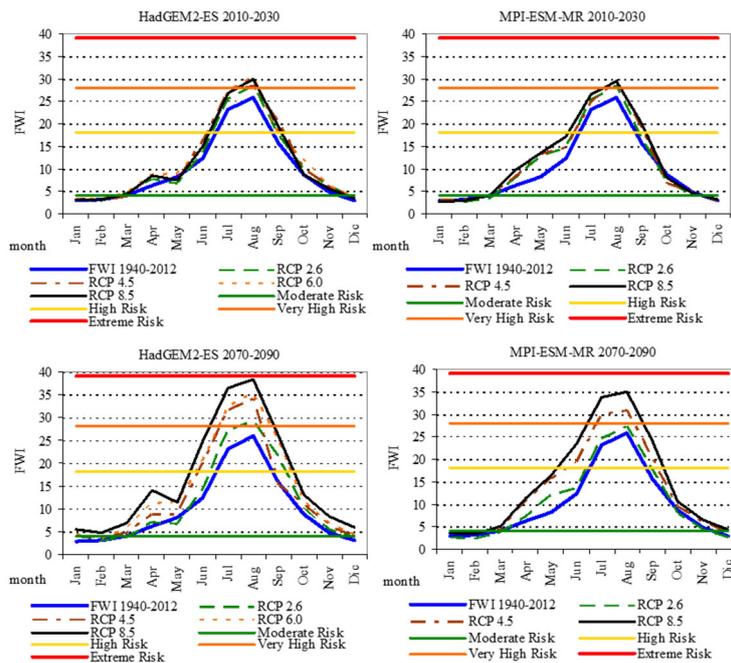


Figura 59. Riesgo mensual de aparición de incendios forestales, índice FWI, en los escenarios de cambio climático en la cabecera del Júcar

Los resultados muestran un incremento del 40% en el número de incendios forestales por año en el corto plazo y que el número de incendios forestales por año se duplicará en el largo plazo (Perez-Martín et al., 2015).

Risk level	FWI	KBDI	Potential number of Wildfires per season
Low	0 – 4	0 – 40	0
Medium	4 – 18	40 – 180	20 – 60
High	18 – 28	180 – 280	60 – 150
Very High	28 – 39	280 – 390	150 – 300
Extreme	>39	>390	+300

Tabla 11. Índice FWI, índice KBDI y número potencial de incendios forestales al año en la cabecera del Júcar (Pérez-Martín et al. 2015)

7.3 Riesgos asociados al incremento de temperatura

En este apartado se desarrollan los riesgos definidos en el artículo 19 punto 3 apartado c, que son: 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

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).

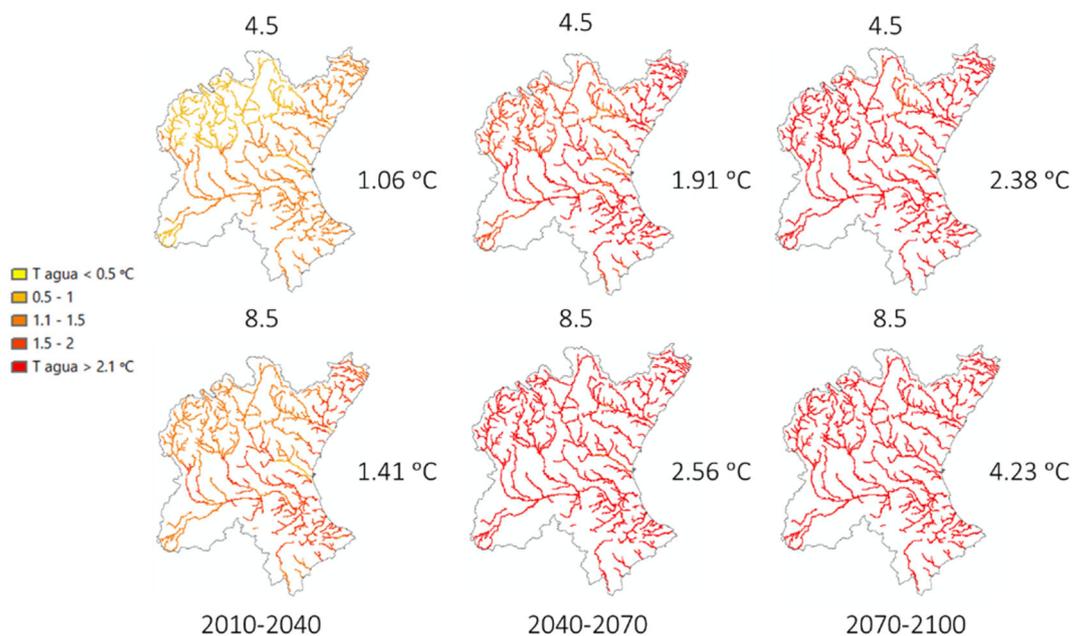


Figura 60. Mapa de peligrosidad para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, para el corto (2010-2040) medio (2040-2070) y largo plazo (2070-2100).

Los riesgos analizados e incluidos en este apartado son:

- Impactos sobre el régimen hidrológico
- Reducción en el contenido de oxígeno disuelto
- Reducción del hábitat potencial de las especies piscícolas de aguas frías (Trucha Común)
- Afección a las familias de macroinvertebrados
- Incremento en el riesgo de eutrofización de lagos y humedales
- Aumento de las necesidades de agua para uso agrícola, urbano e industrial y refrigeración centrales energéticas
- Especies invasoras

7.3.1 Impactos sobre el régimen hidrológico

En los puntos con mayor relación con el deshielo se analiza el cambio en el régimen hidrológico, de forma que se incluye el incremento de caudales invernales debido al adelanto del deshielo por el incremento de temperatura.

En el gráfico del régimen hidrológico del río Júcar a su paso por Cuenca y del río Cabriel en Contreras, dos tramos fuertemente influenciados por el deshielo, se observa una reducción en el régimen de caudales medios, acorde con las reducciones en las aportaciones que se producen en la cuenca. Sin embargo, el análisis de los percentiles de las aportaciones muestra un adelanto en los caudales elevados asociadas al deshielo, que pasan de producirse en los meses de marzo, abril y mayo a los meses de diciembre, enero y febrero.

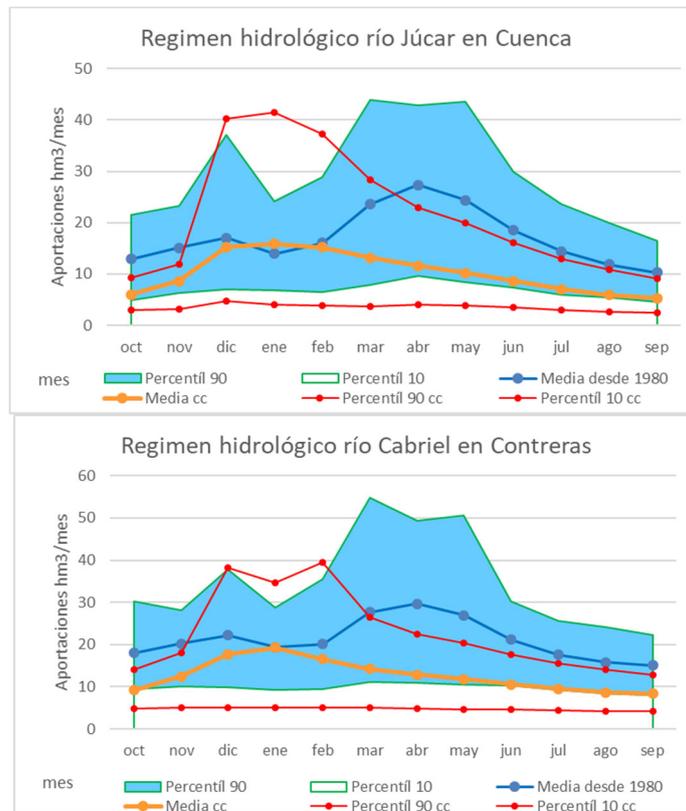


Figura 61. Régimen hidrológico actual y en los escenarios de cambio climático para las aportaciones naturales influenciadas por el deshielo, río Júcar en Cuenca y río Cabriel en Cuenca.

7.3.2 Reducción en el contenido de oxígeno disuelto

El aumento de temperatura produce una disminución en el contenido de oxígeno disuelto en el agua. El contenido de oxígeno disuelto en el agua (mgO₂/l) se ha determinado en base a las dos principales variables que determinan la solubilidad, la temperatura del aire y presión atmosférica, la cual depende de la altitud (Julien, P., 2018), y que ha sido contrastada con la información observada procedente de la base de datos Nabia.



Figura 62. Niveles de oxígeno requeridos para las diferentes especies.

La evolución temporal muestra como gradualmente va aumentando el número de masas de agua con riesgo alto de que la reducción de oxígeno produzca que dejen de ser masa con altos contenidos de oxígeno disuelto (UPV, 2020).

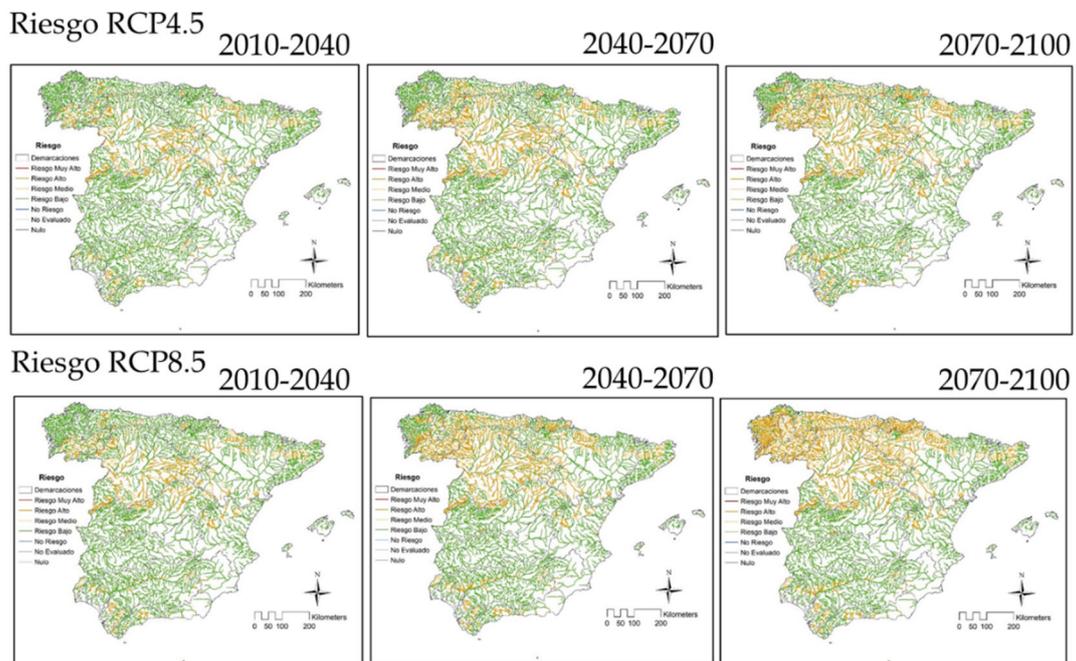


Figura 63. Evolución del Mapa de Riesgo de reducción de oxígeno disuelto en el agua largo del tiempo. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5

7.3.3 Reducción del hábitat potencial de las especies piscícolas de aguas frías (Trucha Común)

El incremento de temperatura del agua, debido al incremento en la temperatura del aire, produce un desplazamiento de la barrera termal de las especies de aguas frías. Los resultados muestran para la Trucha común (*Salmo trutta*), especie de aguas frías utilizada como especie indicadora, que se produce una reducción del 20% del hábitat en los próximos años a una pérdida de casi un 90% a largo plazo (UPV, 2020).



Figura 64. *Salmo trutta* (Trucha común)

El hábitat potencial va reduciendo su extensión y fraccionándose a lo largo del siglo afectando fundamentalmente a los tramos medios de los ríos.

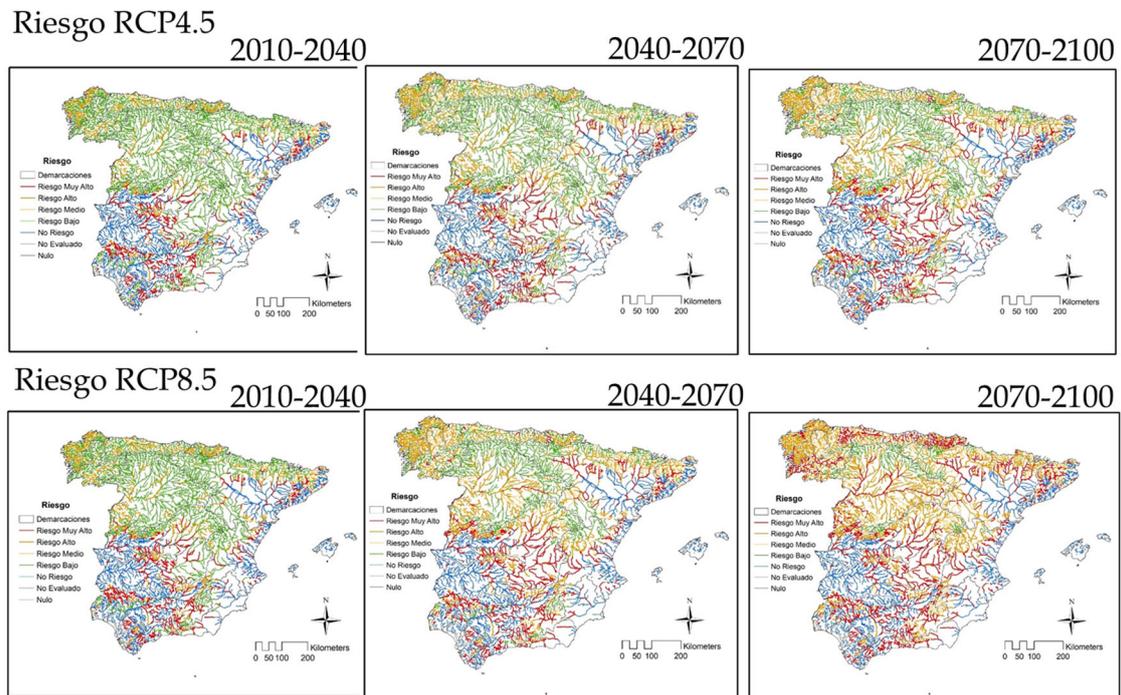


Figura 65. Evolución del Mapa de Riesgo de reducción de oxígeno disuelto en el agua largo del tiempo. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5

7.3.4 Afección a las familias de macroinvertebrados

Para el caso de los macroinvertebrados, el cambio climático produce un cambio en el número de individuos del 35% de las familias en corto plazo y de prácticamente la totalidad de las familias de macroinvertebrados se ven afectadas a final del siglo XXI (UPV, 2020).



Figura 66. Familias de Macroinvertebrados

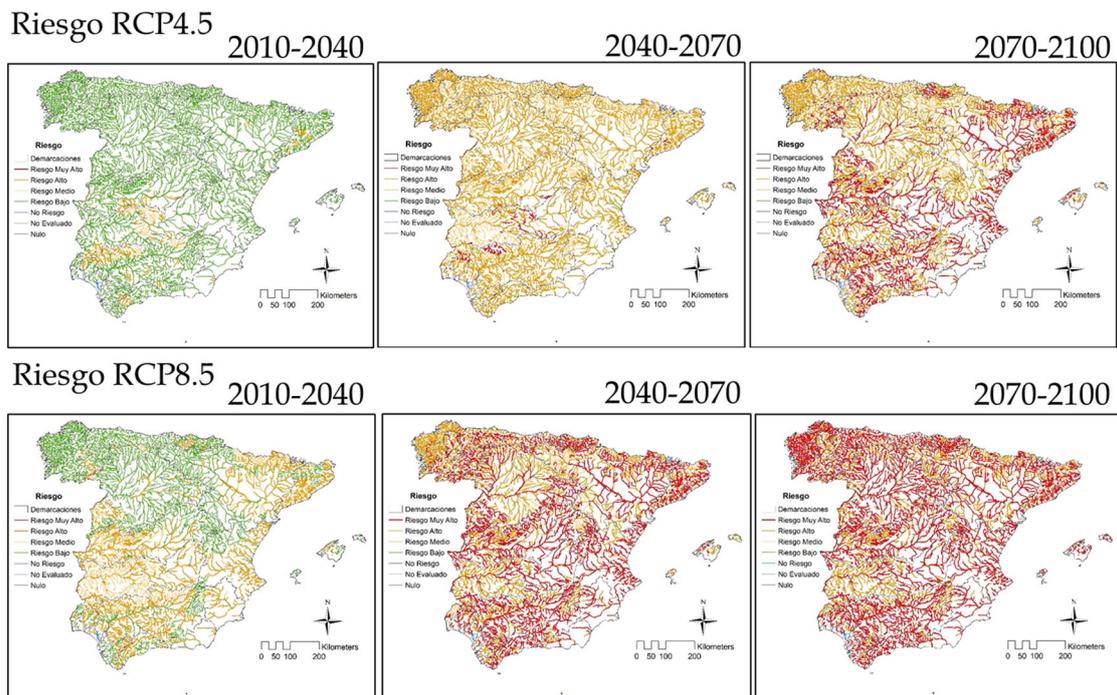


Figura 67. Evolución del Mapa de Riesgo de reducción de oxígeno disuelto en el agua largo del tiempo. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5

7.3.5 Incremento en el riesgo de eutrofización de lagos y humedales

El incremento de temperatura y el aumento de la concentración de contaminantes debido al mantenimiento de la carga contaminante sobre un sistema con un mor volumen de agua circulante, son dos factores que contribuyen a aumentar el riesgo de eutrofización en lagos y humedales.

La resuspensión del fósforo del sedimento a la columna de agua es función de la temperatura del agua. En condiciones de temperatura bajas se produce un flujo principal de la columna de agua al sedimento. Por el contrario, en condiciones de mayor temperatura se produce la movilización del fósforo del sedimento y hay un flujo de fósforo del sedimento a la columna de agua, aportando este nutriente y aumentando considerablemente el riesgo de eutrofización. Múltiples otros factores intervienen en este proceso, como por ejemplo la variación de las tasas de crecimiento o mortalidad de plantas de fondo y algas en función de la temperatura, lo cual requiere una sustancial mejora en el conocimiento de estos sistemas frente a los incrementos de temperatura debidos al cambio climático.

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de cómo aumenta significativamente el riesgo de eutrofización de un lago con un aumento de temperatura de 2 y 4° C. En la situación actual el lago ejemplo aumenta su nivel de clorofila por crecimiento rápido de algas, durante el verano debido a la mayor temperatura del agua, produciendo riesgo de eutrofización en los meses julio agosto y septiembre. En los escenarios de cambio climático a medio plazo, incremento de temperatura del agua de 2°C, y largo plazo con un incremento de temperatura del agua de 4°C, el crecimiento de las algas en el lago se dispara de forma significativa.

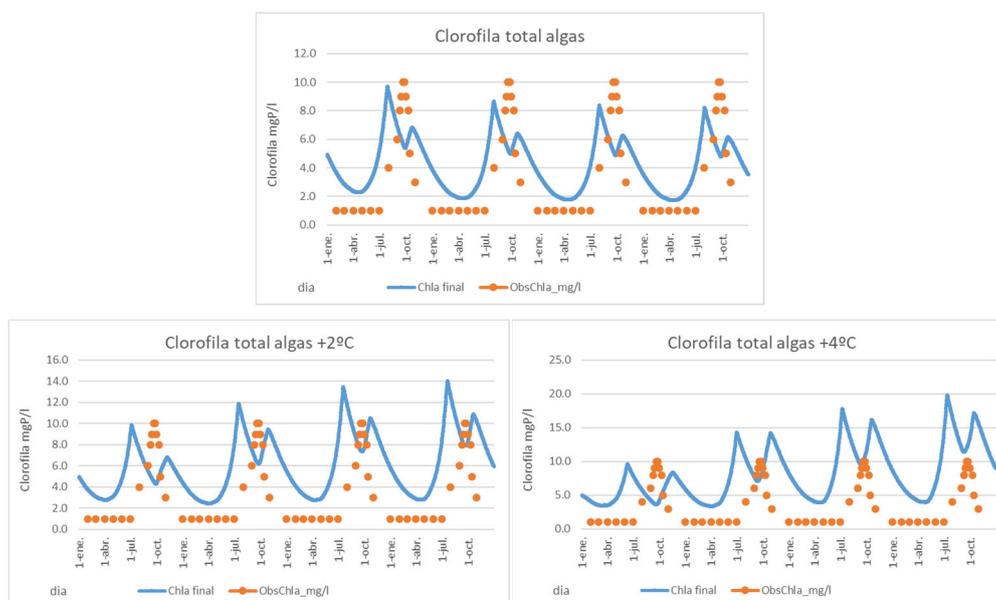


Figura 68. Ejemplo de Bloom de algas en la situación actual (superior) y con un incremento de la temperatura del agua de 2°C (medio plazo) y de 4°C (largo plazo).

7.3.6 Aumento de las necesidades de agua

El incremento de temperatura del aire produce un aumento en las necesidades de agua para los cultivos de regadío; un aumento en el estrés hídrico de los cultivos no regados, lo cual podría introducir solicitudes para la utilización de riegos de apoyo; un incremento en las necesidades de agua para refrigeración de centrales térmicas y nucleares; y un incremento en las necesidades de agua de zonas urbanas o industriales. Por otro lado, el aumento de la concentración de CO₂ también afecta al desarrollo biológico de las plantas, lo cual tienen que tenerse en consideración en la determinación de demandas y del estrés hídrico.

7.3.6.1 Necesidades de riego de los cultivos

En el uso agrícola el incremento de temperatura, el incremento en los niveles de CO₂ y el cambio en la precipitación, son tres elementos que afectan a las necesidades de riego y al estrés hídrico en el secano. El cambio en la distribución espacial y temporal de la precipitación, y fundamentalmente su disminución, producirá un aumento en las necesidades de riego. El incremento en la temperatura produce un incremento en la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia y, finalmente, el incremento en los niveles de CO₂ atmosférico, produce un mayor cierre de las estomas de la hoja de la planta, disminuyendo la conductancia estomática. En el caso de contenidos elevados de concentración de CO₂, como por ejemplo el doble de contenido de CO₂ de la concentración actual, la conductancia estomática puede reducirse un 40%-50% (Sanderson, 2007; Xu et al., 2016), con un rango de variación entre un 20% y un 80%. Aunque aún existen grandes incertidumbres en el comportamiento de las estomas y otros procesos con elevados contenidos de CO₂, el mayor cierre de las estomas podría producir un descenso en la ETo dejándola en el 80% del valor actual (Woznickia et al., 2015). Produciéndose un incremento en la ETo debida a la subida de temperatura y una disminución de la ETo asociada al cierre de las estomas.

