Estudio de adaptación a los riesgos del cambio climático en la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Tajo

MEMORIA

Febrero de 2026

Confederación Hidrográfica del Tajo

Índice

Pagina

0. Documento de síntesis 1
0.1 Resumen del marco general 1
0.2 Caracterización climática de la demarcación 2
0.3 Escenarios de cambio climático 3
0.4 Impactos potenciales del cambio climático en la demarcación 4
0.5 Evaluación y evolución del riesgo 5
0.6 Medidas de adaptación al cambio climático 6
0.7 Conclusiones y recomendaciones 7

1. Introducción 9
1.1 Marco físico y administrativo de la demarcación 11
1.2 Estado del medio ambiente hídrico en la demarcación 12
1.3 Normativa europea y española de agua y clima 13
1.4 Estrategia de adaptación al cambio climático de la Unión Europea 14
1.5 La estrategia española de adaptación al cambio climático 15
1.6 El cambio climático en la planificación hidrológica 16

2. Caracterización climática e hidrológica de la demarcación 19
2.1 Evolución de los tipos climáticos 21
2.2 Cambios observados en el régimen térmico y pluviométrico 22
2.3 Cambios observados en la incidencia de los episodios extremos 23
2.4 El ciclo hidrológico 24
2.5 Régimen de temperatura (medianas) 25
2.6 Régimen de temperatura (máximas) 26
2.7 Evapotranspiración potencial 27
2.8 Régimen de precipitaciones 28
2.9 Régimen nival 29
2.10 Humedad del suelo 30
2.11 Infiltración 31
2.12 Estrés hídrico 32
2.13 Evapotranspiración real 33
2.14 Escorrentía subterránea 34
2.15 Escorrentía superficial 35
2.16 Aportaciones totales 36
2.17 Precipitaciones máximas diarias (AdapteCCa) 37

2.18 Precipitaciones máximas diarias (CAUMAX) 38
2.19 Caudales máximos 39
2.20 Sequía prolongada y escasez coyuntural 40

3. Escenarios de cambio climático 41
3.1 Descripción de los escenarios climáticos 43
3.2 Definición del escenario hidrometeorológico más probable 44
3.3 Cambios proyectados en el régimen térmico y pluviométrico 45
3.4 Cambios proyectados en la incidencia de fenómenos extremos 46
3.5 Tipos climáticos 47
3.6 Régimen térmico - escenario intermedio (SSP2-4.5) 48
3.7 Régimen térmico - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 49
3.8 Régimen pluviométrico – escenario intermedio (SSP2-4.5) 50
3.9 Régimen pluviométrico - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 51
3.10 Evapotranspiración potencial – escenario intermedio (SSP2-4.5) 52
3.11 Evapotranspiración potencial - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 53
3.12 Infiltración – escenario intermedio (SSP2-4.5) 54
3.13 Infiltración - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 55
3.14 Régimen nival – escenario intermedio (SSP2-4.5) 56
3.15 Régimen nival - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 57
3.16 Evapotranspiración real – escenario intermedio (SSP2-4.5) 58
3.17 Evapotranspiración real - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 59
3.18 Aportaciones totales – escenario intermedio (SSP2-4.5) 60
3.19 Aportaciones totales - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 61
3.20 Incertidumbres sobre la evolución futura de los máximos de precipitación 62
3.21 Precipitación máxima diaria (CEDEX) – escenario intermedio (SSP2-4.5) 63
3.22 Precipitación máxima diaria (CEDEX) - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 64
3.23 Precipitación máxima acumulada en la red fluvial 65
3.24 Precipitación máxima diaria (AdapteCCa) – escenario intermedio (SSP2-4.5) 66
3.25 Precipitación máxima diaria (AdapteCCa) - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 67
3.26 Cambio en la frecuencia y magnitud de las sequias 68
3.27 Evolución de la aridez 69

4. Impactos y riesgos asociados al cambio climático 70
4.1 Marco conceptual para la consideración de peligros, riesgos e impactos 71
4.2 Marco metodológico para la evaluación de riesgos: el ciclo de adaptación en la planificación hidrológica 72
4.3 Distinción de peligros, riesgos e impactos 73
4.4 Peligros climáticos y consecuencias para el ciclo hidrológico 74