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

En este trabajo se ha calculado la evapotranspiración potencial y las necesidades de riego de los principales cultivos de la Demarcación Hidrográfica mediante el software CROPWAT desarrollado por la FAO. El programa también permite la programación del riego requerido por los cultivos en unas condiciones especificadas. CROPWAT utiliza como datos las siguientes tres variables: clima, cultivo y suelo:

1. Clima y cálculo de ETo: datos de la estación meteorológica de las capitales de provincia.
2. Cultivo: cada cultivo tiene unas propiedades específicas de las que se puede partir de la publicación N° 56 de la Serie Riego y Drenaje de la FAO, titulada "Evapotranspiración del cultivo - Guías para el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo".
3. Suelo: características específicas del suelo obtenidas a través de Soil Water Characteristics.

En el anexo 3 de este informe se encuentran las fichas de resultados para los principales cultivos de la Demarcación y por provincia, como la que se muestra a continuación del cultivo de cítrico en la Provincia de Valencia.

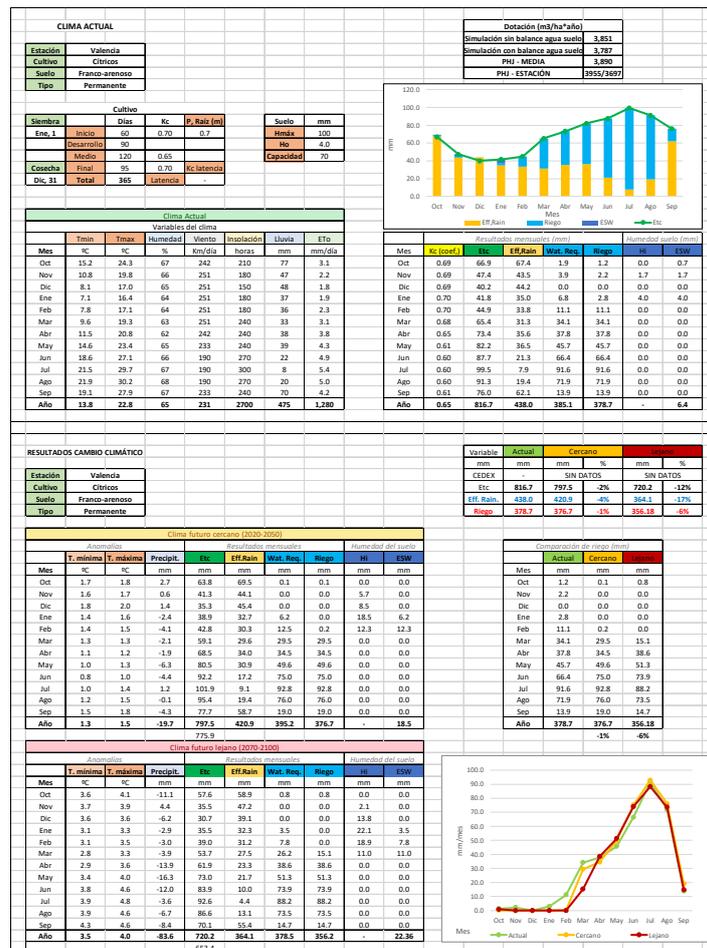


Tabla 12. ETP y necesidades de riego para los cítricos en la Provincia de Valencia, actual y bajo los escenarios de cambio climático RCP8.5 en el futuro cercano y en el futuro lejano considerando la reducción máxima en la ETo por el cierre de las estomas.

A partir de la ETo del cultivo de referencia en la provincia de Valencia, de 1280 mm/año, se obtiene con un kc medio de 0.65, la ET (evapotranspiración potencial) de los críticos con un valor de 817 mm/año. Aplicando el balance de agua mensual en el suelo con la estimación de la precipitación efectiva y con la ET se obtiene que la necesidad de aporte de agua con el riego es de 379 mm/año, lo que representa una dotación neta de 3800 m³/ha/año, valor muy similar al

establecido en el Plan Hidrológico con un rango entre 3700 y 4000 m³/ha con un valor medio de 3890 m³/ha.

Para el mismo cultivo bajo los escenarios de cambio climático para el futuro cercano y el futuro lejano con el escenario RCP8.5, se obtiene asociado al incremento de temperatura un incremento en la ET que va desde el 3% al 10% respecto de la ET actual.

Por otro lado, se considera que el aumento en la concentración de CO₂ en la atmósfera produce una reducción en la conductancia de las estomas. Se ha considerado un rango de variación en la reducción de la conductancia de las estomas que varía desde un 20-25% hasta un 50%. Esta reducción en la conductancia de las estomas reduce la ETo del cultivo para el medio y largo plazo, que en el largo plazo representa una reducción entre el 10 y el 20%.

De esta forma, y asociado a las incertidumbres en el comportamiento biológico de las plantas frente a elevados niveles de CO₂, la horquilla de variación de la ETo que se ha considerado fluctúa entre que la ETo futura sea igual a la actual, sube por el incremento de temperatura y baja por el cierre de las estomas, o que se reduzca en un 10-12% en el largo plazo. Con el anterior rango de variación de la ETo, y teniendo en cuenta la reducción en las precipitaciones, las necesidades de riego en el largo plazo varían entre un 19% y un -6%.

Los resultados de necesidades de riego en el largo plazo para los cítricos por provincias en el escenario de cambio climático muestran incrementos entre el 13% y el 19% en el caso de considerar una reducción del 25% en la conductancia de las estomas y unas necesidades similares a las actuales incluso una reducción en el caso de una reducción de la conductancia de las estomas del 50%.

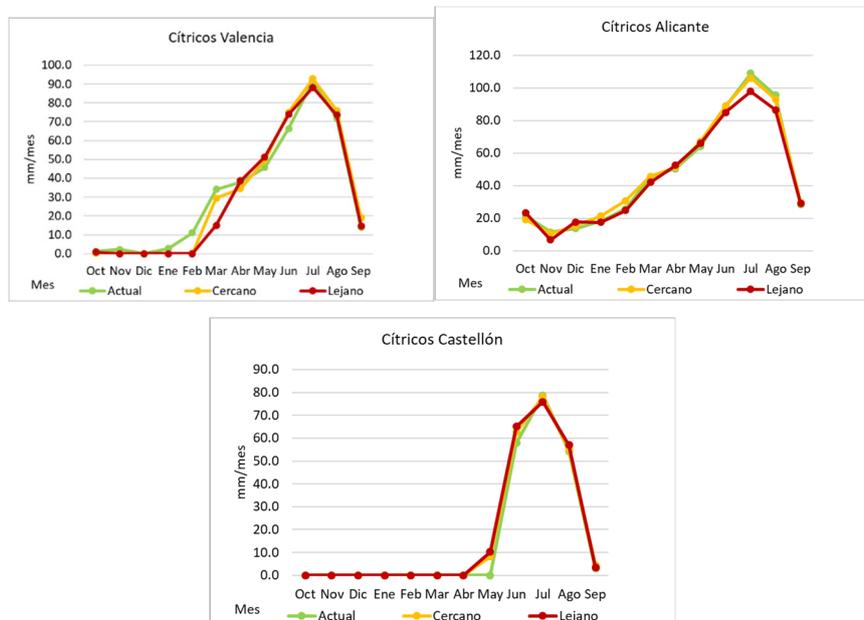


Figura 69. Necesidades de riego para los cítricos en la situación actual y los escenarios de cambio climático para el futuro cercano y final de siglo con el escenario RCP8.5 considerando una reducción de las estomas de 50%

En el escenario de cambio climático para una reducción de la conductancia de las estomas del 25% hay un aumento similar en las necesidades de riego en la zona sur y en la zona norte, sin embargo, el aumento relativo es mayor en la zona norte. El arroz y las hortalizas tienen aumentos similares en las necesidades de riego en el entorno de 15-20 mm/año en el corto plazo a 55-70 mm/año en el largo plazo, representando un aumento de la necesidad de agua del 7% para el arroz hasta el 27 % para las hortalizas.

	mm/año	Actual	F cercano	F lejano	Abs cercano	Abs lejano	Rel cercano	Rel lejano
Castellón	Cítricos	193.9	215.4	263.6	21.5	69.7	11%	36%
Valencia	Cítricos	378.7	401.2	451.7	22.5	73.0	6%	19%
Alicante	Cítricos	572.5	591.0	646.2	18.5	73.7	3%	13%
Castellón	Frutal Hueso	270.6	292.3	344.9	21.7	74.3	8%	27%
Valencia	Frutal Hueso	431.6	439.1	499.2	7.5	67.6	2%	16%
Alicante	Frutal Hueso	627.2	642.8	697.7	15.6	70.5	2%	11%
Valencia	Arroz	794.6	808.4	849.2	13.8	54.6	2%	7%
Valencia	Hortalizas P/O	264.6	285.9	336.0	21.3	71.4	8%	27%
Valencia	Hortalizas I/V	277.6	297.2	352.0	19.6	74.4	7%	27%

Tabla 13. Necesidades de riego para los cítricos y los frutales con hueso en la situación actual y en los escenarios de cambio climático, caso de reducción de la conductancia de las estomas del 25%.

En el escenario de cambio climático para una reducción de la conductancia de las estomas del 50% se producen ligeras reducciones en las necesidades de riego, salvo en la zona de Castellón, donde los cambios en la precipitación tienen un mayor peso.

	mm/año	Actual	F cercano	F lejano	Abs cercano	Abs lejano	Rel cercano	Rel lejano
Castellón	Cítricos	194.0	208.7	211.7	14.7	17.7	8%	9%
Valencia	Cítricos	378.7	376.7	356.2	-2.0	-22.5	-1%	-6%
Alicante	Cítricos	572.1	579.7	549.9	7.6	-22.2	1%	-4%
Castellón	Frutal Hueso	270.6	283.7	276.0	13.1	5.4	5%	2%
Valencia	Frutal Hueso	431.6	425.9	388.9	-5.7	-42.7	-1%	-10%
Alicante	Frutal Hueso	627.2	630.9	594.5	3.7	-32.7	1%	-5%
Valencia	Arroz	794.6	801.8	763.6	7.2	-31.0	1%	-4%
Valencia	Hortalizas P/O	264.6	269.1	262.2	4.5	-2.4	2%	-1%
Valencia	Hortalizas I/V	277.6	278.8	272.3	1.2	-5.3	0%	-2%

Tabla 14. Necesidades de riego para los cítricos y los frutales con hueso en la situación actual y en los escenarios de cambio climático, caso de reducción de la conductancia de las estomas del 50%.

En el caso del maíz, las necesidades de riego se concentran en los meses de junio, julio y agosto. Bajo el escenario RCO8.5 de cambio climático a largo plazo en la hipótesis de reducción de la conductancia en un 50% se produce un descenso en las necesidades de riego del entorno del 5%, salvo en la zona de Teruel donde se produce un aumento. Por otra parte, en el caso de considerar una reducción en la conductancia del 25% se produce un incremento en las necesidades de riego en el entorno del 10%, debido a la reducción en las precipitaciones.

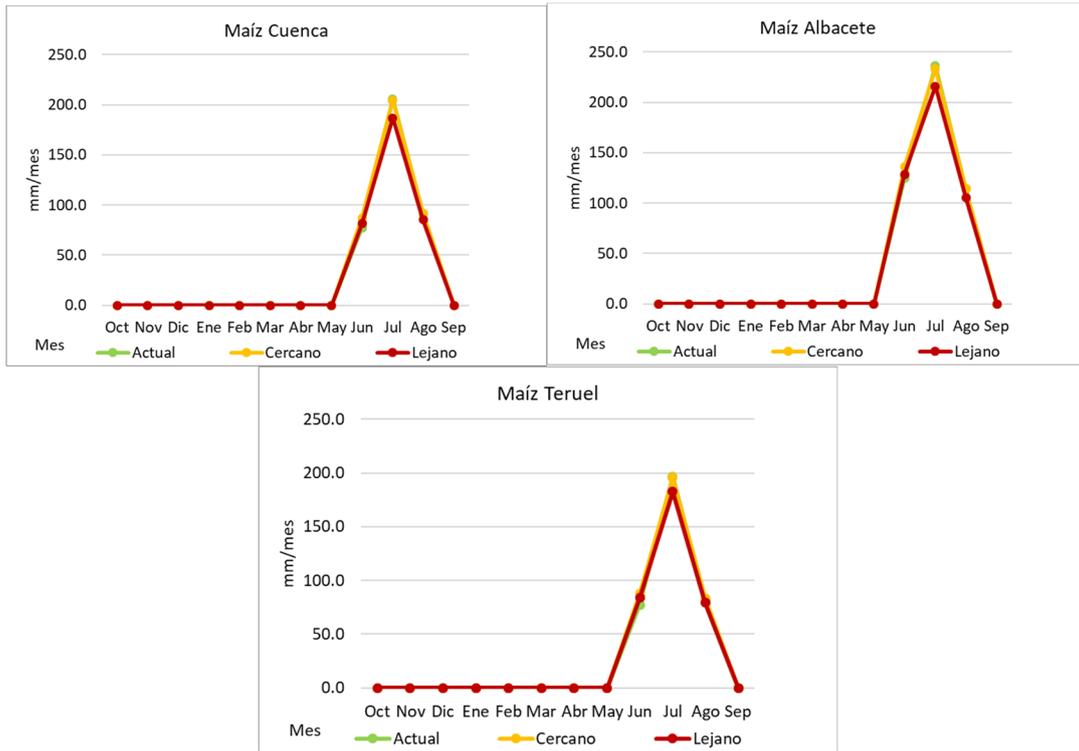


Figura 70. Necesidades de riego para el maíz en la situación actual y los escenarios de cambio climático para el futuro cercano y final de siglo con el escenario RCP8.5 considerando una reducción en la conductancia de las estomas del 50%

En el caso del trigo, las necesidades de riego se concentran en la primavera abril, mayo y junio. En este caso y debido a la reducción en la humedad del suelo en la primavera se producen incrementos en las necesidades de riego en todos los casos.

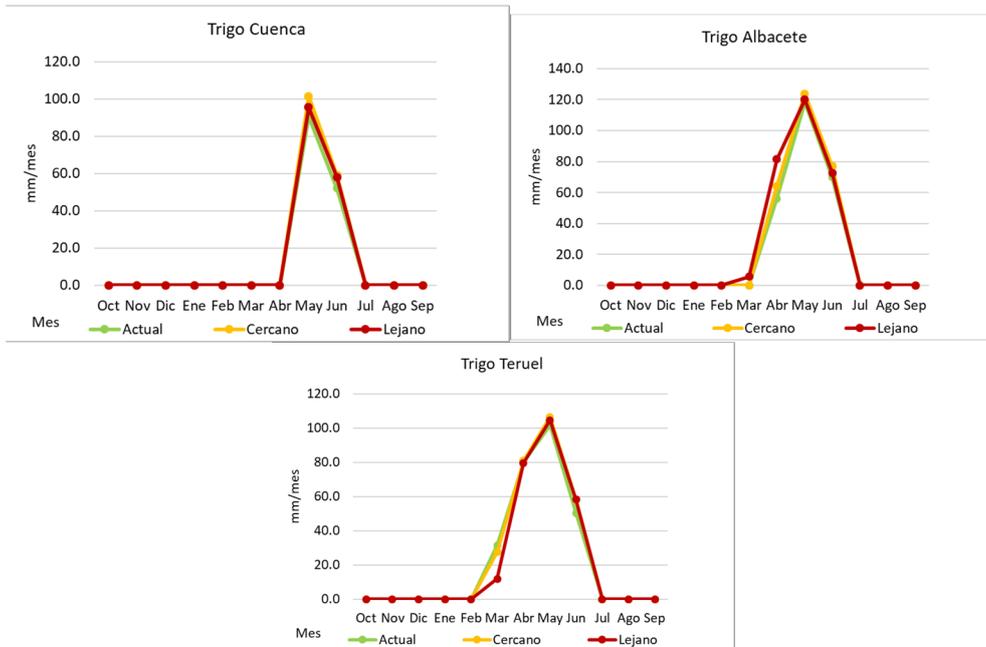


Figura 71. Necesidades de riego para el maíz en la situación actual y los escenarios de cambio climático para el futuro cercano y final de siglo con el escenario RCP8.5 considerando una reducción en la conductancia de las estomas del 50%

Los resultados muestran la necesidad de realizar estudios específicos por cultivo, dado que el ciclo del cultivo, cultivo de primavera o cultivo de verano, y la ubicación determinan el comportamiento en los escenarios de cambio climático. En términos generales se puede indicar que los cultivos de primavera, trigo y cebada, tendrán en todas la hipótesis mayores o menores incrementos en la demanda, mientras que los cultivos de verano, maíz, tendrán aumento o reducción en las necesidades de riego en función de grado de reducción en la conductancia de las estomas que se produzca. La vid aun siendo un riego situado en verano también presenta incrementos en las necesidades de riego.

	mm/año	Actual	F cercano	F lejano	Abs cercano	Abs lejano	Rel cercano	Rel lejano
Teruel	Maíz	353.4	371.8	408.6	18.4	55.2	5%	16%
Cuenca	Maíz	374.3	387.8	414.7	13.5	40.4	4%	11%
Albacete	Maíz	475.5	487.8	519.0	12.3	43.5	3%	9%
Cuenca	Trigo	142.8	162.5	192.5	19.7	49.7	14%	35%
Albacete	Trigo	243.9	266.7	330.9	22.8	87.0	9%	36%
Teruel	Trigo	263.7	275.4	304.7	11.7	41.0	4%	16%
Cuenca	Cebada	84.7	103.2	130.9	18.5	46.2	22%	55%
Albacete	Cebada	162.7	182.8	211.9	20.1	49.2	12%	30%
Teruel	Cebada	174.0	187.2	211.5	13.2	37.5	8%	22%
Cuenca	Vid	163.6	177.2	208.5	13.6	44.9	8%	27%
Albacete	Vid	258.2	272.7	310.9	14.5	52.7	6%	20%

Tabla 15. Necesidades de riego para el maíz, el trigo, la cebada y la vid en la situación actual y en los escenarios de cambio climático considerando una reducción en la conductancia de las estomas del 25%.

	mm/año	Actual	F cercano	F lejano	Abs cercano	Abs lejano	Rel cercano	Rel lejano
Teruel	Maíz	353.4	448.3	427.4	94.9	74.0	27%	21%
Cuenca	Maíz	374.3	384.0	354.0	9.6	-20.3	3%	-5%
Albacete	Maíz	475.5	484.1	450.3	8.6	-25.2	2%	-5%
Cuenca	Trigo	142.8	160.9	153.8	18.1	11.0	13%	8%
Albacete	Trigo	243.9	265.4	279.9	21.5	36.0	9%	15%
Teruel	Trigo	263.7	273.3	254.5	9.6	-9.2	4%	-3%
Cuenca	Cebada	84.7	101.6	97.7	16.9	13.0	20%	15%
Albacete	Cebada	162.7	231.4	221.3	68.7	58.7	42%	36%
Teruel	Cebada	174.0	183.9	172.3	9.9	-1.7	6%	-1%
Cuenca	Vid	163.6	176.0	167.0	12.4	3.4	8%	2%
Albacete	Vid	258.2	291.3	280.7	33.1	22.5	13%	9%

Tabla 16. Necesidades de riego para el maíz, el trigo, la cebada y la vid en la situación actual y en los escenarios de cambio climático considerando una reducción en la conductancia de las estomas del 50%.

Tal y como indica el Plan Hidrológico del Júcar, adicionalmente, aunque no se dispone de estudios al respecto en el ámbito del Júcar, el cambio climático puede llegar incluso a suponer un cambio de hábitat para determinados cultivos. El aumento de la temperatura media provoca cambios fenológicos de adelanto de la primavera y retraso del otoño. Debido a la prolongación de las temperaturas estivales, la floración se adelanta y las cosechas se hacen más tempranas. Además, el riesgo de heladas durante el otoño e invierno disminuye. Se espera

que esto provoque un cambio de distribución de los cultivos a medio y largo plazo, ya que algunas zonas dejarán de ser óptimas y otras pasarán a ser aptas (Sanz, M.J. y Galán, E., 2020). De hecho, ya se observa el crecimiento de superficies dedicadas a cultivos hortícolas en la provincia de Albacete, donde hasta hace poco las heladas no lo permitían, y el incremento de cultivos tropicales en la provincia de Alicante.

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

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

7.3.6.3 Aumento del estrés hídrico de los cultivos

El aumento de temperatura y los cambios en el régimen de precipitación pueden producir cambios en la disponibilidad de agua de los cultivos que únicamente reciben el agua de lluvia, los cultivos de secano. El ciclo del cultivo, fecha de siembra y fecha de cosecha, está relacionado con el ciclo de temperaturas, la radiación solar que recibe el cultivo y la disponibilidad de agua. Mayor radiación solar en la fase de floración y maduración produce un aumento en la productividad del cultivo (Ahmed y Hassan, 2011).

En la actualidad la fecha recomendada para la siembra de trigo de ciclo largo (7-10 meses) y la cebada de invierno es en el entorno del inicio del mes de noviembre, teniendo una fecha de recogida a finales de junio. La avena o la cebada alternativa tienen fechas aproximadas en el inicio de diciembre.

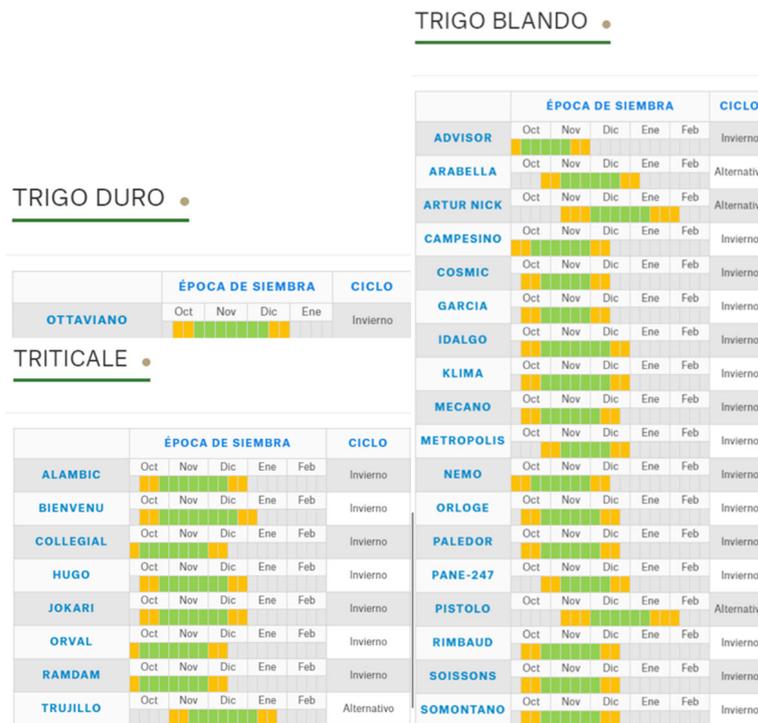


Figura 73.Fecha de siembra del trigo según variedades (Agrusa, 2022).

El inicio del cultivo se ajusta para conseguir optimizar el rango de temperaturas óptimo del cultivo con el clima medio de la zona, la máxima cantidad de radiación posible en el periodo de floración y maduración y la disponibilidad de agua en el suelo. En el caso del cultivo de trigo en la provincia de Cuenca, la plantación en el mes de noviembre hace que la temperatura se ajuste mejor al rango de funcionamiento óptimo del cultivo. Un adelanto en la fecha de siembra, inicios de octubre, hace que el desarrollo del cultivo se adelante y coincida con los meses de mayor frío, además de reducir la cantidad de radiación solar recibida en la fase última de maduración. Por el otro lado un retraso en la plantación del cultivo, inicios de diciembre, aumenta la radiación solar que recibe el cultivo en la fase de maduración, pero prolonga el cultivo hasta finales del mes de julio situando el cultivo en mayores condiciones de estrés hídricos.

especialmente en la fase de floración donde es mayor la sensibilidad del cultivo frente al estrés hídrico.

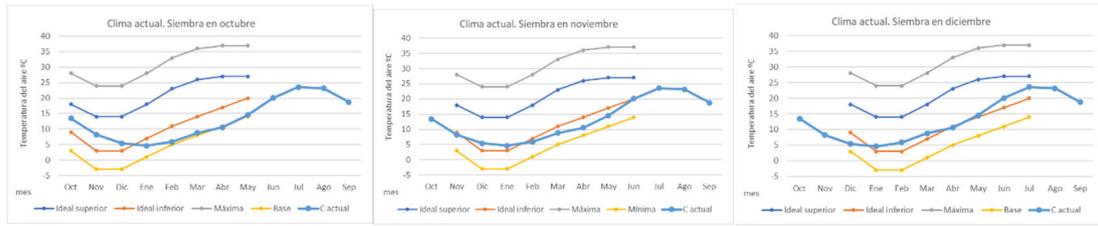


Figura 74. Rango térmico del ciclo del cultivo de trigo, para plantación inicios de octubre, noviembre y diciembre, y temperatura media en Cuenca.

El estrés hídrico del cultivo es menor con la plantación el 1 de octubre respecto a la plantación el 1 de noviembre, sin embargo, la radiación solar incidente en la fase de floración y maduración es un 15% superior en el caso de realizar la plantación el 1 de noviembre, lo cual aumenta la producción del cultivo.

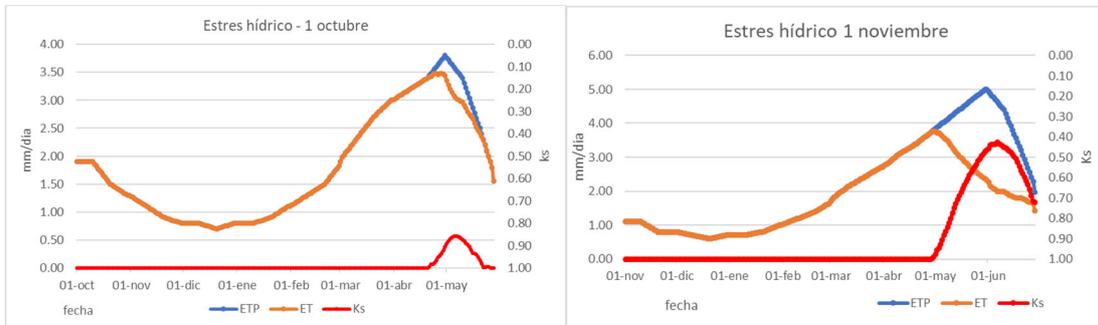


Figura 75. Estrés hídrico actual en el cultivo para la plantación el 1 de octubre y el 1 de noviembre en Cuenca.

En los escenarios de cambio climático el aumento de temperatura hace que un adelanto en la plantación del cultivo se ajuste mejor al rango térmico del cultivo. Además, este adelanto también se ajusta mejor con la disponibilidad de agua en el suelo en el momento de la floración. Sin embargo, este adelanto para reducir el estrés hídrico en la planta en la fase de floración produce una reducción en la radiación solar en la fase de floración y maduración.

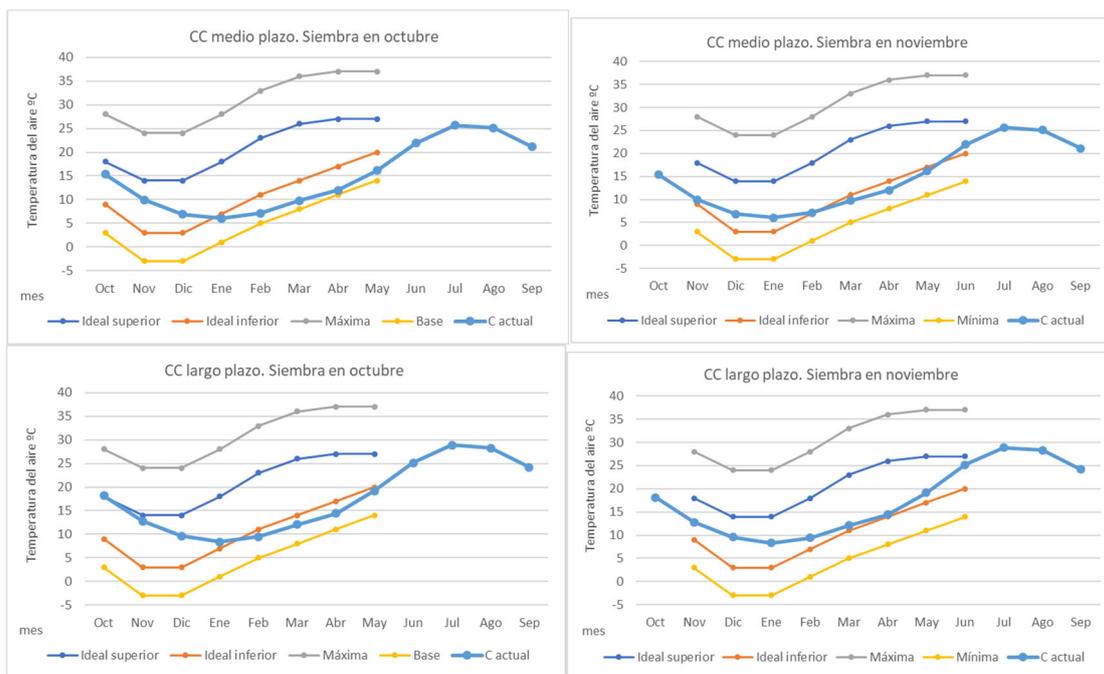


Figura 76. Rango térmico del ciclo del cultivo de trigo, para plantación inicios de octubre, noviembre, y temperatura media en Cuenca en el escenario de cambio climático a medio plazo y largo plazo.

Ante esta situación, puede producirse un adelanto en la fecha de plantación de los cultivos de ciclo largo, para ajustarse mejor al rango de temperaturas y la humedad de agua disponible en el suelo, con la consecuente reducción de la radiación solar en las fases de floración y maduración, y por lo tanto, la consiguiente pérdida en la productividad. Por otro lado, puede aumentar la presión para complementar con riegos de apoyo la falta de humedad de agua disponible en el suelo en los meses abril y mayo.

7.3.6.4 Uso urbano, industrial y otros usos de agua

El plan hidrológico del Júcar (PHJ, 2021) indica que adicionalmente para el uso urbano se prevé un aumento de la demanda, sobre todo en verano, vinculada al incremento de la temperatura.

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

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

Según datos del departamento de Seguridad Nacional³, en España las altas temperaturas son el “riesgo natural” que más fallecimientos causa: 291 en lo que va de siglo, lo que supone el 28% del total de víctimas mortales debidas a desastres naturales.

En cuanto al consumo urbano, según datos de Hidraqua, el consumo en los principales municipios del sur de la Comunidad Valenciana, se incrementó durante la ola de calor de 2019 cerca del 2%⁴. Si además del aumento de la temperatura, ésta viene asociada con un periodo de escasas precipitaciones, el incremento de consumo estimado aumenta hasta entre un 7 y un 14%⁵ según estimaciones del Canal de Isabel II. Este aumento se debe no tanto al aumento de consumo del agua de boca, sino al incremento en la puesta de lavadoras, las duchas y el riego de parques y jardines.

7.3.7 Especies invasoras

En el Plan del Júcar se indica (PHJ, 2021), dada la presión que ejercen las plantas invasoras en el ámbito de la demarcación, destaca el trabajo desarrollado por la Fundación para la investigación del clima (FIC) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) para el MITERD, Escenarios futuros de índices bioclimáticos en España y aplicación al estudio de especies invasoras (SPAINCLIM) (FIC-UPM, 2020).

Para abordar la idoneidad del hábitat de una especie, la principal dificultad radica en la disponibilidad de valores de referencia o límites de tolerancia para las variables climáticas que condicionan la presencia de una determinada especie. El proyecto analiza y selecciona las variables climáticas que condicionan la distribución de las especies (índices bioclimáticos) en el caso concreto de las especies invasoras.

Las especies analizadas por su relevancia para el conjunto del territorio español son *Arundo donax*, *Caccharis halimifolia*, *Carpobrotus acinaciformis* y *Opuntia ficus-indica*. El análisis se centra en el caso del *Arundo donax* (caña común) (Zambrano, J. 2021) por su relevancia como especie invasora en las riberas de los ríos en el ámbito de la demarcación.

En primer lugar, se definen mediante modelización las variables climáticas y no climáticas que condicionan la presencia de la caña común y, esta presencia potencial, se calibra con la presencia observada. De esta modelización se han seleccionado cinco variables explicativas o índices bioclimáticos si bien se concluye que el principal factor de afección para el *Arundo donax* es la temperatura media del trimestre más frío del año. En la siguiente imagen se muestra la presencia potencial frente a la presencia real (en negro) en los ámbitos de Júcar y Segura.

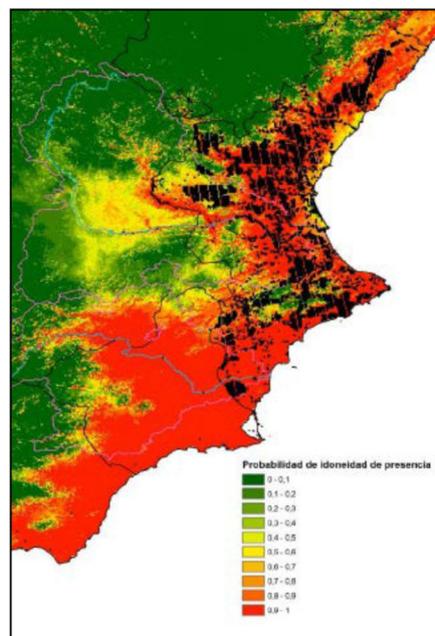


Figura 77. Probabilidad de presencia potencial y presencia actual (en negro) en los ámbitos de Júcar y Segura (FIC-UPM, 2020)

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

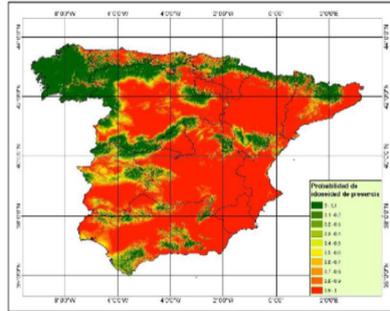


Ilustración 18: Mapa de idoneidad de presencia de Arundo donax en 2041-2060 según el escenario RCP 4.5 en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

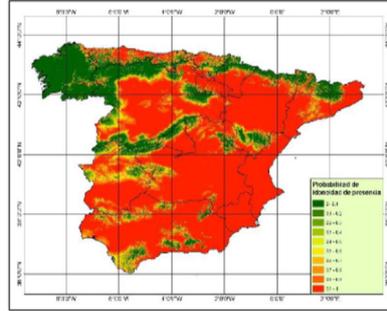


Ilustración 19: Mapa de idoneidad de presencia de Arundo donax en 2061-2080 según el escenario RCP 4.5 en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

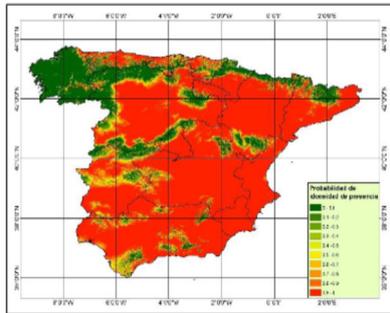


Ilustración 20: Mapa de idoneidad de presencia de Arundo donax en 2041-2060 según el escenario RCP 8.5 en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

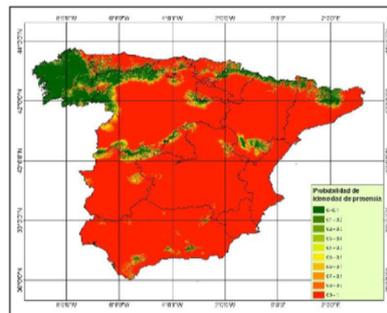


Ilustración 21: Mapa de idoneidad de presencia de Arundo donax en 2061-2080 según el escenario RCP 8.5 en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

Figura 78. Mapas de presencia potencial futura en España en los escenarios de cambio climático modelizados (Zambrano, J., 2021)

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

De la comparación del mapa de presencia potencial actual y el mapa de impacto potencial debido al cambio climático, se concluye que las zonas con mayor probabilidad de verse afectadas por la expansión del Arundo donax son el tramo medio del Júcar, a su paso por la provincia de Albacete y los tramos altos de prácticamente todos los ríos de la demarcación, a excepción de aquellos tramos de alta montaña donde el aumento de la temperatura invernal no llega a alcanzar la temperatura crítica para la especie. Cabe destacar, no obstante, que de acuerdo al actual inventario de presiones ya se ha detectado presencia de Arundo donax en los cursos de Júcar y Cabriel en las provincias de Cuenca y Albacete, aunque el proyecto expuesto no parece haber tenido en cuenta estos datos para la calibración.

7.4 Riesgos asociados al ascenso del nivel del mar

En este apartado se desarrollan los riesgos definidos en el artículo 19 punto 3 apartado b, que son: 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. Los riesgos incluidos en este apartado son:

- Riesgos en las masas de agua subterráneas
- Riesgos en las zonas húmedas costeras
- Riesgos en las masas de agua de transición
- Riesgos en los sistemas costeros

7.4.1 Riesgos en las masas de agua subterráneas

Los riesgos derivados del cambio climático en las masas de agua subterráneas están relacionados con el incremento en el nivel del mar y la reducción en la recarga al acuífero a los acuíferos. En términos generales la penetración de la cuña salina seguirá el avance del nivel del mar en la costa tal y como se indica en la figura siguiente.

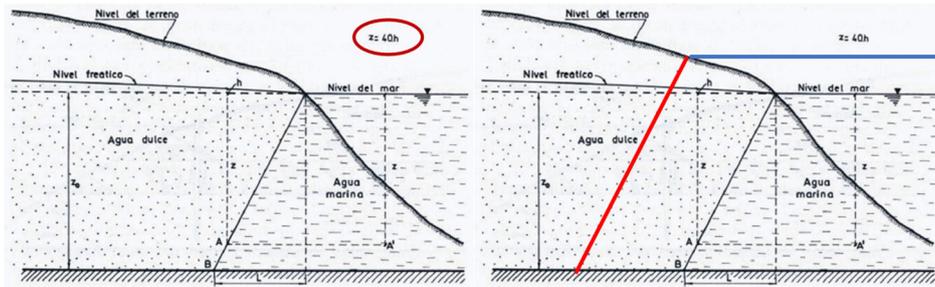


Figura 79. Esquema de penetración de la cuña salina.

Por otra parte, los humedales y marjales costeros y otras zonas con una cota reducida pueden representar un avance significativo del avance de la cuña salina en la masa de agua subyacente en el caso de quedar cubierta por la lámina de agua del mar, tal y como se muestra en la figura siguiente.

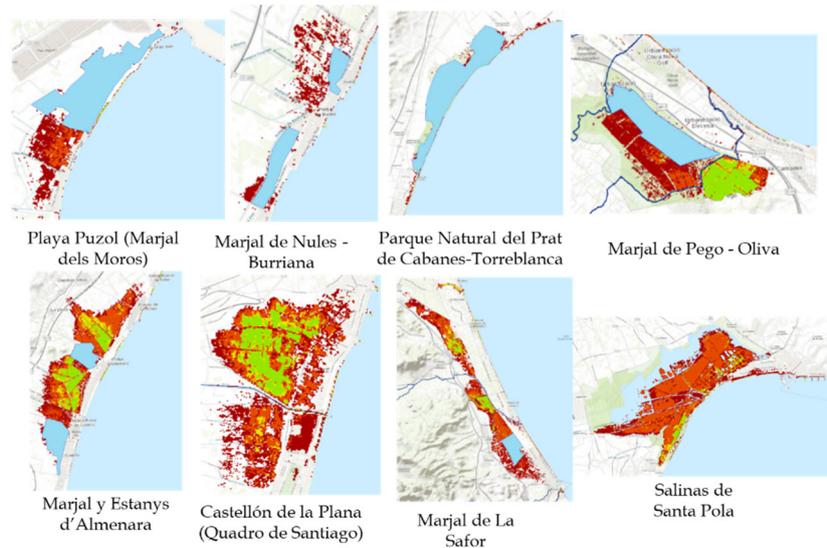


Figura 80. Masas de agua subterráneas en riesgo de avance significativo de la cuña salina.

7.4.2 Riesgos en las zonas húmedas costeras

Se ha evaluado el riesgo relacionado con el aumento del nivel medio del mar para distintos escenarios de cambio climático en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (Tabla 3.). Concretamente se han obtenido los mapas de peligrosidad, exposición, impacto, vulnerabilidad y riesgo siguiendo la metodología recogida en Estrela-Segrelles et al., (2021). Los resultados desglosados, según el nivel de riesgo, permiten priorizar el diseño y aplicación de medidas en aquellas áreas clasificadas como de Riesgo Muy Alto con el objetivo de mejorar la adaptación al cambio climático de los ecosistemas costeros.

Los resultados del análisis de riesgo muestran que el 90% del área total afectada por el aumento del nivel medio del mar en la DHJ, corresponde a humedales costeros (Figura 9). El efecto inducido más relevante ocurrirá en el contenido de sal en el agua y el suelo, especialmente en áreas bajo el nivel del mar. Esto podría conducir a una reducción del hábitat de la biota de los humedales.

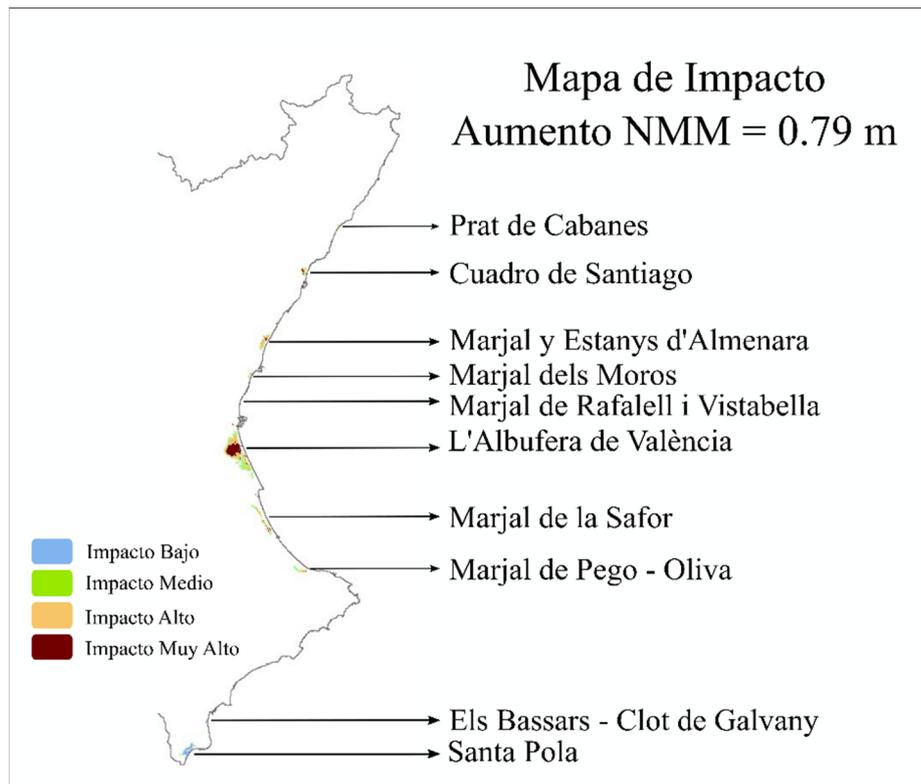


Figura 81. Evaluación del riesgo del aumento del nivel medio del mar en L'Albufera de Valencia y afección a los actuales niveles de gestión del lago.

La mitad del área afectada pertenece al humedal de L'Albufera de Valencia con 32,44 km² bajo el nivel del mar, lo que representa un volumen de agua de 42,64 hm³ en el corto plazo (2026-2045). En el largo plazo (2081- 2100), el área bajo el nivel del mar será de 72,53 a 138,96 km² según el escenario, lo que supone un volumen de 118,36 a 289,70 hm³. En el caso de L'Albufera de Valencia el impacto se incrementa conforme avanza el siglo XXI, la tasa media de aumento del nivel del mar pasará de 4 cm/década en la actualidad a 0.11 m/década. En los escenarios extremos, high-end escenarios, el ritmo de subida del nivel del mar es

más rápido con 0.22-0.32 m/década, por lo que a final de siglo prácticamente todo el parque natural queda por debajo del nivel del mar.