4.5 Determinación de las amenazas climáticas clave 75
4.6 Catalogación de impactos y riesgos 76
4.7 Lista de impactos relevantes para la planificación hidrológica 77
4.8 Determinación de los impactos potenciales clave 78

5. Referencias nacionales de evaluación de impactos y riesgos del cambio climático 79
5.1 ERICC. RC2.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración 80
5.2 ERICC. RC2.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales (sector agua y recursos hídricos) 81
5.3 ERICC. RC2.3. Reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad para usos y demandas 82
5.4 ERICC. RC3.2. Riesgo de declive poblacional y extinciones en ecosistemas acuáticos por alteraciones en variables climáticas 83
5.5 Estudios sobre el efecto del cambio climático en la biodiversidad terrestre 84
5.6 Estudios sobre el efecto del cambio climático en los ecosistemas acuáticos 85
5.7 Estrategia nacional de lucha contra la desertificación 86
5.8 Evaluación de los efectos del cambio climático sobre las demandas de agua en regadíos (ECLIMAR) 87

6. Evaluación de riesgos asociados al cambio climático 88
6.1 Adecuación de los impactos potenciales clave a las obligaciones normativas y al marco ERICC 89
6.2 Fuentes de datos para la evaluación de riesgos 90
6.3 Esquema operativo general para la evaluación de riesgos 92
6.4 Limitaciones metodológicas 93
6.5 SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales (DMA) 94
6.6 SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales - Escenario intermedio (SSP2-4.5) 95
6.7 SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 96
6.8 SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales – Análisis por sistema de explotación 97
6.9 GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA) 98
6.10 GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA) - Escenario intermedio (SSP2-4.5) 99
6.11 GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA) - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 100
6.12 GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA) – Análisis por sistema de explotación 101
6.13 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos 102
6.14 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Pérdida de hábitat para especies de aguas frías 103
6.15 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Reducción de oxígeno 104
6.16 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Afección a macroinvertebrados 105
6.17 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Análisis por sistema de explotación: Pérdida de hábitat para especies de aguas frías 106
6.18 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Análisis por sistema de explotación: Reducción en la concentración de oxígeno disuelto 107
6.19 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Análisis por sistema de explotación: Afección a macroinvertebrados 108
6.20 ECS8. Incremento de la sedimentación en embalses y cauces 109
6.21 ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada 110
6.22 ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada – Escenario intermedio (SSP2-4.5) 111

6.23 ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada – Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 112
6.24 ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada – Análisis por sistema de explotación 113
6.25 ECS10 / ECS11. La evaluación del riesgo de inundación en España 114
6.26 ECS10. Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales: población y actividad económica 115
6.27 ECS10. Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales: áreas ambientales y puntos de especial importancia 116
6.28 ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima 117
6.29 ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima – Escenario intermedio (SSP2-4.5) 118
6.30 ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima – Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 119
6.31 ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima - Análisis por sistema de explotación 120
6.32 AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento 121
6.33 AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento – Escenario intermedio (SSP2-4.5) 122
6.34 AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 123
6.35 AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento - Análisis por sistema de explotación 124
6.36 AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío 125
6.37 AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío - Escenario Intermedio (SSP2-4.5) 126
6.38 AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 127
6.39 AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío - Análisis por sistema de explotación 128
6.40 EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica 129
6.41 EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica - Escenario intermedio (SSP2-4.5) 130
6.42 EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) 131
6.43 EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica - Análisis por sistema de explotación 132

7. Medidas de Adaptación 133
7.1 Caracterización general de medidas de adaptación 135
7.2 Selección de medidas para caracterización detallada 136
7.3 RD1. Eficiencia y gestión de la demanda en regadío 137
7.4 RD2. Ajuste de sistemas productivos agrarios al nuevo régimen climático 138
7.5 RD3. Eficiencia y gestión de la demanda en usos urbanos 139
7.6 RD4. Reutilización avanzada del agua depurada 140
7.7 RD6. Gestión sostenible de acuíferos (recarga y explotación conjunta) 141
7.8 FE1. Soluciones basadas en la naturaleza para retención natural de agua y control de erosión 142
7.9 FE2. Gestión forestal sensible al agua y al riesgo de incendios 143
7.10 FE3. Servicios climáticos y gobernanza adaptativa para sequías e inundaciones 144
7.11 FE4. Diseño urbano sensible al agua y al clima 145
7.12 IT1. Restauración de bosques de ribera y creación de refugios térmicos 146
7.13 IT2. Gestión de la calidad del agua frente al calentamiento y menor dilución 147
7.14 OT1. Seguimiento y gestión adaptativa de la biodiversidad acuática 148
7.15 OT3. Movilización y gestión de sedimentos en embalses y cauces 149