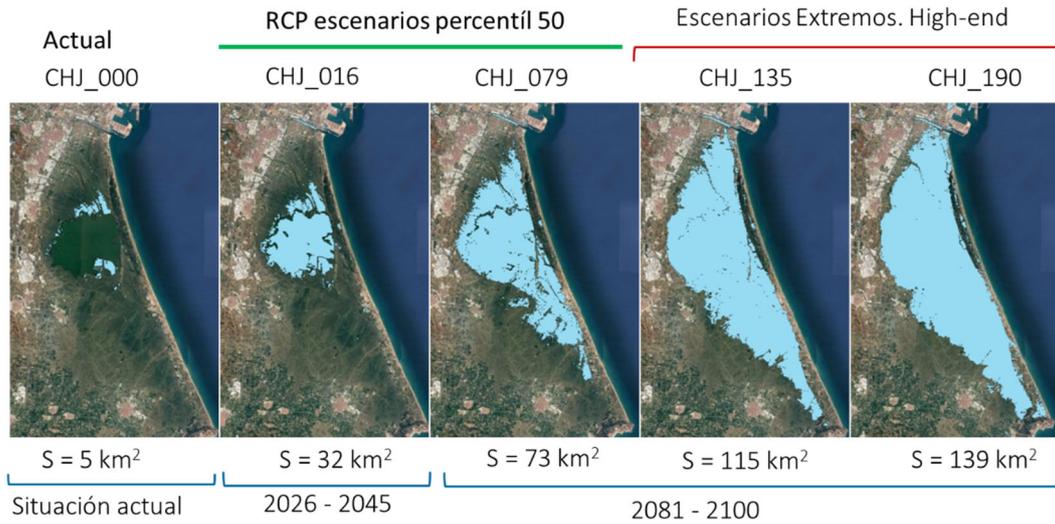


Figura 82. Superficie por debajo del nivel del mar bajo los escenarios de cambio climático en L'Albufera de Valencia.

La evacuación de riesgos muestra que el lago se encuentra en riesgo muy alto y el parque en riesgo alto, con un área afectada de 3.200 ha y un volumen de agua por debajo del nivel del mar entre 4 hm³ y 42 hm³. Estos resultados indican que se requerirá el análisis de medidas de adaptación en la Albufera y su entorno.

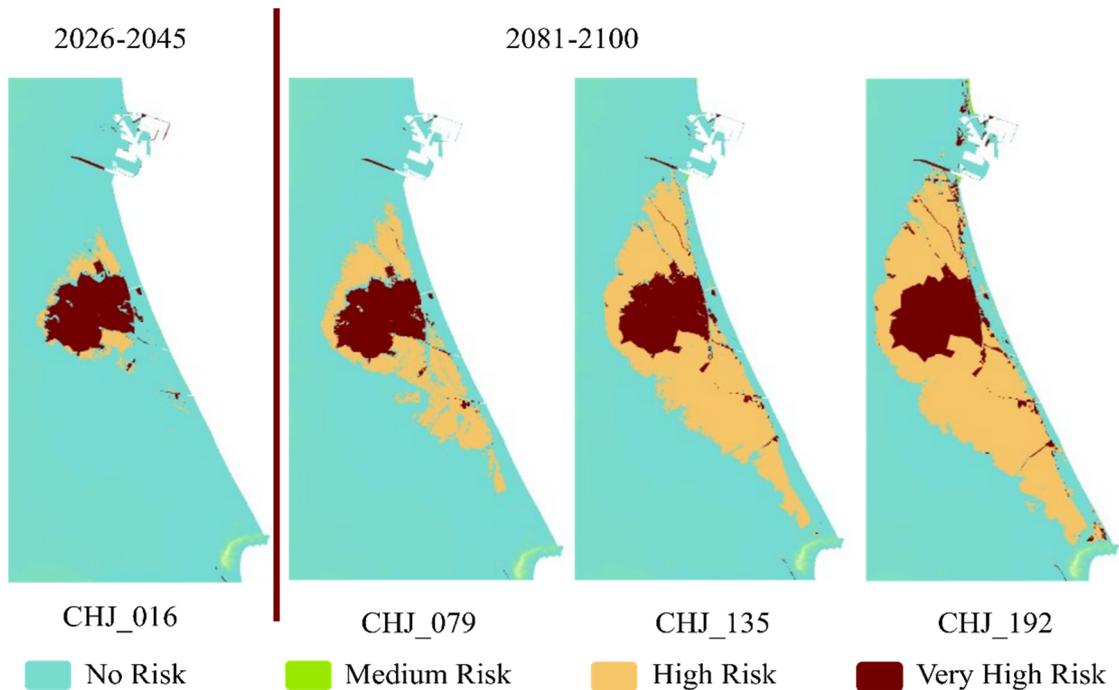


Figura 83. Evaluación del riesgo del aumento del nivel medio del mar en L'Albufera de Valencia.

El nivel medio del mar alcanzará los niveles de gestión actuales del humedal en 2040-2045 (figura siguiente). Por este motivo, será necesario modificar las reglas de gestión del lago, lo que supondrá un aumento de 40 hm³ en el almacenamiento

de agua y una reducción del tiempo de renovación del agua respecto a las tarifas actuales (de 15 a 5 veces al año) (Estrela Segrelles et al, 2021).

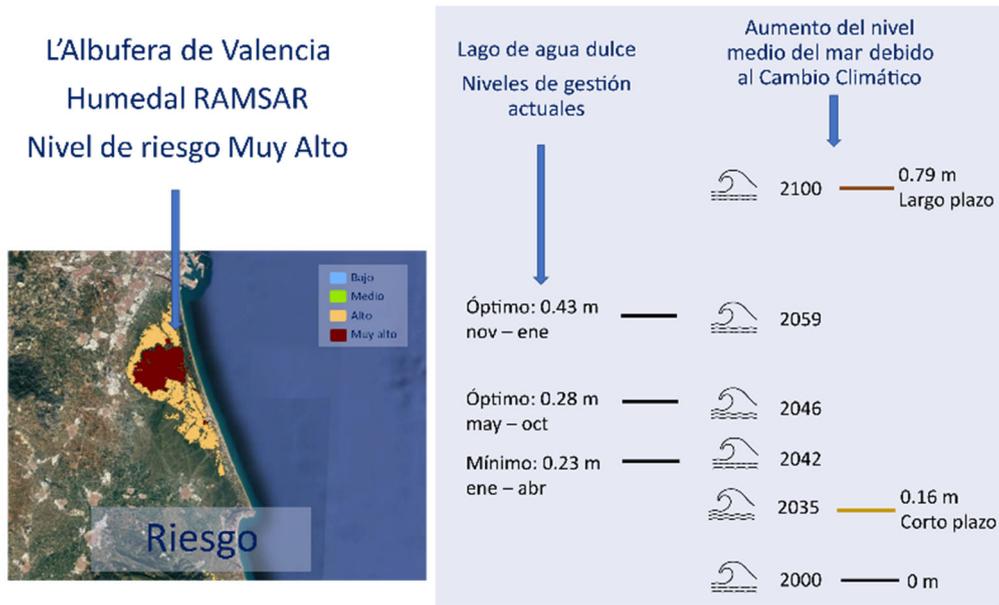


Figura 84. Evaluación del riesgo del aumento del nivel medio del mar en L'Albufera de Valencia y afección a los actuales niveles de gestión del lago.

7.4.3 Riesgos en las masas de agua de transición

El aumento del nivel del mar producirá un avance de la cuña salina en estuarios, desembocaduras de ríos y aguas de transición, dado que el nivel medio del mar avanzará hacia agua arriba de la desembocadura amentando la salinización de estas aguas y del acuífero en esta zona. En las figuras siguientes se muestra la distancia que avanzará el agua del mar en los principales tramos finales de masas de agua en la demarcación.

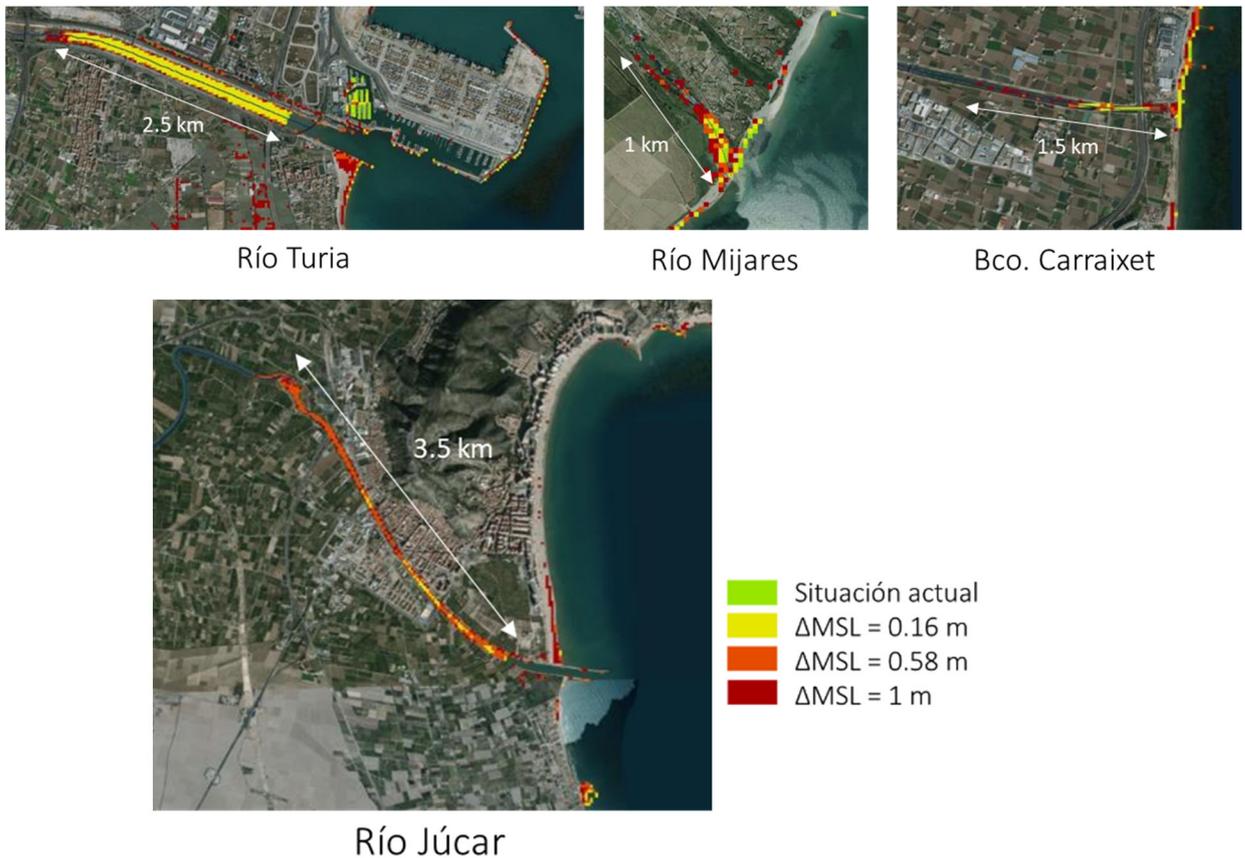


Figura 85. Avance del nivel del mar en las masas de agua junto a la desembocadura.

7.4.4 Riesgos en los sistemas costeros

Este apartado será elaborado por la administración competente en costas. Identificando los principales riesgos que se pueden producir en la costa, tanto asociados a la elevación del nivel del mar, como a la variación en el oleaje o la frecuencia y magnitud de los temporales.

El actual Plan Hidrológico (PHJ, 2021) incluye la información relativa a la recopilación de los siguientes documentos:

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

La DHJ dispone de una línea de costa de más de 5.000 km (en una escala de 1:25.000) lo que da una idea de la importancia que tiene el litoral, tanto en su aspecto ambiental como en el económico.

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

En este sentido las zonas costeras de Castellón y Valencia, mayoritariamente playas, se encuentran ya en la actualidad en regresión debido a la disminución de los sedimentos de los ríos y a la interrupción de la dinámica litoral por la construcción de infraestructuras portuarias. Es una costa altamente antropizada, muy vinculada al uso recreativo y turístico, si bien destaca en esta franja costera la presencia de marjales y zonas húmedas de gran importancia ambiental, como l'Albufera de Valencia o el marjal de Pego-Oliva. En la costa norte de Alicante, sin embargo, existe un paisaje litoral de calas y acantilados con un mayor grado de conservación.

La presión urbanística sobre estos espacios, además de estar causando ya una presión, constriñe la eventual respuesta natural a los impactos del cambio

climático sobre el mar, impidiendo la adaptación de su forma y su extensión, como sería deseable.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Finalmente, una vez comentados los riesgos del aumento del nivel del mar en la línea de costa, cabe señalar que los mayores efectos del cambio climático en el mar en sí mismo se centrarían por tanto en los cambios de la temperatura superficial del agua y la acidificación de los océanos, con el riesgo consecuente para la vida marina, los ecosistemas costeros e incluso la durabilidad de las estructuras de hormigón de muelles, espigones y diques.

El calentamiento del mar aumenta el riesgo de hipoxia y de eutrofización en zonas costeras debido a los vertidos, lo que podría significar el aumento de zonas sensibles a la contaminación por nutrientes. No hay que olvidar, como hemos visto en el apartado de inundaciones, que el mayor calentamiento del mar con respecto al aire también supone un factor de riesgo frente a las inundaciones dado que aumenta la inestabilidad atmosférica asociada a fenómenos de gota fría y lluvias torrenciales (Romero, J. y Olcina, J., 2021).

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

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

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

Además de las medidas de seguimiento e investigación se propone como opción la ejecución de medidas infraestructurales, dentro del plan PIMA Adapta, de regeneración de playas y sistemas dunares, creación de playas artificiales, conservación y restauración de humedales y marismas, gestión de sedimentos,

construcción de estructuras de protección, Otras medidas planteadas se basan en la adquisición de terrenos para su incorporación al DPMT o la promoción de cambios en el uso del suelo o relocalización de actividades e infraestructuras si el retroceso lo requiere.

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

Por su parte y en el ámbito de sus competencias, la Estrategia valenciana de cambio climático y energía 2030 (GV, 2019), establece para la costa las siguientes actuaciones, alineadas con el fomento de la resiliencia y la protección de la línea de costa:

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

7.5 Riesgos en la gestión del sistema

En este apartado se analizan los riesgos asociados a la gestión del sistema. Los principales riesgos para la gestión del sistema se han considerado, los relativos al balance de agua tanto para las masas de agua subterráneas como para los sistemas de explotación, los efectos en la producción hidroeléctrica y en la producción piscícola. De esta forma, el análisis de riesgos se realiza para:

- Riesgo para el balance de los sistemas de explotación
- Riesgo en el balance de las masas de agua subterráneas
- Efecto en la producción hidroeléctrica
- Efectos en la producción piscícola

7.5.1 Balances sistemas de explotación

En este apartado se analizarán los riesgos en los balances de los sistemas de explotación y en el funcionamiento de los sistemas de recursos hídricos de la Demarcación.

El análisis del efecto en los balances de los sistemas de explotación puede realizarse mediante el empleo de los índices de grado de explotación de agua WEI (water exploitation index) y CTA (consumption-to-availability) o WEI+.

El índice WEI es el cociente entre las derivaciones de agua (demandas brutas) y el recurso renovable, mientras que el índice CTA es el cociente entre los consumos de agua (demandas netas) y el recurso renovable al igual que el índice WEI+. Se considera que un sistema se encuentra en estrés hídrico si: $CTA > 0.3$ o $WEI > 0.4$ (EEA2003).

La estimación de los índices por sistemas de explotación en el escenario actual proporciona los valores de referencia para el análisis comparativo bajo los escenarios de cambio climático. El objetivo es conocer el efecto del cambio climático en los sistemas de explotación y que medidas pueden aplicarse para restaurar los valores actuales de estos índices.

Respecto a los indicadores, el WEI indica el grado de utilización de los recursos, de forma que WEI superiores a 1 indican que el agua es utilizada y devuelta al sistema y utilizada de nuevo en el sistema. Por otro lado, valores de CTA superiores a 0.4 indican que la cuenca se encuentra en estrés hídrico. El conjunto de la Demarcación tiene un valor de WEI de 0.9, con sistemas en los que se supera el 1, como los sistemas Turia (1.3), Júcar (1.1) y Vinalopó (1.4). Respecto al índice CTA, el conjunto de la Demarcación tiene un valor de 0.4, lo que muestra que la Demarcación en su conjunto se encuentra en el límite del estrés hídrico, con sistemas con valores de 0.2, y el sistema Vinalopó, el más estresado, con un valor de 0.7. Los sistemas Turia y Júcar, también cuentan con valores elevados de 0.5 y 0.6 respectivamente.

Código sistema	Nombre masa de agua	R Naturales	Depuración	Emisarios	Recursos e	Reutilizaci	Desalación	Recursos	Ef agrícola	Derivación	Abstracción	WEI	CTA
080-001	Cenia-Maestrazgo	231.3	15.4	13.5	0.0	0.0	13.4	244.7	0.61	108.6	58.7	0.4	0.2
080-002	Mijares-Plana de Cast	417.1	37.6	20.0	0.0	4.7	16.8	438.6	0.60	244.1	120.8	0.6	0.3
080-003	Palancia-Los Valles	89.1	9.9	2.9	0.0	1.0	8.5	98.6	0.54	82.6	41.5	0.8	0.4
080-004	Turia	422.4	177.4	32.7	0.0	18.2	0.0	440.6	0.41	556.5	201.1	1.3	0.5
080-005	Júcar	1,409.6	89.4	73.6	5.0	2.0	0.0	1,416.6	0.54	1,595.4	801.8	1.1	0.6
080-006	Sérpis	202.2	28.0	13.5	0.0	4.0	0.0	206.2	0.55	114.4	51.7	0.6	0.3
080-007	Marina Alta	230.2	15.8	11.2	0.0	6.3	6.9	243.4	0.65	84.6	40.7	0.3	0.2
080-008	Marina Baja	69.6	21.4	9.9	0.0	0.0	0.0	69.6	0.54	50.3	19.7	0.7	0.3
080-009	Vinalopó-Alacantí	93.8	56.4	16.6	56.2	6.4	18.3	174.7	0.74	251.6	120.5	1.4	0.7
	Total	3,165.3	451.2	194.1	61.2	42.6	63.8	3,332.8	0.54	3,088.1	1,456.4	0.9	0.4

Tabla 18. Balance de los sistemas de explotación y cálculo de los índices de explotación WEI y CTA para la situación actual, Plan Hidrológico.

Los resultados del sistema bajo el escenario de cambio climático a largo plazo, donde únicamente se han reducido los recursos naturales en función de los resultados de los escenarios de cambio climático, muestran un claro incremento de los índices de explotación WEI y CTA. Los recursos naturales descienden y se mantienen las derivaciones y las abstracciones de agua, por lo que ambos índices aumentan. En el conjunto de la Demarcación el WEI pasa de 0.9 a 1.2, mientras

que el CTA pasa de 0.4 a 0.6, por lo que aumenta de forma considerable el estrés hídrico en la Demarcación.

El índice WEI a largo plazo aumenta considerablemente alejándose de la línea a 45°, por ejemplo, de 1.4 a 1.7 en el sistema Vinalopó, el indicador asciende fundamentalmente en los sistemas con mayor índice en la actualidad, pasando de valores en el entorno de 1.2-1.6 a valores en el entorno de 1.6-1.8. En los sistemas Turia y Júcar el WEI alcanza el valor de 1.6, mientras que en el sistema Vinalopó llega a 1.7.

Código sistema	masa de agua subterránea	R Naturales	Depuración	Emisarios	terros Tra	reutilización	Desalación	Recursos	Ef agrícola	Derivación	Abstracción	WEI	CTA
080-001	Cenia-Maestrazgo	205.3	15.4	13.5	0.0	0.0	13.4	218.7	0.61	108.7	58.7	0.5	0.3
080-002	Mijares-Plana de Castellón	319.8	37.6	20.0	0.0	4.7	16.8	341.2	0.60	244.1	120.8	0.7	0.4
080-003	Palancia-Los Valles	75.0	9.9	2.9	0.0	1.0	8.5	84.5	0.54	82.6	41.6	1.0	0.5
080-004	Turia	312.2	177.4	32.7	0.0	18.2	0.0	330.4	0.41	556.5	201.1	1.7	0.6
080-005	Júcar	1,002.2	89.4	73.6	5.0	2.0	0.0	1,009.2	0.54	1,595.4	801.7	1.6	0.8
080-006	Séripis	156.7	28.0	13.5	0.0	4.0	0.0	160.7	0.55	114.4	51.7	0.7	0.3
080-007	Marina Alta	185.9	15.8	11.2	0.0	6.3	6.9	199.1	0.65	84.7	40.7	0.4	0.2
080-008	Marina Baja	48.9	21.4	9.9	0.0	0.0	0.0	48.9	0.54	50.4	19.6	1.0	0.4
080-009	Vinalopó-Alacantí	57.6	56.4	16.6	56.2	6.4	18.3	138.5	0.74	251.5	120.5	1.8	0.9
Total		2,363.7	451.2	194.1	61.2	42.6	63.8	2,531.2	0.54	3,088.2	1,456.4	1.2	0.6

Tabla 19. Balance de los sistemas de explotación y cálculo de los índices de explotación WEI y CTA el escenario de cambio climático a largo plazo, sin medias adicionales.

De igual forma el índice CTA afecta en mayor medida a los sistemas que en la actualidad tienen valores más elevados. Los sistemas se dividen en dos grupos, un primer grupo con valores por debajo de 0.4 y un segundo grupo de sistemas con valores superior a 0.4 que además se incremente más ese indicador.

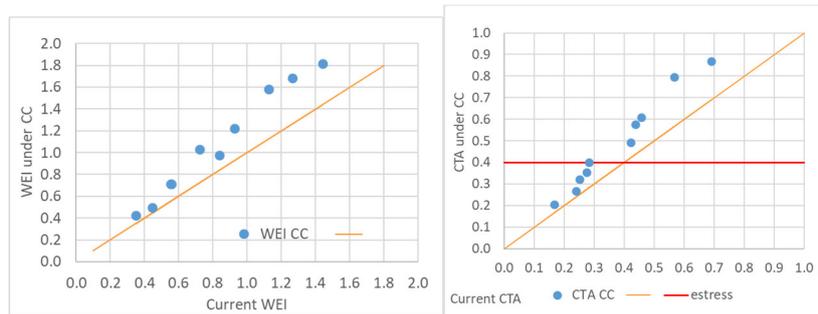


Figura 86. WEI y Grado de explotación CTA (abstracciones/recurso renovable) bajo el escenario de cambio climático a largo plazo en los sistemas de explotación de la Demarcación.

El análisis del funcionamiento de los sistemas de recursos hídricos incluye los efectos que se producirán en el cumplimiento del régimen de caudales ecológicos y en las garantías de las demandas del sistema. Para ello se utilizarán los modelos de simulación existentes.

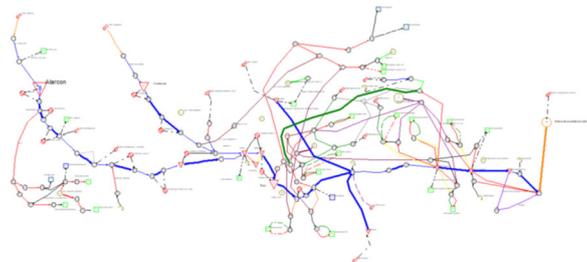


Figura 87. Sistema de recursos hídricos del río Júcar (PHJ, 2021).

7.5.2 Balances masas de agua subterráneas

En este apartado se analizan los efectos en el balance de las masas de agua subterránea y la evaluación del estado cuantitativo de las masas con los escenarios de cambio climático.

Los recursos naturales en los escenarios de cambio climático se reducen siguiendo los resultados obtenidos en apartados anteriores.

		Actual	Medio Plazo	Largo Plazo
Código masa de agua	Nombre masa de agua subterránea	Recurso Renovable	Recurso Renovable	Recurso Renovable
080-101			
080-102			
080-103			
080-104			
080-105			

Tabla 20. Recurso renovable actual y en los escenarios de cambio climático.

Los escenarios de cambio climático implican un aumento en la temperatura del aire y cambios en los patrones de precipitación, que como se ha determinado anteriormente, esto implica que pueda producirse un aumento de las necesidades de riego y de los bombeos de agua si se mantienen las superficies de riego actuales. Además, también puede producirse un aumento en los bombeos de agua para el uso urbano e industrial, asociado al incremento de temperatura.

		Actual	Actual	Actual	Actual	Medio Plazo	Largo Plazo	Actual	Medio Plazo	Largo Plazo
Código masa de agua	Nombre masa de agua subterránea	B urbano	B industria	B otros	B agrícola	B agrícola	B agrícola	Bombeo total	Bombeo total	Bombeo total
080-101									
080-102									
080-103									
080-104									
080-105									

Tabla 21. Estimación del bombeo actual y en los escenarios de cambio climático.

El índice de explotación se determina mediante el cociente entre los bombeos en la masa de agua y el recurso disponible. En la tabla siguiente se incluye el índice de explotación actual y los índices de explotación de cada masa de agua en los escenarios de cambio climático.

Código masa de agua subterránea	Nombre masa de agua subterránea	Actual	Medio Plazo	Largo Plazo	Actual	Medio Plazo	Largo Plazo	Actual	Medio Plazo	Largo Plazo
		Bombeo total	Bombeo total	Bombeo total	Recurso renovable	Recurso renovable	Recurso disponible	K	K	K
080-101										
080-102										
080-103										
080-104										

Tabla 22. Determinación del índice de explotación en los escenarios de cambio climático.

Aproximadamente el 50% de la superficie de las masas de agua subterráneas tienen un índice de explotación k , menor al 0.4, lo que puede considerarse un grado de explotación baja con poco estrés hídrico. El 40% de la superficie presenta un índice de explotación entre 0.4 y 0.8, lo cual implica situación de estrés hídrico. Finalmente, menos del 10% de la superficie de las masas de agua subterráneas, tienen un elevado estrés hídrico en la situación actual.

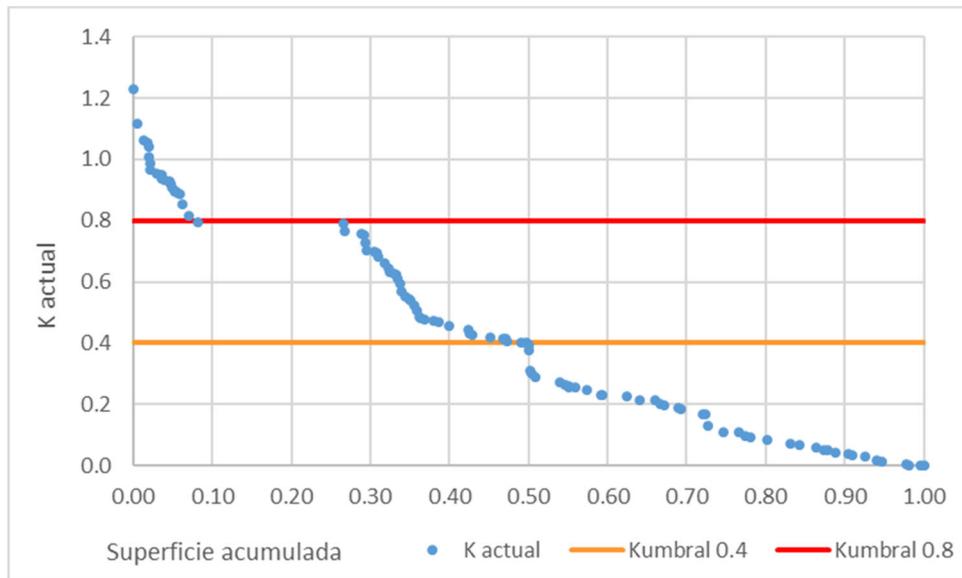


Figura 88. Grado de explotación actual en las masas de agua subterráneas de la Demarcación.

La reducción de recursos debida al cambio climático implica un incremento en el índice de explotación respecto a la situación actual, tal y como se muestra en la figura siguiente.

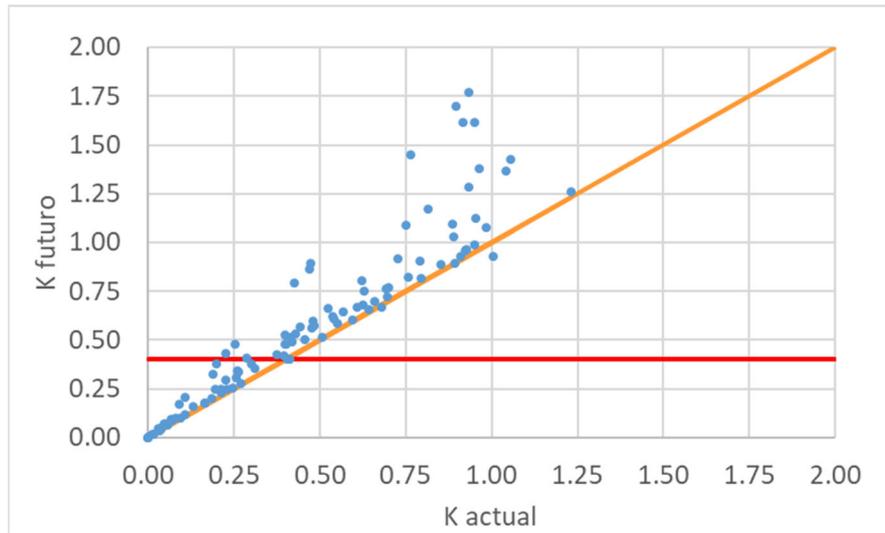


Figura 89. Variación en el índice de explotación basado únicamente en la reducción de aportaciones en el medio plazo.

Bajo el escenario de cambio climático a medio plazo, se mantiene que el 50% de la superficie de las masas de agua subterráneas tienen un índice de explotación k , menor al 0.4, lo que puede considerarse un grado de explotación baja con poco estrés hídrico. Se incrementa fuertemente la superficie con un índice de explotación superior a 0.8, dado que pasa de menos del 10% a aproximadamente el 30% de la Demarcación.

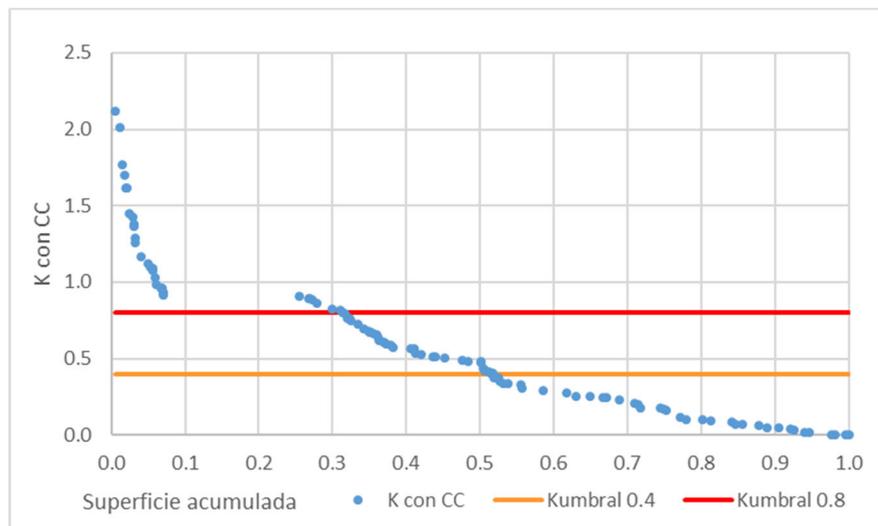


Figura 90. Grado de explotación bajo el escenario de cambio climático a medio plazo en las masas de agua subterráneas de la Demarcación.

7.5.3 Reducción en la producción hidroeléctrica

En este apartado se analizan los efectos del cambio climático en la producción hidroeléctrica en la demarcación para los diferentes escenarios de cambio climático.

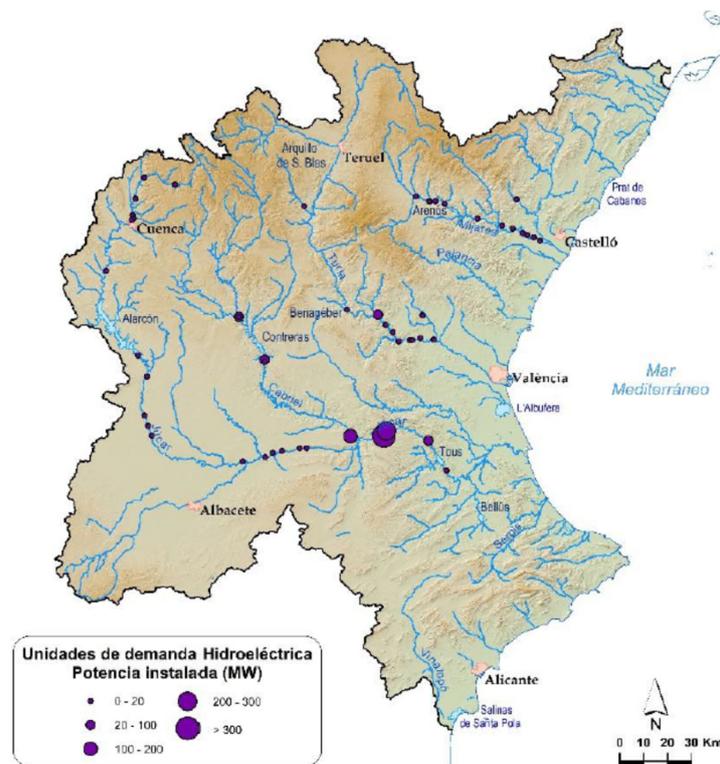


Figura 91. Centrales hidroeléctricas en la Demarcación del Júcar (PHJ, 2021).

Los resultados muestran una pérdida de producción eléctrica del 20% en los escenarios de cambio climático.

Sistema de explotación	% de disminución de la energía hidroeléctrica producida (GWh/año)
Cenia-Maestrazgo	-10,2%
Mijares-Plana de Castellón	-10,4%
Palancia-Los Valles	-
Turía	-22,1%
Júcar	-22,0%
Serpis	-
Marina Alta	-
Marina Baja	-
Vinalopó-Alacantí	-
Total	-20,6%

Tabla 23. Afección del cambio climático en la producción hidroeléctrica (PHJ, 2021)

7.5.4 Efectos en la producción piscícola

En este apartado se analizan los efectos en la reducción de caudales y reducción en el contenido de oxígeno que tiene en las piscifactorías existentes en la demarcación hidrográfica, tanto las situadas en el interior como las piscifactorías costeras.

Igualmente se incluye el porcentaje la pérdida de individuos de las especies de peces analizadas como consecuencia del cambio climático.

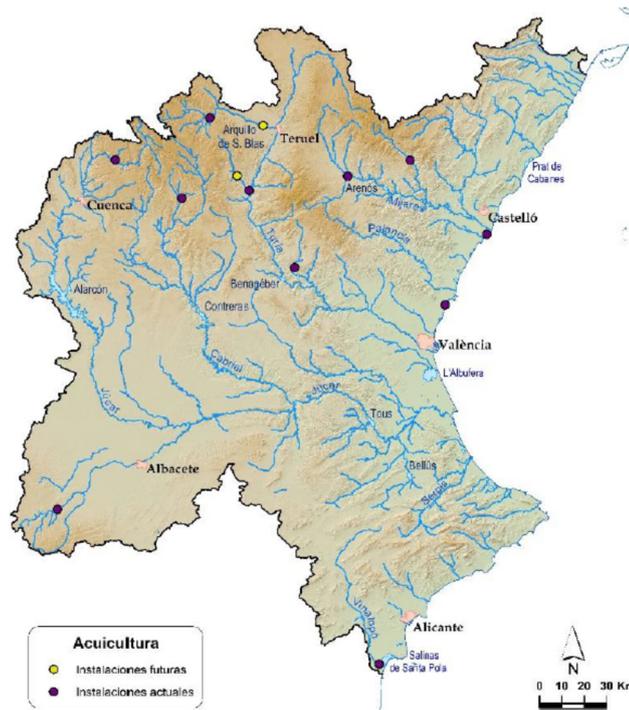


Figura 92. Acuicultura en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (PHJ, 2021).

El estudio Impactos del cambio climático sobre la acuicultura en España (MAGRAMA, 2014), indica que los cambios en el mar, en los caudales fluyentes y en los ecosistemas, que se han expuesto en apartados anteriores, afectarán a la acuicultura. En el cuadro siguiente se exponen los principales riesgos en estos sistemas (MAGRAMA, 2014).

Generador del cambio	Repercusiones en la acuicultura	Repercusiones operativas
Subida en la temperatura de la superficie del mar	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de la proliferación de algas perjudiciales - Disminución del O2 disuelto - Aumento de las enfermedades y parásitos - Prolongación de las temporadas de crecimiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios en la infraestructura y en los costos operacionales - Aumento del número de organismos obstructores, plagas, especies nocivas y depredadores - Cambios en los niveles de producción - Cambio en la disponibilidad de piensos procedentes de pesquerías

Generador del cambio	Repercusiones en la acuicultura	Repercusiones operativas
	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios en la ubicación y ámbito de distribución de las especies adecuadas - Reducción de la mortalidad natural en invierno - Aumento del índice de crecimiento y de transformación alimentaria - Competencia, parasitismo y depredación producidos por la alteración de los ecosistemas locales, competidores y especies exóticas 	
Cambios en otras variables oceanográficas	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de los índices de flujo y de la disponibilidad de alimento para crustáceos - Cambios en la abundancia de las especies usadas para la producción de alimentos y harinas 	<ul style="list-style-type: none"> - Acumulación de desechos bajo las redes - Aumento de los costos operativos
Subida del nivel del mar	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de áreas dedicadas a la acuicultura - Pérdida de áreas que proporcionan refugio para larvas y juveniles - Aumento del riesgo de inundaciones por tormenta o por la propia subida del nivel del mar - Intrusión salina 	<ul style="list-style-type: none"> - Daños a las infraestructuras - Cambios en la determinación de zonas adaptadas a las actividades acuícolas - Aumento en los costes de los seguros - Reducción de la disponibilidad de agua dulce
Intensificación de las tormentas	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento del tamaño de las olas - Marejadas ciclónicas más altas - Aumento del riesgo de inundaciones por tormenta - Cambios en la salinidad - Daños estructurales 	<ul style="list-style-type: none"> - Escapes - Daños a las instalaciones - Aumento en los costes por diseño de nuevas instalaciones - Aumento en los costes de los seguros
Estrés hídrico y por sequía	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios en la salinidad - Empeoramiento de la calidad del agua - Aumento de las enfermedades - Inseguridad en el abastecimiento hídrico 	<ul style="list-style-type: none"> - Daños a las instalaciones - Conflictos con los usuarios exteriores de aguas - Reducción de la capacidad productiva - Modificaciones en las especies cultivadas

Tabla 24. Repercusiones potenciales del cambio climático en los sistemas de acuicultura (MAGRAMA, 2014)

Según las recomendaciones de los estudios realizados hasta la fecha sobre el impacto del cambio climático en la acuicultura, algunas de las consideraciones a tener en cuenta en los planes de adaptación del sector acuícola deberán enfocarse en: la contratación de seguros, la inversión en I+D+i, la diversificación de especies, la planificación en la selección de emplazamientos adecuados, la introducción de nuevos cultivos marinos, la cría selectiva para conseguir especies adaptadas a mayores temperaturas, empleo de sistemas de recirculación de agua en acuicultura continental, ...

8 Medidas de Adaptación

Definición de las medidas de adaptación al cambio climático, identificando el riesgo principal asociado y si también contribuye a otros riesgos derivados del cambio climático. Las medidas concretas dependerán de la problemática específica de cada demarcación hidrográfica o cada zona de una demarcación hidrográfica. En este apartado se incluyen el listado de posibles medidas a explorar. Las medidas se han agrupado en tres tipologías:

- Medidas de adaptación para el buen estado de las masas de agua.
Son medidas encaminadas a conservar el buen estado de las masas de agua y de los ecosistemas asociados.
- Medidas de adaptación de las infraestructuras hidráulicas
Son medidas encaminadas a adaptar las infraestructuras hidráulicas a las nuevas condiciones generadas por el cambio climático.
- Medidas de adaptación de la gestión
Son medidas encaminadas mantener la sostenibilidad de los sistemas de explotación y de las masas de agua subterráneas.

8.1 Medidas de adaptación para el buen estado de las masas de agua

Uno de los principales riesgos analizados del cambio climático que afecta al estado de las masas de agua superficiales, es el incremento de temperatura en el agua. Las medidas encaminadas a reducir la temperatura del agua son las principales medidas que pueden contribuir a reducir el impacto del cambio climático en el buen estado de las masas de agua y los ecosistemas asociados.

En este sentido la restauración fluvial de la vegetación de ribera para aumentar la cobertura vegetal y reducir la radiación directa en el agua es una de las medidas que puede contribuir significativamente a reducir la temperatura del agua. También, la gestión de las sueltas de agua de los embalses incorporando la temperatura del agua como variable de decisión, puede contribuir a reducir la temperatura del agua en los tramos de río regulados. Y finalmente, la protección de las aguas subterráneas para que se mantengan sus aportes de aguas frías a las masas de agua superficiales.

Para determinar el grado de cobertura vegetal necesaria para compensar el incremento de temperatura del aire, se establece el uso de un modelo térmico que relacione la radiación solar con la temperatura del agua. A partir de los datos de radiación solar, velocidad del viento, humedad relativa del aire, altitud y presión atmosférica, se calibra el modelo en las condiciones actuales de temperatura. Posteriormente se introducirá el incremento en la temperatura del aire para obtener el incremento que se producirá en la temperatura del agua. Finalmente, en las nuevas condiciones se analizará que reducción en la radiación directa solar es necesaria para retornar a las temperaturas iniciales del agua. Este análisis se aplicará a los diferentes tramos de ríos que se quiera analizar.

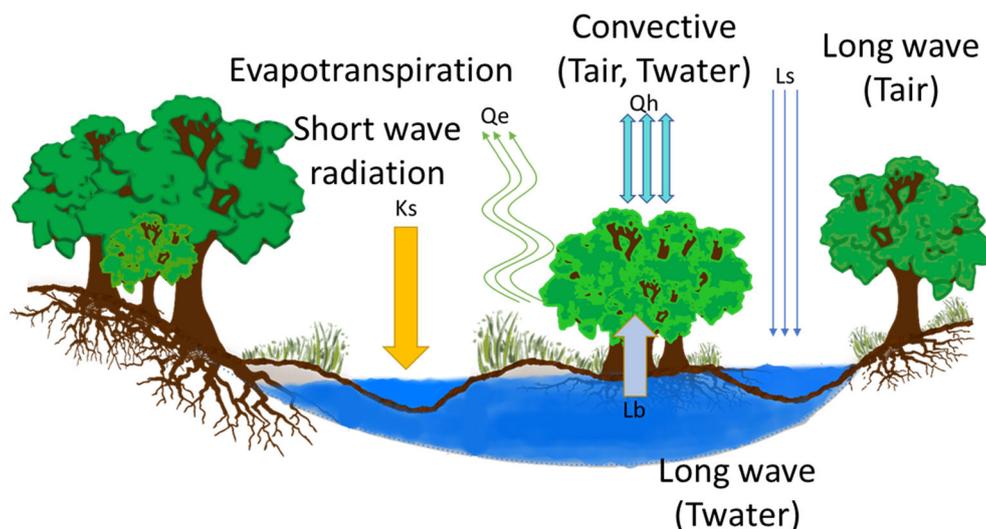


Figura 93. Modelo térmico del río (Pérez-Martín et al., 2022).

El modelo térmico se calibra con el grado de cobertura vegetal, en el ejemplo un sombreado del 62%, para ajustar la temperatura del agua calculada con el modelo de simulación a la temperatura del agua observada en ese tramo de río.

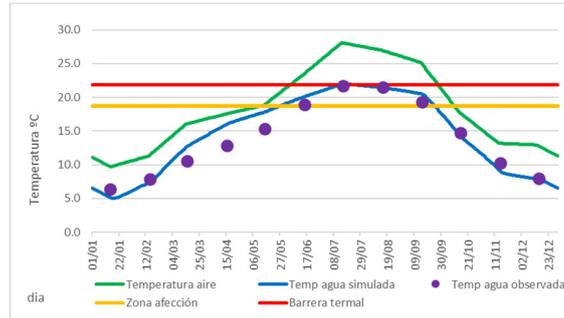


Figura 94. Ajuste entre la temperatura del agua calculada y observada en el tramo de río analizado, para un grado de cobertura vegetal del 62% (Pérez-Martín et al., 2022).