7.16 Integración del EACC en el ciclo de planificación hidrológica 150

8. Referencias 151

ANEJOS 161

Anejo 1. Resumen del marco normativo y de las estrategias de adaptación al cambio climático de ámbito autonómico 162
Anejo 2. Notas metodológicas sobre el tratamiento de los datos hidrológicos y climáticos 199
Anejo 3. Identificación de riesgos e impactos relevantes para la planificación hidrológica 205
Anejo 4. Caracterización de impactos (fichas) 217
Anejo 5. Selección de riesgos - clave 273
Anejo 6. Indicadores de exposición y vulnerabilidad 313

Índice de figuras

Figura 1. Componentes que definen el riesgo derivado del cambio climático. Fuente: PNACC, tomado de IPCC 2014 1
Figura 2. Variables atmosféricas e hidrológicas en el periodo 1980/81 – 2022/23. Fuente: SIMPA 2
Figura 3. Evolución de la escorrentía total bajo los escenarios y horizontes de análisis 3
Figura 4. Principales familias de impactos 4
Figura 5. Riesgo ECS8. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad y Mapa de situación (periodo 1980/81 – 2022/23) 5
Figura 6. Densidad de población (2024) 11
Figura 7. Superficies regadas (2021) 11
Figura 8. Principales infraestructuras hidráulicas 11
Figura 9. Depuración y saneamiento 11
Figura 10. Estado ecológico de las masas de agua superficial 12
Figura 11. Estado químico de las masas de agua superficial 12
Figura 12. Estado cuantitativo de las masas de agua subterránea 12
Figura 13. Estado químico de las masas de agua subterránea 12
Figura 14. Tipos de clima y su evolución en el periodo 1950 y 2010 21
Figura 15. Tendencia observada en la temperatura media anual (periodo 1961-2015). 22
Figura 16. Tendencia observada en la precipitación media anual (periodo 1961-2015) 22
Figura 17. Síntesis de la evaluación del cambio observado y del nivel de confianza en la contribución humana a los cambios observados en las regiones del mundo (desde 1950). La región que engloba España corresponde al hexágono MED (*Mediterránea*). Fuente: IPCC AR6 23
Figura 18. Tendencias en la frecuencia de sequías meteorológicas en Europa durante el período 1950–2015. Fuente: AEMA 2021. 23
Figura 19. Esquema del ciclo hidrológico. Fuente: United States Geological Survey 24
Figura 20. Simulación del ciclo hidrológico mediante el modelo SIMPA 24
Figura 21. Caracterización espacial y temporal de la temperatura mediana. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX). 25
Figura 22. Caracterización espacial y temporal de la temperatura máxima. Comparación entre los periodos 1950/51–1979/80 y 1980/81–2020/21. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Adaptecca 26
Figura 23. Caracterización espacial y temporal de la evapotranspiración potencial. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX). 27
Figura 24. Caracterización espacial y temporal de la precipitación. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX). 28
Figura 25. Caracterización espacial y temporal de la precipitación. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX). 29
Figura 26. Caracterización espacial y temporal de la humedad en el suelo. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX). 30
Figura 27. Caracterización espacial y temporal de la infiltración. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX). 31