La introducción de los escenarios de cambio climático en el modelo, hasta 5°C en los meses de verano, produce un incremento en la temperatura del agua de aproximadamente 3° C, superando de forma significativa la barrera termal durante 4 meses y perdiéndose este tramo de río como hábitat par las especies de peces de aguas frías.

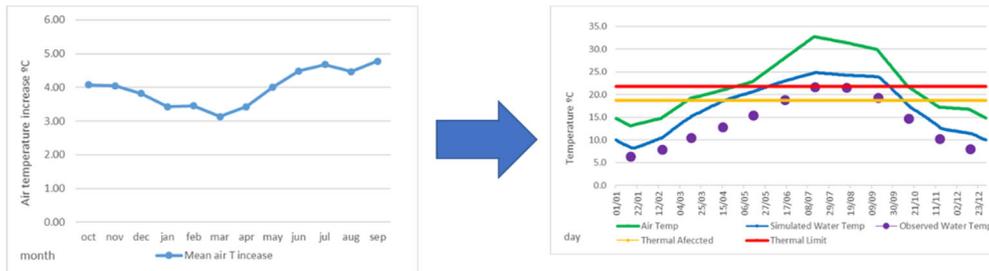


Figura 95. Incremento de temperatura en el largo plazo y efecto en la temperatura del agua (Pérez-Martín et al., 2022).

El modelo permite determinar para este tramo de río el grado de cobertura vegetal que hace que las temperaturas del agua se sitúen en valores similares a las temperaturas actuales, en el caso analizado se obtiene con una cobertura vegetal del 90%.

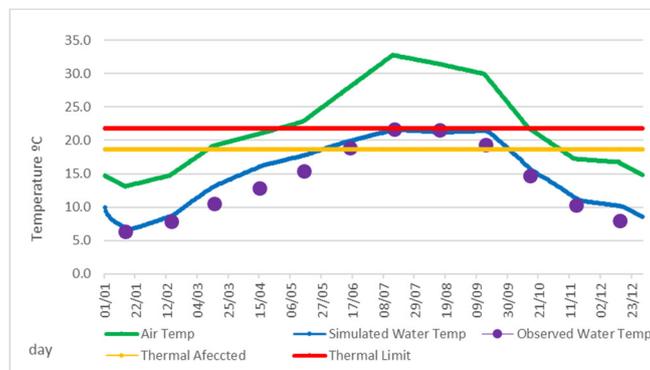


Figura 96. Efecto en la temperatura del agua en la hipótesis de cambio climático con un grado de cobertura vegetal del 90% (Pérez-Martín et al., 2022).

Otros de los principales riesgos detectados es el incremento en la concentración de contaminantes en las aguas superficiales, la reducción en los caudales circulantes puede generar un incremento en la concentración de contaminantes. En este sentido, según los casos, puede ser necesario aumentar los niveles de tratamiento en las estaciones de depuración de aguas residuales EDARs, y además la aplicación de medidas adicionales para la reducción de nutrientes.

En vertidos de aguas depuradas a masas de agua superficiales, pueden incluirse infraestructuras de reaireación de agua y de reducción de temperatura.



Figura 97. Infraestructura de reaireación y enfriamiento de agua: Sidestream Elevated Pool Aeration station in the Chicagoland Cal-Sag Channel and Calumet River (fte: Metropolitan Water Reclamation District).

8.2 Medidas de adaptación de las infraestructuras hidráulicas

En este apartado se detallan las medidas necesarias para adaptar las infraestructuras hidráulicas a las nuevas condiciones generadas por el cambio climático. Los escenarios de cambio climático prevén un incremento de temperatura del aire el cual se traducirá, como ya ha sido analizado, en un aumento de temperatura del agua y una reducción del contenido de oxígeno en el agua. En este sentido, medidas que mejoren el conocimiento y el control de la temperatura del agua y del contenido de oxígeno en el agua, facilitarán una mejor gestión de las infraestructuras hidráulicas y del buen estado de las masas de agua situadas aguas abajo de estas infraestructuras y de sus ecosistemas asociados.

Con carácter general se propone mejorar el monitoreo de la temperatura del agua y del oxígeno disuelto en el agua en los embalses de regulación y en las masas de agua situadas aguas abajo de ellos. Se propone incluir como variables de decisión en la gestión de las sueltas de agua de los embalses la temperatura del agua y el contenido de oxígeno disuelto en el agua. Para conseguir este objetivo es necesaria la realización de medidas de adaptación de las infraestructuras para poder seleccionar la cota de desagüe del embalse, mediante torres multitoma, o combinar sueltas de la zona superficial con la zona profunda (BOR, 2020), en función de la temperatura objetivo en el río aguas abajo.

Por otra parte, la adaptación de los elementos de desagüe de embalses con el objeto de aumentar la aireación del agua a la salida del embalse y reducir la temperatura del agua. La inclusión de infraestructuras de reaireación y enfriamiento en ríos (Sidestream Elevated Pool Aeration -SEPA- Stations), permeables al tránsito de especies y que también contribuyan a reducir la temperatura del agua.



Figura 98. Infraestructura de reaireación y enfriamiento de agua: Sidestream Elevated Pool Aeration (SEPA) stations.

Reducción de la temperatura del agua de los embalses, o de la zona superficial del embalse, mediante elementos que reduzcan la radiación directa solar a la lámina de agua.

8.3 Medidas de adaptación de la gestión

Las medidas de adaptación de la gestión al cambio climático se han dividido en medidas directas en la gestión de las aguas subterráneas y medidas de gestión en los sistemas de recursos hídricos.

8.3.1 Medidas de adaptación en la gestión de sistemas de explotación

En los escenarios de cambio climático se produce un riesgo de pérdida de sostenibilidad de los diferentes sistemas de explotación. La reducción en los recursos naturales en el medio plazo, del 13%, y en el largo plazo, del 25-30%, producen el desequilibrio de los sistemas de explotación actuales.

Con carácter general las principales medidas que se incluyen son:

- La mejora en la eficiencia y reducción de las derivaciones de agua
- El incremento de la reutilización de aguas regeneradas en la agricultura
- La integración del uso de agua desalada en los sistemas de recursos hídricos.

En el caso de la Demarcación Hidrográfica del Júcar los sistemas de explotación recuperan la sostenibilidad aumentando la eficiencia en el riego, aumentando el volumen de agua reutilizada y con un incremento en el agua desalada en el sistema Vinalopó. Las medias aplicadas, consisten en elevar las eficiencias de riego de la agricultura, siendo siempre superiores a 0.70 en todos los sistemas, y el desarrollo de la máxima reutilización posible. En este aspecto se ha considerado como incremento de recurso únicamente la reutilización asociada a los volúmenes de agua vertidos por los emisarios submarinos, para no considerar la reutilización indirecta que puede producirse en los vertidos que se realizan a ríos y cauces que posteriormente puedan ser aprovechados.

En primer lugar, la mejora en la eficiencia de los sistemas de riego, elevándola de 0.54 a 0.7 o superior, y en cierta medida la incorporación de recursos adicionales está directamente relacionado con el ajuste del índice WEI. La mejora en la eficiencia de riego consigue reducir el agua derivada en los sistemas, reduciendo el número de recirculaciones de agua en el propio sistema. La eficiencia media tras la implantación de las medidas del Plan, de 0.54, se eleva a una eficiencia de 0.7 llegando a 0.75 en los sistemas Júcar y Marina Baja y de 0.85 en el sistema más estresado, el Vinalopó. Con estos valores los sistemas presentan un índice WEI similar o mejor a los valores actuales. Este ajuste se centra fundamentalmente en los sistemas con índices más elevados, Vinalopó, Turia y Júcar

Código sistema	masa de agua subterránea	R Naturales	Depuración	Emisarios	terceros Tratados	reutilización	Desalación	Recursos	Ef agrícola	Derivación	Abstracción	WEI	CTA
080-001	Cenia-Maestrazgo	205.3	15.4	13.7	0.0	13.5	13.4	232.2	0.70	97.6	58.7	0.4	0.3
080-002	Mijares-Plana de Castellón	319.8	37.6	20.3	0.0	20.0	16.8	356.6	0.70	219.8	120.8	0.6	0.3
080-003	Palancia-Los Valles	75.0	9.9	3.0	0.0	2.9	8.5	86.4	0.70	65.5	41.6	0.8	0.5
080-004	Turia	312.2	177.4	33.2	0.0	8.0	0.0	320.2	0.70	373.8	201.1	1.2	0.6
080-005	Júcar	1,002.2	89.4	74.5	5.0	100.0	0.0	1,107.2	0.75	1,226.0	801.7	1.1	0.7
080-006	Sérsip	156.7	28.0	13.7	0.0	13.5	0.0	170.2	0.70	97.6	51.7	0.6	0.3
080-007	Marina Alta	185.9	15.8	11.4	0.0	11.2	6.9	204.0	0.70	80.7	40.7	0.4	0.2
080-008	Marina Baja	48.9	21.4	10.0	0.0	9.9	0.0	58.8	0.75	43.5	19.6	0.7	0.3
080-009	Vinalopó-Alacantí	57.6	56.4	16.8	56.2	16.6	40.0	170.4	0.85	235.0	120.5	1.4	0.7
	Total	2,363.7	451.2	196.6	61.2	195.7	85.5	2,706.1	0.70	2,439.5	1,456.4	0.9	0.5

Tabla 25. Balance de los sistemas de explotación y cálculo de los índices de explotación WEI y CTA el escenario de cambio climático a largo plazo, con medidas adicionales.

Respecto de los estimados 450 hm³/año de aguas depuradas, en el entorno de 200 hm³/año son vertidos por los emisarios submarinos directamente al mar. Se ha considerado este volumen de aproximadamente de 200 hm³/año, como valor de incremento de recursos asociado a la reutilización, siendo un valor conservador dado que es posible que esta cifra pudiera ser algo mayor (240-260 hm³/año), al añadirse la reutilización actual y los volúmenes depurados vertidos a masas de agua superficiales y no aprovechados.

El incremento en la reutilización de los actuales 42 hm³/año a los 65 hm³/año establecidos en el horizonte del Plan y a los 200 hm³/año propuestos, requiere el desarrollo de infraestructuras, para aprovechar todos los recursos que en la actualidad se vierten por los emisarios submarinos. El máximo potencial de reutilización podría ser de unos 240 hm³/año, si se cuenta con el volumen de los emisarios actual y el reutilizado actual. Para aprovechar estos recursos es necesario el almacenaje de los volúmenes de agua regenerados y/o la renaturalización de estos caudales y su aprovechamiento para recarga a los acuíferos y/o fines ambientales.

En el largo plazo con las actuaciones definidas, incluyendo un incremento de la desalación actual en el sistema Vinalopó-Alacantí de 18 a 40 hm³/año, se consigue unos valores similares del índice WEI para los sistemas de explotación y el conjunto de la Demarcación, WEI actual 0.9 y WEI largo plazo 0.8. En el caso del índice CTA, que indica el grado de estrés hídrico, con la aplicación de medidas se revierte la situación, pero no se alcanza la situación inicial, de forma que se incrementa el estrés hídrico de los sistemas, pasando el CTA global de 0.4 a 0.5, teniendo algunos sistemas incrementos considerables en el CTA.

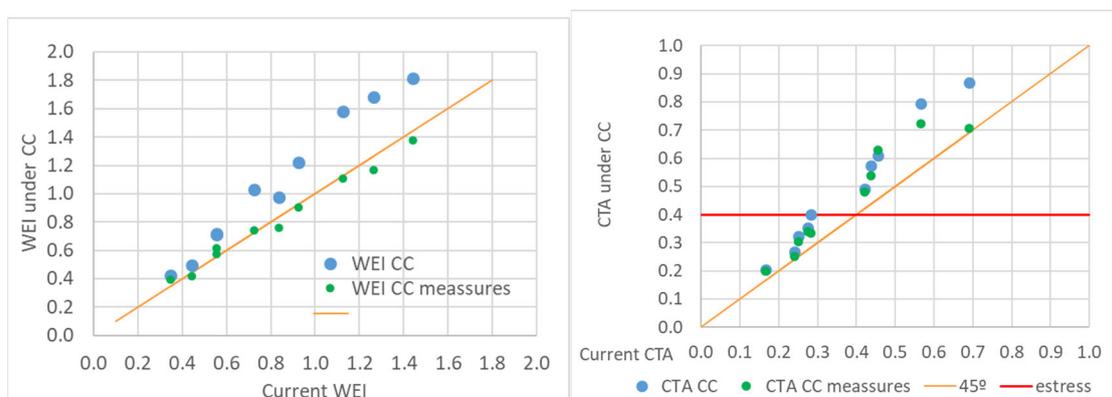


Figura 99. Grado de explotación CTA (abstracciones/recurso renovable) bajo el escenario de cambio climático a largo plazo en los sistemas de explotación de la Demarcación.

En relación al medio plazo las medidas consideradas devuelven al sistema a las condiciones actuales. El índice WEI presenta valores incluso inferiores a la situación actual, con un WEI conjunto de la Demarcación de 0.8, inferior al 0.9 actual. En relación al índice de estrés hídrico CTA, los valores son semejantes a los actuales con un valor medio de 0.47, frente al 0.44 actual.

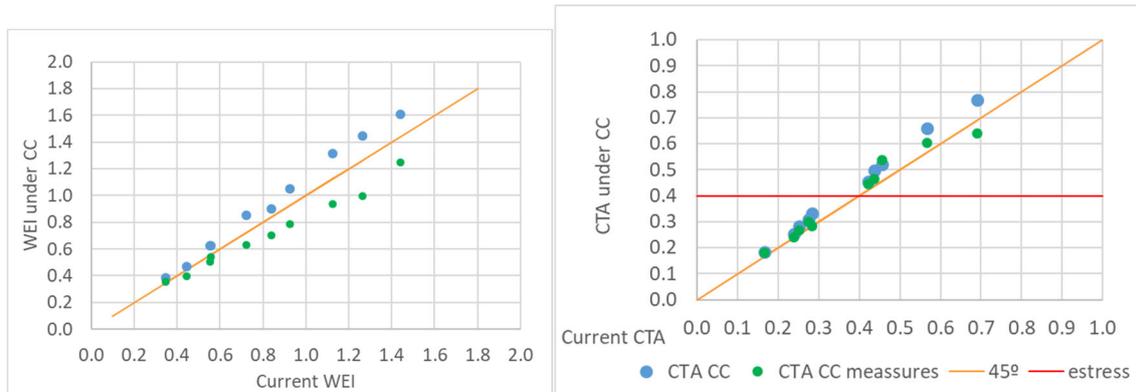


Figura 100. Grado de explotación WEI (derivaciones/recurso renovable) y CTA (abstracciones/recurso renovable) bajo el escenario de cambio climático a medio plazo en los sistemas de explotación de la Demarcación.

La reutilización de aguas regeneradas, tratadas en estaciones de depuración de aguas residuales, y de aguas desaladas tiene el problema del elevado coste de la energía. En este sentido, la utilización de energía renovable, concretamente energía solar fotovoltaica, en los esquemas de depuración y reutilización de aguas regeneradas contribuye a obtener un precio del agua que sea competitivo y permita su integración en la gestión de los sistemas de recursos hídricos, mediante la utilización en el riego en los periodos de primavera y verano y, por otra parte, que pueda complementar caudales en ríos en los periodos de otoño e invierno, facilitando la modulación del régimen hidrológico, o recargar los acuíferos en este mismo periodo.

8.3.2 Medidas de adaptación en la gestión de aguas subterráneas

En este apartado se resumen las medidas de adaptación en relación con la gestión de las aguas subterráneas, masas de agua subterránea. El análisis de los riesgos asociados muestra un aumento en el estrés hídrico en las masas de agua subterránea. En el escenario de cambio climático a medio plazo se produce un aumento del 10% al 30% de la superficie de las masas de agua subterránea con una elevada presión hídrica, bombeo respecto recurso renovable, superior a 0.8. manteniéndose en cifras similares las masas de agua con una presión hídrica baja, k menor a 0.4.

En las masas con una presión hídrica elevada, mayor a 0.8, requieren medidas de reducción de las extracciones de agua, ya sea mediante reducción de las necesidades de agua o mediante la sustitución de bombeos en las masas de agua subterráneas.

Por otra parte, pueden desarrollarse medidas de recarga a las masas de agua subterránea, con las aguas regeneradas, aguas depuradas, que no se aprovechen de forma directa en la agricultura.

9 Participación pública

En este apartado se incluye una síntesis de la participación pública realizada en la elaboración del Plan de Adaptación al Cambio Climático.

10 Referencias

- Ahmed y Hassan, 2011. *Cumulative Effect of Temperature and Solar Radiation on Wheat Yield*. *Not Bot Horti Agrobo*, 2011, 39(2):146-152.
- Agrusa, 2022. *Fechas y dosis de siembra de cereales*. <https://www.agrusa.com/semillas/trigo-blando/>
- BOR, 2020. *Review of Temperature Control Options for Reservoir Release Flows*. Bureau of Reclamation. U.S. Department of the Interior
- 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.
- CEDEX, 2011. *Mapa de caudales máximos diarios*.
- 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*.
- CEDEX, 2017 *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España*. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.
- CEDEX, 2020. *Incorporación del cambio climático en los planes hidrológico del tercer ciclo*. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Nota, 26 de octubre de 2020.
- CEDEX, 2021a. *Impacto del cambio climático en la recarga de las masas de agua subterránea en España*. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Nota, 9 de marzo de 2021.
- CEDEX, 2021b. *Impacto del Cambio Climático en las Precipitaciones Máximas de España*. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.
- C3E-Cantabria, 2016. *Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático en la costa española* <https://c3e.ihcantabria.com/>
- 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*.
- EEA (European Environment Agency), 2003. *Indicator Factsheet WQ01c*. Available online, URL: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-exploitation-index>
- IHC, 2019. *Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático a lo largo de la costa española*. Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC, 2019 - SROCCC: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.). (in press).
- Estrela-Segrelles, C., Pérez-Martín, M. A. (2020): *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. ISBN: 978-84-944788-9-5. Páginas 28-38 Septiembre 2020.

Estrela-Segrelles, C., Gómez-Martínez, G., & Pérez-Martín, M. Á. (2021). Risk assessment of climate change impacts on Mediterranean coastal wetlands. Application in Júcar River Basin District (Spain). *Science of The Total Environment*, 790, 148032. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148032>

Estrela Segrelles, C. E., Pérez Martín, M. Á., & Gómez Martínez, G. (2021). Climate change impacts on a mediterranean coastal wetland due to sea level rise (L'Albufera de Valencia, Spain) [Other]. *pico*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-1599>

Felicísimo, Á. M. (coord.) 2011. *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 2. Flora y vegetación*. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, 552 pág.

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>

Harvey, R., Lye, L., Khan, A., & Paterson, R. (2011). The influence of air temperature on water temperature and the concentration of dissolved oxygen in newfoundland rivers. *Canadian Water Resources Journal*, 36(2), 171-192. <https://doi.org/10.4296/cwrj3602849>

IPCC (2019). *Glosario de términos*, Working Group II

Julien, P. Y. (2018). *River mechanics* (2.a ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316107072>

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

Munné, A.; Solà, C. & Prat, N. (1998). QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua*, 175: 20-37.

Munné, A.; Prat, N.; Solá, C.; Bonada, N. & 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.

Pérez-Martín, Miguel Ángel; A Batán; Patricia del; Moll Montaner, Sara (2015) *Climate change impact on water resources and droughts of AR5 escenarios in the Jucar River, Spain*. Libro: DROUGHT: Research and Science-Policy Interfacing (ISBN 978-1-138-02779-4). Editorial: CRC Press, a BALKEMA Book. Taylor & Francis Group, London. Capítulo 27 páginas: 189 – 195. Año: 2015.

Pérez-Martín, Miguel Ángel; F Vines; Patricia del; A Batán (2015) *Climate change and the increase of wildfire risk in the Upper Jucar River Basin, Spain*. Libro: DROUGHT: Research and Science-Policy Interfacing (ISBN 978-1-138-02779-4). Editorial: CRC Press, a BALKEMA Book. Taylor & Francis Group, London. Capítulo: 12 páginas: 91 - 96 Año: 2015.

Pérez Martín, Miguel Ángel; Estrela-Segrelles, C.; Miñana-Albanell, C. and Mulet-Rojas, C. 2022. *Water temperature model for Mediterranean Rivers and Climate Change, the Jucar River Case*. *Proceedings of the 39th IAHR World Congress*. 19-24 June 2022 Granada, Spain.