Figura 28. Caracterización espacial y temporal del déficit. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX). 32
Figura 29. Caracterización espacial y temporal de la evapotranspiración real. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX). 33
Figura 30. Caracterización espacial y temporal de la escorrentía subterránea. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX). 34
Figura 31. Caracterización espacial y temporal de la escorrentía superficial. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX). 35
Figura 32. Caracterización espacial y temporal de la aportación. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX). 36
Figura 33. Caracterización espacial y temporal de la aportación. Comparación entre los periodos 1952/53–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de AdapteCCa. 37
Figura 34. Caracterización espacial de las precipitaciones máximas diarias para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años. Fuente: CAUMAX, 2014. 38
Figura 35. Caracterización espacial de los caudales máximos para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años. Fuente: CAUMAX, 2014. 39
Figura 36. Evaluación del porcentaje de tiempo en sequía prolongada y niveles de escasez coyuntural. Fuente: elaboración a partir de los informes mensuales de seguimiento de los PES y revisión del PES 2025. 40
Figura 37. Representación de la cadena causa-efecto embebida en los SSP. Fuente: AR6 43
Figura 38. Δ (%) ESC anual para 2030-2060 según el conjunto de las proyecciones. Arriba: media para cada SSP; medio: media y rango para ambos SSP; abajo: valores mínimos y máximos de cambio para ambos SSP. Fuente: «Nota técnica sobre la propuesta de incorporación del cambio climático en los planes hidrológicos del cuarto ciclo» (CEDEX 2025) 44
Figura 39. Cambio a medio y largo plazo de la temperatura media anual en superficie Fuente AR6 45
Figura 40. Tendencia en la temperatura media anual en Europa bajo diferentes escenarios climáticos. Fuente: AEMA 45
Figura 41. Cambio a largo plazo de la precipitación media estacional. Fuente AR6. DJF:diciembre-enero-febrero; JJA: junio-julio-agosto 45
Figura 42. Tendencias en la precipitación. Fuente: AEMA 45
Figura 43. Evolución de los fenómenos extremos en intensidad y frecuencia 46
Figura 44. Tasas de cambio en cuantil medias para precipitación diaria máxima anual ; modelo GEV-L en RCP 8.5. Fuenta: CEDEX 46
Figura 45. Variación de tipos climáticos bajo los escenarios intermedio (SSP2-4.5) y de altas emisiones (SSP5 8.5) para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100. Fuente: AEMET 47
Figura 46. Variación de las temperaturas máximas proyectadas bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, en comparación con el periodo de control 1971-2000. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Adaptecca. 48
Figura 47. Variación de las temperaturas máximas proyectadas bajo el escenario pesimista de emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, en comparación con el periodo de control 1971-2000. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Adaptecca. 49
Figura 48. Variación de la precipitación proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025. 50
Figura 49. Variación de la precipitación proyectada bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025. 51
Figura 50. Variación de la evapotranspiración potencial proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025. 52
Figura 51. Variación de la evapotranspiración potencial proyectada bajo el escenario pesimista de emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025. 53

Figura 52. Variación de la infiltración proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025. 54
Figura 53. Variación de la infiltración proyectada bajo el escenario pesimista de emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025. 55
Figura 54. Variación del volumen de nieve almacenado proyectado bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025. 56
Figura 55. Variación del volumen de nieve almacenado proyectado bajo el escenario pesimista de emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025. 57
Figura 56. Variación de la evapotranspiración real proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025. 58
Figura 57. Variación de la evapotranspiración real proyectada bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025. 59
Figura 58. Variación de las aportaciones totales proyectadas bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025. 60
Figura 59. Variación de las aportaciones totales proyectadas bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025. 61
Figura 60. Tasa de cambio de la precipitación diaria máxima anual proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5) para los horizontes temporales 2011 2040, 2041 2070 y 2071 2100, y para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, calculada respecto al periodo de control (1971-2000). Fuente: elaboración propia a partir de información del CEDEX. 63
Figura 61. Tasa de cambio de la precipitación diaria máxima anual proyectada bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) (RCP 8.5) para los horizontes temporales 2011 2040, 2041 2070 y 2071 2100, y para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, calculada respecto al periodo de control (1971-2000). Fuente: elaboración propia a partir de información del CEDEX 64
Figura 62. Tasa de cambio de la precipitación máxima acumulada en la red fluvial proyectada bajo los escenarios medio (RCP 4.5) y pesimista (RCP 8.5) de emisiones para el horizonte temporal 2041 2070, y para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, calculada respecto al periodo de control (1971-2000). Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX 65
Figura 63. Variación de las precipitaciones máximas diarias proyectadas bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, en comparación con el periodo de control 1971-2000. Fuente: elaboración propia a partir de información de Adaptecca 66
Figura 64. Variación de las precipitaciones máximas diarias proyectadas bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, en comparación con el periodo de control 1971-2000. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Adaptecca. 67
Figura 65. Periodo de retorno de sequías en España para diferentes déficits medios anuales y duración 2 años (izquierda) y 5 años (derecha) para el periodo de control (1961-200) y tres peridodos futuros (2010–2040, 2040–2070 y 2070–2100) con el escenario climático intermedio (RCP 4.5) 68
Figura 66. Periodo de retorno de sequías en España para diferentes déficits medios anuales y duración 2 años (izqierda) y 5 años (derecha) para el periodo de control (1961-200) y tres peridodos futuros (2010–2040, 2040–2070 y 2070–2100) con el escenario climático de altas emisisones (RCP 8.5) 68
Figura 67. Variación del índice de aridez para diversos horizontes temporales y escenarios climáticos. Fuente: elaboración propia a partir de proyecciones SIMPA (CEDEX) 69
Figura 68. Marco conceptual para la evaluación del riesgo. (IPCC WGII AR5, 2014). 71
Figura 69. Marco conceptual del riesgo en el AR6. (IPCC WGII AR6, 2022). 71
Figura 70. Los seis pasos del modelo RAST. Fuente: Climate-Adapt 72
Figura 71. Esquema para la evaluación de los riesgos climáticos. Fuente OECC 2023 72
Figura 72. Esquema de componentes de los riesgos asociados al cambio climático (OECC 2023), adaptado de Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook (GIZ, 2017) 73
Figura 73. Respuestas físicas primarias del sistema climático. Fuente: elaboración propia 74
Figura 74. Relaciones funcionales entre los peligros climáticos. Fuente: elaboración propia 74
Figura 75. Catalogación de impactos potenciales 76

Figura 76. Ejemplo de ficha de distribución actual y bajo escenarios de cambio climático (*Hyla arborea*) 84
Figura 77. Visor de resultados de la red de seguimiento del efecto del cambio climático en ríos (CCR) 85
Figura 78. Distribución espacial de los niveles de erosión hídrica (INES, 2019) como factor clave en la degradación del suelo y en la presión sobre el ciclo hidrológico (escorrentía, recarga, sedimentos y calidad del agua) 86
Figura 79. Zonas de estudio del proyecto ECLIMAR 87
Figura 80. Río Tajo a su paso por Talavera de la Reina. A la izquierda imagen del vuelo americano (1956-1957) y a la derecha ortofoto del PNOA 2023 observando la expansión urbanística. Fuente: IGN. 93
Figura 81. Riesgo SW7. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad 94
Figura 82. Riesgo SW7: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23) 94
Figura 83. Evaluación del riesgo SW7 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual. 95
Figura 84. Evaluación del riesgo SW7 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual. 96
Figura 85. Trayectoria temporal del riesgo SW7 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5). 97
Figura 86. Trayectoria temporal del riesgo SW7 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5). 97
Figura 87. Riesgo GW3. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad adaptativa) 98
Figura 88. Riesgo GW3: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23) 98
Figura 89. Evaluación del riesgo GW3 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual. 99
Figura 90. Evaluación del riesgo GW3 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual. 100
Figura 91. Trayectoria temporal del riesgo GW3 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5). 101
Figura 92. Trayectoria temporal del riesgo GW3 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5). 101
Figura 93. Riesgo ECS2. Mapas de Exposición: hábitat potencial calculado con el límite termal de 21.8 ºC y adaptación de la presencia de la Trucha común a las masas de agua superficiales (Atlas y Libro Rojo de los Peces, MMA, 2001). Mapa de la estimación de la concentración de oxígeno disuelto en agua (mgO2/l) calculada en función de la temperatura y la altitud en el mes de agosto. Mapa de Vulnerabilidad en base a la vegetación de ribera mediante el índice QBR y el valor de referencia del ecotipo. 102
Figura 94. Evaluación del riesgo ECS2 proyectado bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, para los horizontes temporales 2010-2040, 2040-2070 y 2070/2100. Riesgo de pérdida de hábitat para especies de aguas frías. 103
Figura 95. Evaluación del riesgo ECS2 proyectado bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, para los horizontes temporales 2010-2040, 2040-2070 y 2070/2100. Riesgo de reducción de oxígeno. ..104
Figura 96. Evaluación del riesgo ECS2 proyectado bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, para los horizontes temporales 2010-2040, 2040-2070 y 2070/2100. Riesgo de afección a macroinvertebrados. 105
Figura 97. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-AF promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (RCP 4.5). 106
Figura 98. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-AF promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (RCP 8.5). 106
Figura 99. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-O2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (RCP 4.5) 107
Figura 100. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-O2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (RCP 8.5). 107
Figura 101. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-IN promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (RCP 4.5). 108
Figura 102. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-IN promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (RCP 8.5). 108
Figura 103. Riesgo ECS8. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad 109