PES-J, 2018. *Plan Especial de Sequía*. Demarcación Hidrográfica del Júcar

PGRI-J, 2021. *Revisión y actualización del plan de gestión del riesgo de inundación*. 2º ciclo (2022-2027). Demarcación Hidrográfica del Júcar

- PHJ, 2021. *Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológica 2022 – 2027.*
- Rahel, Frank J.; Christopher J. Keleher; Jeffrey L. Anderson. 1996. *Potential Habitat Loss and Population Fragmentation for Cold Water Fish in the North Platte River Drainage of the Rocky Mountains: Response to Climate Warming.* July 1996 *Limnology and Oceanography* 41(5). DOI: 10.4319/lo.1996.41.5.1116
- Sanderson, M. G.; W. J. Collins, D. L. Hemming & R. A. Betts (2007) *Stomatal conductance changes due to increasing carbon dioxide levels: Projected impact on surface ozone levels,* *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 59:3, 404-411, DOI: 10.1111/j.1600-0889.2007.00277.x
- Santiago 2017. *Viabilidad de las poblaciones de trucha (salmo trutta) del centro de la península ibérica: el reto del cambio climático*
- Thiéblemont, R., Le Cozannet, G., Toimil, A., Meyssignac, B., & Losada, I. J. (2019). *Likely and high-end impacts of regional sea-level rise on the shoreline change of european sandy coasts under a high greenhouse gas emissions scenario.* *Water*, 11(12), 2607. <https://doi.org/10.3390/w11122607>
- UPV, 2020. *Determinación de los mapas de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo asociados al Cambio Climático en España.* Universitat Politècnica de València.
- van Vuuren et al (2011) *The Representative Concentration Pathways: An Overview.* *Climatic Change*, 109 (1-2), 5-31.
- Wehrly & Wang, 2007. *Field-Based Estimates of Thermal Tolerance Limits for Trout: Incorporating Exposure Time and Temperature Fluctuation*
- Woznickia S. A.; A. Pouyan Nejadhashemia, Masoud Parsinejad 2015. *Climate change and irrigation demand: Uncertainty and adaptation.* *Journal of Hydrology: Regional Studies* 3 (2015) 247-264
- Xu Z, Jiang Y, Jia B and Zhou G (2016) *Elevated-CO2 Response of Stomata and Its Dependence on Environmental Factors.* *Front. Plant Sci.* 7:657. doi: 10.3389/fpls.2016.00657

Sugerencias de estudios específicos

A continuación, se indican sugerencias de estudios específicos a realizar:

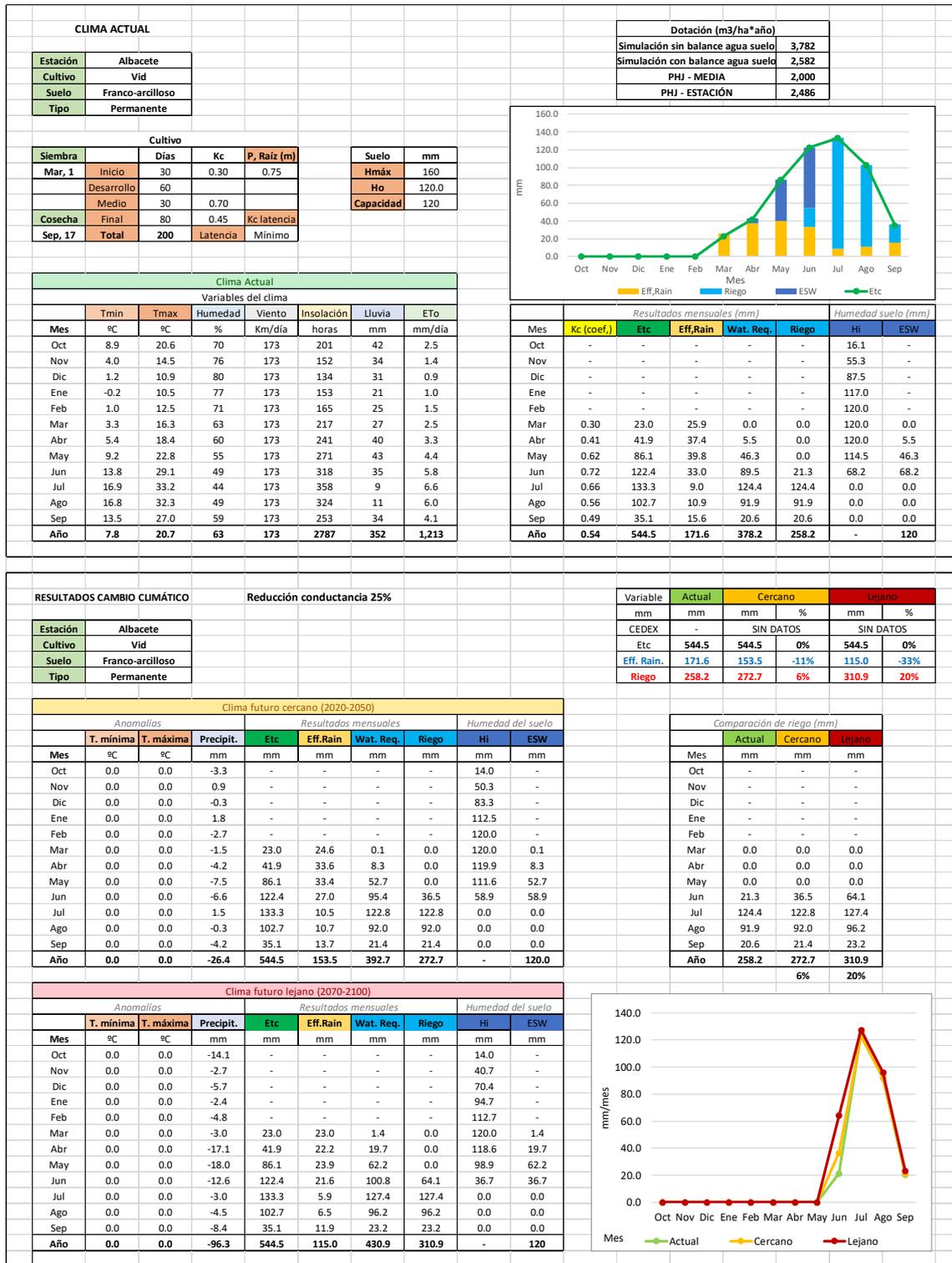
- Cambio en la clasificación de las masas de agua superficiales en los diferentes ecotipos. CEDEX
- Estudios específicos de afección de la biodiversidad. Facilitar la información agregada por demarcaciones hidrográficas del estudio: Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 2. Flora y vegetación (Felicísimo, Á. M. (coord.) 2011.). Poner a disposición de las demarcaciones los mapas de resultados del estudio y en su caso actualizar el estudio con escenarios de cambio climático más recientes.
- Realizar estudios específicos de la afección del cambio en el régimen hidrológico al ciclo de vida de las principales especies de peces de la demarcación en los puntos más representativos que no estén regulados por embalses.

Anexo 1:
Atlas Climático de la Demarcación
Mapas mensuales
Precipitación, Temperatura, Nieve,
Deshielo, Humedad del Suelo

Anexo 2:
Escenarios de Cambio Climático
Mapas Mensuales anomalías de
precipitación, temperatura máxima y
temperatura mínima

Anexo 3:
Necesidades agrícolas de los cultivos en
los escenarios de cambio climático

Reducción conductancia 25%



CLIMA ACTUAL				
Estación	Albacete			
Cultivo	Maíz			
Suelo	Franco-arenoso			
Tipo	Temporal			

Cultivo				
Siembra		Días	Kc	P, Raíz (m)
Abr, 1	Inicio	30	0.30	0.8
	Desarrollo	40		
	Medio	50	1.20	
Cosecha	Final	30	0.35	Kc latencia
Ago, 29	Total	150	Latencia	-

Suelo		mm
Hmáx		125
Ho		100.0
Capacidad		100

Clima Actual							
Variables del clima							
Mes	Tmín	Tmáx	Humedad	Viento	Insolación	Lluvia	ETo
	°C	°C	%	Km/día	horas	mm	mm/día
Oct	8.9	20.6	70	173	201	42	2.5
Nov	4.0	14.5	76	173	152	34	1.4
Dic	1.2	10.9	80	173	134	31	0.9
Ene	-0.2	10.5	77	173	153	21	1.0
Feb	1.0	12.5	71	173	165	25	1.5
Mar	3.3	16.3	63	173	217	27	2.5
Abr	5.4	18.4	60	173	241	40	3.3
May	9.2	22.8	55	173	271	43	4.4
Jun	13.8	29.1	49	173	318	35	5.8
Jul	16.9	33.2	44	173	358	9	6.6
Ago	16.8	32.3	49	173	324	11	6.0
Sep	13.5	27.0	59	173	253	34	4.1
Año	7.8	20.7	63	173	2787	352	1,213

Dotación (m³/ha*año)							
Simulación sin balance agua suelo	5,755						
Simulación con balance agua suelo	4,755						
PHJ - MEDIA	4,700						
PHJ - ESTACIÓN	SIN DATOS						

Resultados mensuales (mm)								Humedad suelo (mm)	
Mes	Kc (coef.)	Etc	Eff.Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW		
Oct	-	-	-	-	-	33.1	-		
Nov	-	-	-	-	-	72.3	-		
Dic	-	-	-	-	-	100.0	-		
Ene	-	-	-	-	-	100.0	-		
Feb	-	-	-	-	-	100.0	-		
Mar	-	-	-	-	-	100.0	-		
Abr	0.30	30.0	37.4	0.0	0.0	100.0	0.0		
May	0.66	93.3	39.8	53.0	0.0	100.0	53.5		
Jun	1.19	204.0	33.0	171.0	124.5	46.5	46.5		
Jul	1.22	245.7	9.0	236.8	236.8	0.0	0.0		
Ago	0.72	125.1	9.4	114.2	114.2	0.0	0.0		
Sep	-	-	-	-	-	0.9	-		
Año	0.82	698.1	128.6	575.5	475.5	-	100		

RESULTADOS CAMBIO CLIMÁTICO					Reducción conductancia 25%				
Estación	Albacete								
Cultivo	Maíz								
Suelo	Franco-arenoso								
Tipo	Temporal								

Variable	Actual	Cercano		Lejano	
mm	mm	mm	%	mm	%
CEDEX	-	SIN DATOS		SIN DATOS	
Etc	698.1	698.1	0%	698.1	0%
Eff. Rain.	128.6	113.8	-12%	79.1	-38%
Riego	475.5	487.8	3%	519	9%

Clima futuro cercano (2020-2050)									
Anomalías				Resultados mensuales				Humedad del suelo	
Mes	T. mínima	T. máxima	Precipit.	Etc	Eff. Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Oct	0.0	0.0	-3.3	-	-	-	-	29.4	-
Nov	0.0	0.0	0.9	-	-	-	-	65.7	-
Dic	0.0	0.0	-0.3	-	-	-	-	98.7	-
Ene	0.0	0.0	1.8	-	-	-	-	100.0	-
Feb	0.0	0.0	-2.7	-	-	-	-	100.0	-
Mar	0.0	0.0	-1.5	-	-	-	-	100.0	-
Abr	0.0	0.0	-4.2	30.0	33.6	0.0	0.0	100.0	0.0
May	0.0	0.0	-7.5	93.3	33.4	59.9	0.0	100.1	59.9
Jun	0.0	0.0	-6.6	204.0	27.0	177.0	136.8	40.2	40.2
Jul	0.0	0.0	1.5	245.7	10.5	235.2	235.2	0.0	0.0
Ago	0.0	0.0	-0.3	125.1	9.3	115.8	115.8	0.0	0.0
Sep	0.0	0.0	-4.2	-	-	-	-	1.0	-
Año	0.0	0.0	-26.4	698.1	113.8	587.9	487.8	-	100.1

Comparación de riego (mm)			
Mes	Actual	Cercano	Lejano
	mm	mm	mm
Oct	-	-	-
Nov	-	-	-
Dic	-	-	-
Ene	-	-	-
Feb	-	-	-
Mar	-	-	-
Abr	0.0	0.0	0.0
May	0.0	0.0	0.0
Jun	124.5	136.8	159.6
Jul	236.8	235.2	239.8
Ago	114.2	115.8	119.6
Sep	-	-	-
Año	475.5	487.8	519
		3%	9%

Clima futuro lejano (2070-2100)									
Anomalías				Resultados mensuales				Humedad del suelo	
Mes	T. mínima	T. máxima	Precipit.	Etc	Eff. Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Oct	0.0	0.0	-14.1	-	-	-	-	25.2	-
Nov	0.0	0.0	-2.7	-	-	-	-	51.9	-
Dic	0.0	0.0	-5.7	-	-	-	-	81.6	-
Ene	0.0	0.0	-2.4	-	-	-	-	100.0	-
Feb	0.0	0.0	-4.8	-	-	-	-	100.0	-
Mar	0.0	0.0	-3.0	-	-	-	-	100.0	-
Abr	0.0	0.0	-17.1	30.0	22.2	7.8	0.0	100.0	7.8
May	0.0	0.0	-18.0	93.3	23.9	69.4	0.0	92.2	69.4
Jun	0.0	0.0	-12.6	204.0	21.6	182.4	159.6	22.8	22.8
Jul	0.0	0.0	-3.0	245.7	5.9	239.8	239.8	0.0	0.0
Ago	0.0	0.0	-4.5	125.1	5.5	119.6	119.6	0.0	0.0
Sep	0.0	0.0	-8.4	-	-	-	-	0.6	-
Año	0.0	0.0	-96.3	698.1	79.1	619.0	519.0	-	100

CLIMA ACTUAL				
Estación	Cuenca			
Cultivo	Trigo			
Suelo	Franco			
Tipo	Temporal			

Cultivo				
Siembra		Días	Kc	P. Raíz (m)
Nov, 1	Inicio	30	0.70	0.7
	Desarrollo	140		
	Medio	40	1.15	
Cosecha	Final	30	0.25	Kc latencia
Jun, 28	Total	240	Latencia	-

Suelo		mm
Hmáx		143
Ho		100.0
Capacidad		100

Clima Actual							
Variables del clima							
Mes	Tmín	Tmáx	Humedad	Viento	Insolación	Lluvia	ETo
	°C	°C	%	Km/día	horas	mm	mm/día
Oct	7.7	19.2	67	138	188	60	2.2
Nov	3.2	13.3	73	130	151	48	1.2
Dic	0.7	10.1	76	146	136	58	0.8
Ene	-0.5	9.7	73	147	154	40	0.9
Feb	0.2	11.5	67	164	162	38	1.4
Mar	2.5	15.1	60	164	211	35	2.4
Abr	4.5	16.6	60	164	206	58	3.0
May	8.2	20.9	56	147	258	52	4.0
Jun	12.8	27.3	48	130	309	41	5.1
Jul	15.7	31.4	41	121	357	10	5.9
Ago	15.6	30.7	45	121	329	20	5.3
Sep	11.9	25.6	55	112	246	42	3.6
Año	6.9	19.3	60	140	2707	502	1,089

Dotación (m³/ha*año)							
Simulación sin balance agua suelo	2,428						
Simulación con balance agua suelo	1,428						
PHJ - MEDIA	2,000						
PHJ - ESTACIÓN	1,589						

Resultados mensuales (mm)							
Mes	Kc (coef.)	Etc	Eff. Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
Oct	-	-	-	-	-	72.2	-
Nov	0.70	26.7	44.3	0.0	0.0	100.0	0.0
Dic	0.75	20.7	52.5	0.0	0.0	100.0	0.0
Ene	0.85	25.8	37.6	0.0	0.0	100.0	0.0
Feb	0.95	38.8	35.6	3.7	0.0	100.0	3.7
Mar	1.04	75.3	33.1	42.2	0.0	96.3	42.2
Abr	1.13	102.6	52.6	50.0	0.0	54.1	50.0
May	1.15	142.5	47.5	94.8	90.7	4.1	4.1
Jun	0.63	90.3	36.1	52.1	52.1	0.0	0.0
Jul	-	-	-	-	-	3.8	-
Ago	-	-	-	-	-	13.6	-
Sep	-	-	-	-	-	33.0	-
Año	0.90	522.7	339.3	242.8	142.8	-	100

RESULTADOS CAMBIO CLIMÁTICO					Reducción conductancia 25%					
Estación	Cuenca				Variable	Actual	Cercano		Lejano	
Cultivo	Trigo				mm	mm	mm	%	mm	%
Suelo	Franco				CEDEX	-	SIN DATOS		SIN DATOS	
Tipo	Temporal				Etc	522.7	522.7	0%	522.7	0%
					Eff. Rain.	339.3	329.5	-3%	284.1	-16%
					Riego	142.8	162.5	14%	192.5	35%

Clima futuro cercano (2020-2050)									
Anomalías			Resultados mensuales				Humedad del suelo		
Mes	T. mínima	T. máxima	Precipit.	Etc	Eff. Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Oct	0.0	0.0	-7.6	-	-	-	-	66.5	-
Nov	0.0	0.0	2.5	26.7	46.6	0.0	0.0	100.0	0.0
Dic	0.0	0.0	1.9	20.7	54.0	0.0	0.0	100.1	0.0
Ene	0.0	0.0	4.1	25.8	41.1	0.0	0.0	100.1	0.0
Feb	0.0	0.0	0.1	38.8	35.9	3.8	0.0	100.1	3.8
Mar	0.0	0.0	-0.6	75.3	32.6	42.7	0.0	96.3	42.7
Abr	0.0	0.0	-5.5	102.6	48.0	54.6	1.0	53.6	53.6
May	0.0	0.0	-8.4	142.5	40.5	102.0	102.0	0.0	0.0
Jun	0.0	0.0	-6.4	90.3	30.8	59.5	59.5	0.0	0.0
Jul	0.0	0.0	-0.1	-	-	-	-	3.2	-
Ago	0.0	0.0	0.1	-	-	-	-	12.9	-
Sep	0.0	0.0	-5.8	-	-	-	-	32.4	-
Año	0.0	0.0	-25.8	522.7	329.5	262.6	162.5	-	100.1

Clima futuro lejano (2070-2100)									
Anomalías			Resultados mensuales				Humedad del suelo		
Mes	T. mínima	T. máxima	Precipit.	Etc	Eff. Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Oct	0.0	0.0	-19.0	-	-	-	-	64.8	-
Nov	0.0	0.0	-2.5	26.7	42.3	0.0	0.0	100.0	0.0
Dic	0.0	0.0	-4.7	20.7	48.6	0.0	0.0	100.1	0.0
Ene	0.0	0.0	-1.4	25.8	36.3	0.0	0.0	100.1	0.0
Feb	0.0	0.0	-2.4	38.8	33.7	5.1	0.0	100.1	5.1
Mar	0.0	0.0	-1.6	75.3	31.7	43.6	0.0	95.0	43.6
Abr	0.0	0.0	-17.3	102.6	37.9	64.7	13.3	51.4	51.4
May	0.0	0.0	-20.6	142.5	29.8	112.7	112.7	0.0	0.0
Jun	0.0	0.0	-14.6	90.3	23.8	66.5	66.5	0.0	0.0
Jul	0.0	0.0	-4.7	-	-	-	-	2.5	-
Ago	0.0	0.0	-4.8	-	-	-	-	7.8	-
Sep	0.0	0.0	-7.7	-	-	-	-	32.4	-
Año	0.0	0.0	-101.4	522.7	284.1	292.6	192.5	-	100.1

Comparación de riego (mm)			
Mes	Actual	Cercano	Lejano
	mm	mm	mm
Oct	-	-	-
Nov	0.0	0.0	0.0
Dic	0.0	0.0	0.0
Ene	0.0	0.0	0.0
Feb	0.0	0.0	0.0
Mar	0.0	0.0	0.0
Abr	0.0	1.0	13.3
May	90.7	102.0	112.7
Jun	52.1	59.5	66.5
Jul	-	-	-
Ago	-	-	-
Sep	-	-	-
Año	142.8	162.5	192.5

CLIMA ACTUAL				
Estación	Teruel			
Cultivo	Trigo			
Suelo	Franco			
Tipo	Temporal			

Cultivo				
Siembra	Inicio	Días	Kc	P, Raíz (m)
Nov, 1	Inicio	30	0.70	0.7
	Desarrollo	140		
	Medio	40	1.15	
Cosecha	Final	30	0.25	Kc latencia
Jun, 28	Total	240	Latencia	-

Suelo		mm
Hmáx		143
Ho		100.0
Capacidad		100

Clima Actual							
Variables del clima							
Mes	Tmín	Tmáx	Humedad	Viento	Insolación	Lluvia	ETo
	°C	°C	%	Km/día	horas	mm	mm/día
Oct	6.0	19.3	71	242	210	47	2.5
Nov	0.9	13.4	74	251	180	22	1.5
Dic	-1.4	9.9	78	251	150	19	1.0
Ene	-2.3	9.7	76	251	180	19	1.1
Feb	-1.6	12.1	68	251	180	15	1.7
Mar	0.8	15.7	63	251	240	21	2.7
Abr	2.8	17.0	62	242	240	39	3.3
May	6.8	21.8	61	233	240	57	4.2
Jun	10.5	27.0	57	190	270	46	5.0
Jul	13.0	31.3	52	190	300	26	5.9
Ago	13.2	30.7	56	190	270	34	5.3
Sep	9.9	25.3	63	233	240	36	4.0
Año	4.9	19.4	65	231	2700	381	1,162

Dotación (m³/ha*año)							
Simulación sin balance agua suelo	3,637						
Simulación con balance agua suelo	2,637						
PHJ - MEDIA	2,000						
PHJ - ESTACIÓN	1,278						

Resultados mensuales (mm)								Humedad suelo (mm)	
Mes	Kc (coef.)	Etc	Eff.Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW		
Oct	-	-	-	-	-	100.0	-		
Nov	0.70	33.0	21.3	11.7	0.0	100.0	11.7		
Dic	0.75	25.3	18.5	6.8	0.0	88.3	6.8		
Ene	0.86	31.3	18.3	13.0	0.0	81.5	13.0		
Feb	0.97	47.0	14.7	32.3	0.0	68.5	32.3		
Mar	1.07	88.2	20.4	67.8	31.6	36.2	36.2		
Abr	1.17	116.4	36.5	80.1	80.1	0.0	0.0		
May	1.19	153.2	51.7	101.5	101.5	0.0	0.0		
Jun	0.65	92.9	40.1	50.5	50.5	0.0	0.0		
Jul	-	-	-	-	-	4.3	-		
Ago	-	-	-	-	-	29.2	-		
Sep	-	-	-	-	-	61.4	-		
Año	0.92	587.3	221.5	363.7	263.7	-	100		

RESULTADOS CAMBIO CLIMÁTICO					Reducción conductancia 25%				
Estación	Teruel								
Cultivo	Trigo								
Suelo	Franco								
Tipo	Temporal								

Variable	Actual	Cercano		Lejano	
mm	mm	mm	%	mm	%
CEDEX	-	SIN DATOS		SIN DATOS	
Etc	587.3	587.3	0%	587.3	0%
Eff. Rain.	221.5	211.9	-4%	182.6	-18%
Riego	263.7	275.4	4%	304.7	16%

Clima futuro cercano (2020-2050)									
Anomalías			Resultados mensuales				Humedad del suelo		
Mes	T. mínima	T. máxima	Precipit.	Etc	Eff. Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Oct	0.0	0.0	0.5	-	-	-	-	100.0	-
Nov	0.0	0.0	0.1	33.0	21.3	11.7	0.0	100.0	11.7
Dic	0.0	0.0	2.9	25.3	21.1	2.0	0.0	88.3	2.0
Ene	0.0	0.0	1.2	31.3	19.5	11.8	0.0	84.1	11.8
Feb	0.0	0.0	-0.5	47.0	14.3	32.7	0.0	72.3	32.7
Mar	0.0	0.0	0.9	88.2	21.2	67.0	27.4	39.6	39.6
Abr	0.0	0.0	-2.0	116.4	34.8	81.6	81.6	0.0	0.0
May	0.0	0.0	-7.3	153.2	45.5	107.7	107.7	0.0	0.0
Jun	0.0	0.0	-7.1	92.9	34.2	58.7	58.7	0.0	0.0
Jul	0.0	0.0	-0.8	-	-	-	-	3.7	-
Ago	0.0	0.0	-2.2	-	-	-	-	27.8	-
Sep	0.0	0.0	-4.6	-	-	-	-	57.3	-
Año	0.0	0.0	-16.0	587.3	211.9	373.2	275.4	-	97.8