Figura 104. Riesgo ECS8: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23) 109
Figura 105. Riesgo ECS9. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad 110
Figura 106. Riesgo ECS9: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23) 110
Figura 107. Evaluación del riesgo ECS9 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual. 111
Figura 108. Evaluación del riesgo ECS9 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual. 112
Figura 109. Trayectoria temporal del riesgo ECS9 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5). 113
Figura 110. Trayectoria temporal del riesgo ECS9 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5). 113
Figura 111. Mapas de riesgo por inundaciones de origen fluvial para la población (arriba) y actividad económica (debajo). Periodos de retorno T= 10, 100 y 500. Fuente SNCZI 115
Figura 112. Mapas de riesgo por inundaciones de origen fluvial para áreas de importancia ambiental (arriba) y puntos de especial importancia (debajo). Periodos de retorno T= 10, 100 y 500. Fuente SNCZI 116
Figura 113. Riesgo ECS13. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad 117
Figura 114. Riesgo ECS13: Mapa de situación actual (periodo 1971 – 2005) 117
Figura 115. Evaluación del riesgo ECS13 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2028/2058, 2048/2078 y 2068/2098 respecto a la situación de riesgo actual. 118
Figura 116. Evaluación del riesgo ECS13 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2028/2058, 2048/2078 y 2068/2098 respecto a la situación de riesgo actual. 119
Figura 117. Trayectoria temporal del riesgo ECS13 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5). 120
Figura 118. Trayectoria temporal del riesgo ECS13 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5). 120
Figura 119. Riesgo AU1. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad 121
Figura 120. Riesgo AU1: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23) 121
Figura 121. Evaluación del riesgo AU1 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual. 122
Figura 122. Evaluación del riesgo AU1 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual. 123
Figura 123. Trayectoria temporal del riesgo AU1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5). 124
Figura 124. Trayectoria temporal del riesgo AU1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5). 124
Figura 125. Riesgo AG2. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad 125
Figura 126. Riesgo AG2: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23) 125
Figura 127. Evaluación del riesgo AG2 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual. 126
Figura 128. Evaluación del riesgo AG2 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual. 127
Figura 129. Trayectoria temporal del riesgo AG2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5). 128
Figura 130. Trayectoria temporal del riesgo AG2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5). 128
Figura 131. Riesgo EI1. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad 129
Figura 132. Riesgo EI1: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23) 129

Figura 133. Evaluación del riesgo EI1 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual. 130
Figura 134. Evaluación del riesgo EI1 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual. 131
Figura 135. Trayectoria temporal del riesgo EI1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5). 132
Figura 136. Trayectoria temporal del riesgo EI1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5). 132