Comparación de riego (mm)			
Mes	Actual	Cercano	Lejano
Oct	-	-	-
Nov	0.0	0.0	0.0
Dic	0.0	0.0	0.0
Ene	0.0	0.0	0.0
Feb	0.0	0.0	0.0
Mar	31.6	27.4	28.9
Abr	80.1	81.6	89.9
May	101.5	107.7	118.6
Jun	50.5	58.7	67.3
Jul	-	-	-
Ago	-	-	-
Sep	-	-	-
Año	263.7	275.4	304.7
		4%	16%

Clima futuro lejano (2070-2100)									
Anomalías			Resultados mensuales				Humedad del suelo		
Mes	T. mínima	T. máxima	Precipit.	Etc	Eff. Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Oct	0.0	0.0	-7.3	-	-	-	-	70.0	-
Nov	0.0	0.0	1.9	33.0	23.1	9.9	0.0	100.0	9.9
Dic	0.0	0.0	-1.2	25.3	17.4	4.6	0.0	90.1	4.6
Ene	0.0	0.0	1.4	31.3	19.7	11.6	0.0	82.2	11.6
Feb	0.0	0.0	0.5	47.0	15.2	31.8	0.0	70.6	31.8
Mar	0.0	0.0	0.2	88.2	20.5	67.7	28.9	38.8	38.8
Abr	0.0	0.0	-11.4	116.4	26.5	89.9	89.9	0.0	0.0
May	0.0	0.0	-20.0	153.2	34.6	118.6	118.6	0.0	0.0
Jun	0.0	0.0	-17.4	92.9	25.6	67.3	67.3	0.0	0.0
Jul	0.0	0.0	-9.1	-	-	-	-	2.7	-
Ago	0.0	0.0	-9.9	-	-	-	-	19.1	-
Sep	0.0	0.0	-6.9	-	-	-	-	42.3	-
Año	0.0	0.0	-76.1	587.3	182.6	401.4	304.7	-	96.7

CLIMA ACTUAL							
Estación	Castellón						
Cultivo	Cítricos						
Suelo	Franco-arenoso						
Tipo	Permanente						
Cultivo							
Siembra	Inicio	Días	Kc	P, Raíz (m)			
Ene, 1	Inicio	60	0.70	0.7			
	Desarrollo	90					
	Medio	120	0.65				
Cosecha	Final	95	0.70	Kc latencia			
Dic, 31	Total	365	Latencia	-			
Suelo	mm						
Hmáx	100						
Ho	70.0						
Capacidad	70						
Clima Actual							
Variables del clima							
Mes	Tmín	Tmáx	Humedad	Viento	Insolación	Lluvia	ETo
	°C	°C	%	Km/día	horas	mm	mm/día
Oct	14.4	23.5	69	69	203	70	2.2
Nov	9.8	18.8	68	78	173	49	1.3
Dic	7.0	15.8	68	86	164	42	1.0
Ene	5.8	15.3	67	86	180	36	1.0
Feb	6.4	16.2	66	104	179	31	1.5
Mar	8.3	18.5	64	104	209	31	2.3
Abr	10.3	20.5	63	104	235	42	3.2
May	13.6	23.4	63	86	272	44	3.9
Jun	17.6	27.3	63	86	296	19	4.7
Jul	20.6	30.0	64	86	329	9	5.2
Ago	20.9	30.3	66	78	290	24	4.6
Sep	18.1	27.6	68	69	229	71	3.3
Año	12.7	22.3	66	86	2759	468	1,038

Dotación (m³/ha*año)	
Simulación sin balance agua suelo	2,639
Simulación con balance agua suelo	1,939
PHJ - MEDIA	3,890
PHJ - ESTACIÓN	2,611

Resultados mensuales (mm)		Humedad suelo (mm)					
Mes	Kc (coef.)	Etc	Eff.Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
Oct	0.60	41.0	62.1	0.0	0.0	10.0	0.0
Nov	0.60	24.7	45.3	0.0	0.0	31.1	0.0
Dic	0.60	18.7	39.3	0.0	0.0	51.7	0.0
Ene	0.70	23.2	34.0	0.0	0.0	70.0	0.0
Feb	0.70	30.2	29.6	1.3	0.0	70.0	1.3
Mar	0.68	48.6	29.6	19.0	0.0	68.7	19.0
Abr	0.63	59.1	39.1	20.0	0.0	49.7	20.0
May	0.58	69.8	40.8	29.0	0.0	29.7	29.0
Jun	0.55	77.0	18.4	58.6	57.9	0.7	0.7
Jul	0.55	87.8	9.0	78.8	78.8	0.0	0.0
Ago	0.55	77.4	23.1	54.3	54.3	0.0	0.0
Sep	0.56	55.9	62.9	2.9	2.9	0.0	0.0
Año	0.61	613.4	433.2	263.9	193.9	-	70

RESULTADOS CAMBIO CLIMÁTICO		Reducción conductancia 25%							
Estación	Castellón								
Cultivo	Cítricos								
Suelo	Franco-arenoso								
Tipo	Permanente								
Clima futuro cercano (2020-2050)									
Anomalías			Resultados mensuales			Humedad del suelo			
Mes	T. mínima	T. máxima	Precipit.	Etc	Eff.Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Oct	0.0	0.0	7.7	41.0	68.0	0.0	0.0	7.3	0.0
Nov	0.0	0.0	-3.4	24.7	42.3	0.0	0.0	34.3	0.0
Dic	0.0	0.0	4.7	18.7	43.1	0.0	0.0	51.9	0.0
Ene	0.0	0.0	-3.0	23.2	31.3	0.0	0.0	70.0	0.0
Feb	0.0	0.0	-3.3	30.2	26.6	3.6	0.0	70.0	3.6
Mar	0.0	0.0	-2.0	48.6	27.9	20.7	0.0	66.4	20.7
Abr	0.0	0.0	-2.1	59.1	37.2	21.9	0.0	45.7	21.9
May	0.0	0.0	-7.4	69.8	34.4	35.4	11.6	23.8	23.8
Jun	0.0	0.0	-5.6	77.0	13.2	63.8	63.8	0.0	0.0
Jul	0.0	0.0	-0.4	87.8	8.5	79.2	79.2	0.0	0.0
Ago	0.0	0.0	-2.2	77.4	21.2	56.3	56.3	0.0	0.0
Sep	0.0	0.0	-5.3	55.9	58.7	4.5	4.5	0.0	0.0
Año	0.0	0.0	-21.1	613.4	412.4	285.4	215.4	-	70.0

Comparación de riego (mm)			
Mes	Actual	Cercano	Lejano
Oct	0.0	0.0	0.0
Nov	0.0	0.0	0.0
Dic	0.0	0.0	0.0
Ene	0.0	0.0	0.0
Feb	0.0	0.0	0.0
Mar	0.0	0.0	0.0
Abr	0.0	0.0	0.0
May	0.0	11.6	33.1
Jun	57.9	63.8	73.9
Jul	78.8	79.2	85.9
Ago	54.3	56.3	65.3
Sep	2.9	4.5	5.4
Año	193.9	215.4	263.6
		11%	36%

Clima futuro lejano (2070-2100)									
Anomalías			Resultados mensuales			Humedad del suelo			
Mes	T. mínima	T. máxima	Precipit.	Etc	Eff.Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Oct	0.0	0.0	-6.5	41.0	57.0	0.0	0.0	6.2	0.0
Nov	0.0	0.0	6.7	24.7	50.7	0.0	0.0	22.2	0.0
Dic	0.0	0.0	-3.2	18.7	36.6	0.0	0.0	48.2	0.0
Ene	0.0	0.0	-2.4	23.2	31.9	0.0	0.0	66.1	0.0
Feb	0.0	0.0	-0.4	30.2	29.2	1.5	0.0	70.0	1.5
Mar	0.0	0.0	-2.5	48.6	27.3	21.3	0.0	68.5	21.3
Abr	0.0	0.0	-15.1	59.1	25.6	33.5	0.0	47.2	33.5
May	0.0	0.0	-20.0	69.8	23.0	46.8	33.1	13.7	13.7
Jun	0.0	0.0	-15.9	77.0	3.2	73.9	73.9	0.0	0.0
Jul	0.0	0.0	-7.2	87.8	1.9	85.9	85.9	0.0	0.0
Ago	0.0	0.0	-11.7	77.4	12.1	65.3	65.3	0.0	0.0
Sep	0.0	0.0	-7.9	55.9	56.6	5.4	5.4	0.0	0.0
Año	0.0	0.0	-85.1	613.4	355.1	333.6	263.6	-	70

CLIMA ACTUAL							
Estación	Valencia						
Cultivo	Cítricos						
Suelo	Franco-arenoso						
Tipo	Permanente						
Cultivo							
Siembra	Días	Kc	P. Raíz (m)				
Ene, 1	Inicio	60	0.70	0.7			
	Desarrollo	90					
	Medio	120	0.65				
Cosecha	Final	95	0.70	Kc latencia			
Dic, 31	Total	365	Latencia	-			
Suelo	mm						
Hmáx	100						
Ho	4.0						
Capacidad	70						
Clima Actual							
Variables del clima							
Mes	Tmin	Tmax	Humedad	Viento	Insolación	Lluvia	Eto
	°C	°C	%	Km/día	horas	mm	mm/día
Oct	15.2	24.3	67	242	210	77	3.1
Nov	10.8	19.8	66	251	180	47	2.2
Dic	8.1	17.0	65	251	150	48	1.8
Ene	7.1	16.4	64	251	180	37	1.9
Feb	7.8	17.1	64	251	180	36	2.3
Mar	9.6	19.3	63	251	240	33	3.1
Abr	11.5	20.8	62	242	240	38	3.8
May	14.6	23.4	65	233	240	39	4.3
Jun	18.6	27.1	66	190	270	22	4.9
Jul	21.5	29.7	67	190	300	8	5.4
Ago	21.9	30.2	68	190	270	20	5.0
Sep	19.1	27.9	67	233	240	70	4.2
Año	13.8	22.8	65	231	2700	475	1,280

Dotación (m³/ha*año)	
Simulación sin balance agua suelo	3,851
Simulación con balance agua suelo	3,787
PHJ - MEDIA	3,890
PHJ - ESTACIÓN	3955/3697

Resultados mensuales (mm)		Humedad suelo (mm)					
Mes	Kc (coef.)	Etc	Eff.Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
Oct	0.69	66.9	67.4	1.9	1.2	0.0	0.7
Nov	0.69	47.4	43.5	3.9	2.2	1.7	1.7
Dic	0.69	40.2	44.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Ene	0.70	41.8	35.0	6.8	2.8	4.0	4.0
Feb	0.70	44.9	33.8	11.2	11.2	0.0	0.0
Mar	0.68	65.4	31.3	34.1	34.1	0.0	0.0
Abr	0.65	73.4	35.6	37.8	37.8	0.0	0.0
May	0.61	82.2	36.5	45.7	45.7	0.0	0.0
Jun	0.60	87.7	21.3	66.4	66.4	0.0	0.0
Jul	0.60	99.5	7.9	91.5	91.5	0.0	0.0
Ago	0.60	91.3	19.4	71.8	71.8	0.0	0.0
Sep	0.61	76.0	62.1	14.0	14.0	0.0	0.0
Año	0.65	816.7	438.0	385.1	378.7	-	6.4

RESULTADOS CAMBIO CLIMÁTICO		Reducción conductancia 25%			
Estación	Valencia				
Cultivo	Cítricos				
Suelo	Franco-arenoso				
Tipo	Permanente				
Variable		Actual	Cercano	Lejano	
	mm	mm	%	mm	%
CEDEX	-	SIN DATOS		SIN DATOS	
Etc	816.7	816.7	0%	816.7	0%
Eff. Rain.	438.0	420.9	-4%	364.1	-17%
Riego	378.7	401.2	6%	451.7	19%

Clima futuro cercano (2020-2050)									
Anomalías			Resultados mensuales				Humedad del suelo		
Mes	T. mínima	T. máxima	Precipit.	Etc	Eff.Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Oct	0.0	0.0	2.7	66.9	69.5	0.9	0.9	0.0	0.0
Nov	0.0	0.0	0.6	47.4	44.1	3.3	0.0	3.5	3.3
Dic	0.0	0.0	1.4	40.2	45.4	0.0	0.0	0.2	0.0
Ene	0.0	0.0	-2.4	41.8	32.7	8.8	8.8	0.0	0.0
Feb	0.0	0.0	-4.1	44.9	30.3	14.7	14.7	0.0	0.0
Mar	0.0	0.0	-2.1	65.4	29.6	35.9	35.9	0.0	0.0
Abr	0.0	0.0	-1.9	73.4	34.0	39.4	39.4	0.0	0.0
May	0.0	0.0	-6.3	82.2	30.9	51.2	51.2	0.0	0.0
Jun	0.0	0.0	-4.4	87.7	17.2	70.7	70.7	0.0	0.0
Jul	0.0	0.0	1.2	99.5	9.1	90.4	90.4	0.0	0.0
Ago	0.0	0.0	-0.1	91.3	19.4	71.9	71.9	0.0	0.0
Sep	0.0	0.0	-4.3	76.0	58.7	17.3	17.3	0.0	0.0
Año	0.0	0.0	-19.7	816.7	420.9	404.5	401.2	-	3.3

Comparación de riego (mm)			
Mes	Actual	Cercano	Lejano
Oct	1.2	0.9	8.1
Nov	2.2	0.0	0.5
Dic	0.0	0.0	0.7
Ene	2.8	8.8	8.7
Feb	11.2	14.7	13.7
Mar	34.1	35.9	37.9
Abr	37.8	39.4	50.2
May	45.7	51.2	60.4
Jun	66.4	70.7	77.8
Jul	91.5	90.4	95.0
Ago	71.8	71.9	78.1
Sep	14.0	17.3	20.6
Año	378.7	401.2	451.7
	6%	19%	

Clima futuro lejano (2070-2100)									
Anomalías			Resultados mensuales				Humedad del suelo		
Mes	T. mínima	T. máxima	Precipit.	Etc	Eff.Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Oct	0.0	0.0	-11.1	66.9	58.9	8.1	8.1	0.0	0.0
Nov	0.0	0.0	4.4	47.4	47.2	0.5	0.5	0.0	0.0
Dic	0.0	0.0	-6.2	40.2	39.1	0.7	0.7	0.4	0.0
Ene	0.0	0.0	-2.9	41.8	32.3	9.4	8.7	0.7	0.7
Feb	0.0	0.0	-3.0	44.9	31.2	13.7	13.7	0.0	0.0
Mar	0.0	0.0	-3.9	65.4	27.5	37.9	37.9	0.0	0.0
Abr	0.0	0.0	-13.9	73.4	23.3	50.2	50.2	0.0	0.0
May	0.0	0.0	-16.3	82.2	21.7	60.4	60.4	0.0	0.0
Jun	0.0	0.0	-12.0	87.7	10.0	77.8	77.8	0.0	0.0
Jul	0.0	0.0	-3.6	99.5	4.4	95.0	95.0	0.0	0.0
Ago	0.0	0.0	-6.7	91.3	13.1	78.1	78.1	0.0	0.0
Sep	0.0	0.0	-8.4	76.0	55.4	20.6	20.6	0.0	0.0
Año	0.0	0.0	-83.6	816.7	364.1	452.4	451.7	-	0.7

CLIMA ACTUAL							
Estación	Alicante						
Cultivo	Frutal Hueso						
Suelo	Franco-arenoso						
Tipo	Permanente						
Cultivo							
Siembra	Inicio	Días	Kc	P. Raíz (m)			
Mar, 1	Inicio	30	0.50	1			
	Desarrollo	90					
	Medio	120	0.90				
Cosecha	Final	30	0.50	Kc latencia			
Nov, 25	Total	270	Latencia	0,2 26/11			
Suelo	mm						
Hmáx	100						
Ho	31.0						
Capacidad	100						
Clima Actual							
Variables del clima							
Mes	Tmín	Tmáx	Humedad	Viento	Insolación	Lluvia	ETo
	°C	°C	%	Km/día	horas	mm	mm/día
Oct	14.5	24.9	70	216	217	47	3.0
Nov	10.3	20.5	69	225	173	36	2.1
Dic	7.4	17.7	68	216	164	25	1.7
Ene	6.3	17.0	67	233	181	23	1.8
Feb	7.1	17.6	66	285	180	22	2.4
Mar	8.9	19.6	65	277	227	23	3.2
Abr	10.9	21.3	63	277	247	29	3.9
May	14.1	24.1	64	233	277	28	4.6
Jun	18.1	27.8	63	216	302	12	5.4
Jul	20.7	30.3	65	225	330	4	5.9
Ago	21.2	30.8	67	216	304	7	5.4
Sep	18.5	28.5	69	216	250	56	4.2
Año	13.2	23.3	66	236	2852	312	1,324

Dotación (m³/ha*año)							
Simulación sin balance agua suelo	6,582						
Simulación con balance agua suelo	6,272						
PHJ - MEDIA	4,400						
PHJ - ESTACIÓN	5,600						

Resultados mensuales (mm)								Humedad suelo (mm)	
Mes	Kc (coef.)	Etc	Eff.Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW		
Oct	0.87	81.9	43.4	38.5	38.5	0.0	0.0		
Nov	0.62	38.5	33.9	7.7	7.7	0.0	0.0		
Dic	0.20	11.0	24.2	0.0	0.0	3.0	0.0		
Ene	0.21	12.1	22.3	0.0	0.0	16.2	0.0		
Feb	0.20	13.8	21.2	0.0	0.0	26.4	0.0		
Mar	0.50	49.4	22.2	27.2	0.0	31.0	27.2		
Abr	0.57	67.2	27.6	39.8	36.0	3.8	3.8		
May	0.70	99.7	26.7	73.1	73.1	0.0	0.0		
Jun	0.83	132.7	11.9	120.7	120.7	0.0	0.0		
Jul	0.88	159.1	4.2	155.0	155.0	0.0	0.0		
Ago	0.88	144.1	7.0	137.1	137.1	0.0	0.0		
Sep	0.88	110.0	50.9	59.1	59.1	0.0	0.0		
Año	0.61	919.5	295.5	658.2	627.2	-	31		

RESULTADOS CAMBIO CLIMÁTICO					Reducción conductancia 25%				
Estación	Alicante								
Cultivo	Frutal Hueso								
Suelo	Franco-arenoso								
Tipo	Permanente								
Clima futuro cercano (2020-2050)									
Anomalías			Resultados mensuales				Humedad del suelo		
Mes	T. mínima	T. máxima	Precipit.	Etc	Eff.Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Oct	0.0	0.0	2.3	81.9	45.3	36.6	36.6	0.0	0.0
Nov	0.0	0.0	1.2	38.5	34.8	6.7	6.7	0.0	0.0
Dic	0.0	0.0	-2.0	11.0	22.3	0.0	0.0	3.0	0.0
Ene	0.0	0.0	-3.1	12.1	19.2	0.0	0.0	14.3	0.0
Feb	0.0	0.0	-5.9	13.8	15.9	0.0	0.0	21.4	0.0
Mar	0.0	0.0	-1.5	49.4	20.7	28.7	5.2	23.5	23.5
Abr	0.0	0.0	-2.6	67.2	25.3	41.9	41.9	0.0	0.0
May	0.0	0.0	-5.3	99.7	21.8	77.9	77.9	0.0	0.0
Jun	0.0	0.0	-2.5	132.7	9.5	123.2	123.2	0.0	0.0
Jul	0.0	0.0	1.2	159.1	5.2	153.9	153.9	0.0	0.0
Ago	0.0	0.0	0.9	144.1	7.9	136.2	136.2	0.0	0.0
Sep	0.0	0.0	-2.5	110.0	48.8	61.2	61.2	0.0	0.0
Año	0.0	0.0	-18.7	919.5	276.7	666.3	642.8	-	23.5

Comparación de riego (mm)			
Mes	Actual	Cercano	Lejano
Oct	38.5	36.6	47.3
Nov	7.7	6.7	7.0
Dic	0.0	0.0	0.0
Ene	0.0	0.0	0.0
Feb	0.0	0.0	0.0
Mar	0.0	5.2	11.7
Abr	36.0	41.9	50.8
May	73.1	77.9	86.1
Jun	120.7	123.2	129.5
Jul	155.0	153.9	156.8
Ago	137.1	136.2	140.1
Sep	59.1	61.2	68.4
Año	627.2	642.8	697.7
	2%	11%	

Clima futuro lejano (2070-2100)									
Anomalías			Resultados mensuales				Humedad del suelo		
Mes	T. mínima	T. máxima	Precipit.	Etc	Eff.Rain	Wat. Req.	Riego	Hi	ESW
	°C	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Oct	0.0	0.0	-10.3	81.9	34.6	47.3	47.3	0.0	0.0
Nov	0.0	0.0	0.5	38.5	34.3	7.0	7.0	0.0	0.0
Dic	0.0	0.0	-8.1	11.0	16.5	0.0	0.0	2.8	0.0
Ene	0.0	0.0	-3.0	12.1	19.4	0.0	0.0	8.3	0.0
Feb	0.0	0.0	-4.1	13.8	17.5	0.0	0.0	15.6	0.0
Mar	0.0	0.0	-3.9	49.4	18.4	31.0	11.7	19.3	19.3
Abr	0.0	0.0	-12.1	67.2	16.4	50.8	50.8	0.0	0.0
May	0.0	0.0	-14.0	99.7	13.6	86.1	86.1	0.0	0.0
Jun	0.0	0.0	-8.9	132.7	3.2	129.5	129.5	0.0	0.0
Jul	0.0	0.0	-1.8	159.1	2.3	156.8	156.8	0.0	0.0
Ago	0.0	0.0	-3.2	144.1	4.0	140.1	140.1	0.0	0.0
Sep	0.0	0.0	-11.2	110.0	41.6	68.4	68.4	0.0	0.0
Año	0.0	0.0	-79.0	919.5	221.8	717.0	697.7	-	19.3

Reducción conductancia 50%