0. Documento de síntesis

Resumen del marco general

Caracterización climática de la demarcación

Escenarios de cambio climático

Impactos potenciales del cambio climático en la demarcación

Evaluación y evolución del riesgo

Medidas de adaptación al cambio climático

Conclusiones y recomendaciones

0.1 Resumen del marco general

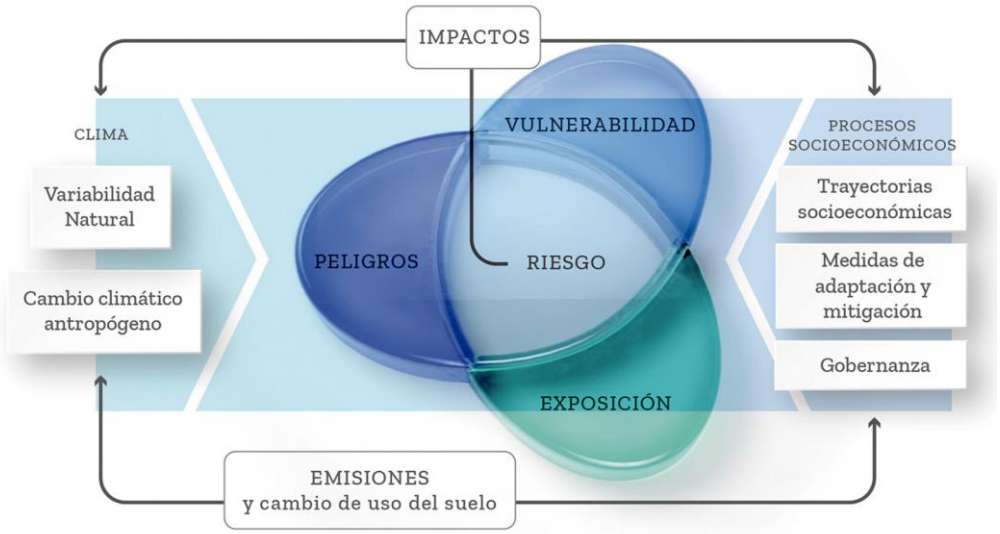


Figura 1. Componentes que definen el riesgo derivado del cambio climático. Fuente: PNACC, tomado de IPCC 2014

El Estudio de adaptación a los riesgos del cambio climático (EACC) en la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Tajo (DH Tajo) forma parte de los estudios previstos en el art. 4 bis del Reglamento de la Planificación Hidrológica (RPH). Su objetivo es identificar y valorar los principales riesgos climáticos que afectan a las masas de agua, los ecosistemas asociados y los usos del agua en la demarcación, y proponer líneas de adaptación que puedan integrarse de forma coherente en el Programa de Medidas (PdM) de los planes hidrológicos, en los Planes Especiales de Sequía (PES) y en los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI).

El marco europeo combina la Ley Europea del Clima, la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático y la Estrategia de Resiliencia Hídrica, que sitúan el agua en el centro de la adaptación frente a sequías, inundaciones y contaminación, impulsando las inversiones *a prueba de clima* y las soluciones basadas en la naturaleza. Sobre esa base, la Directiva Marco del Agua (DMA) y la Directiva de Inundaciones (DI) siguen siendo el eje sobre el que pivota el acervo comunitario en materia de gestión hídrica, reforzado por normativa sectorial (reutilización, aguas de consumo, aguas residuales, aguas subterráneas, protección de la naturaleza y del medio marino).

En España, la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética y el propio RPH hacen jurídicamente obligatoria la integración de la adaptación en la planificación hidrológica. El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (PNACC) y las Orientaciones Estratégicas sobre Agua y Cambio Climático (OEACC) fijan el marco programático: reducir vulnerabilidades, asegurar la resiliencia hídrica y generalizar la adaptación como eje de la política del agua. El informe «Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España» (ERICC) aporta la referencia nacional sobre riesgos climáticos clave, metodologías y prioridades de actuación.

Metodológicamente, el EACC adopta el marco conceptual considerado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC), introducido en el Quinto Informe de Evaluación (*Assessment Report* 5, AR5) y reforzado en su sucesor, el AR6. Según este modelo, el riesgo climático se define como resultado de la interacción entre peligros (amenazas climáticas), exposición y vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos (Figura 1). Este esquema se concreta mediante las guías para evaluación de riesgos de la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) y se aplica al caso de la DH Tajo combinando información climática regionalizada, modelización hidrológica y análisis específico de exposición y vulnerabilidad por componentes ambientales y sectores.

El capítulo 1 sintetiza el marco físico y administrativo de la demarcación, la situación ambiental, y el entorno normativo y estratégico. Los capítulos 2 y 3 abordan, respectivamente, la caracterización climática e hidrológica observadas, y la esperada a la luz de los escenarios climáticos. El capítulo 4 se ocupa de la identificación y análisis de amenazas e impactos relevantes para el sector del agua. El capítulo 5 presenta el ERICC y otras referencias técnicas como fuente de conocimiento de la exposición y vulnerabilidad climáticas. El capítulo 6 aborda, finalmente, la evaluación del riesgo bajo distintos horizontes temporales y escenarios, mediante una aplicación operativa del modelo IPCC. Finalmente, el capítulo 7 propone un paquete de medidas conformado para la mitigación de los riesgos climáticos hacia el logro de los objetivos de la planificación hidrológica.

El EACC se concibe como una herramienta técnica al servicio de la planificación hidrológica y de la cooperación entre la Confederación Hidrográfica del Tajo (CH Tajo), las Comunidades Autónomas y el resto de los agentes implicados, y como un punto de partida que deberá actualizarse y perfeccionarse en cada ciclo de planificación hidrológica, a medida que avance el conocimiento, se refuercen los sistemas de seguimiento y se desplieguen las políticas de adaptación en la demarcación.

0.2 Caracterización climática de la demarcación

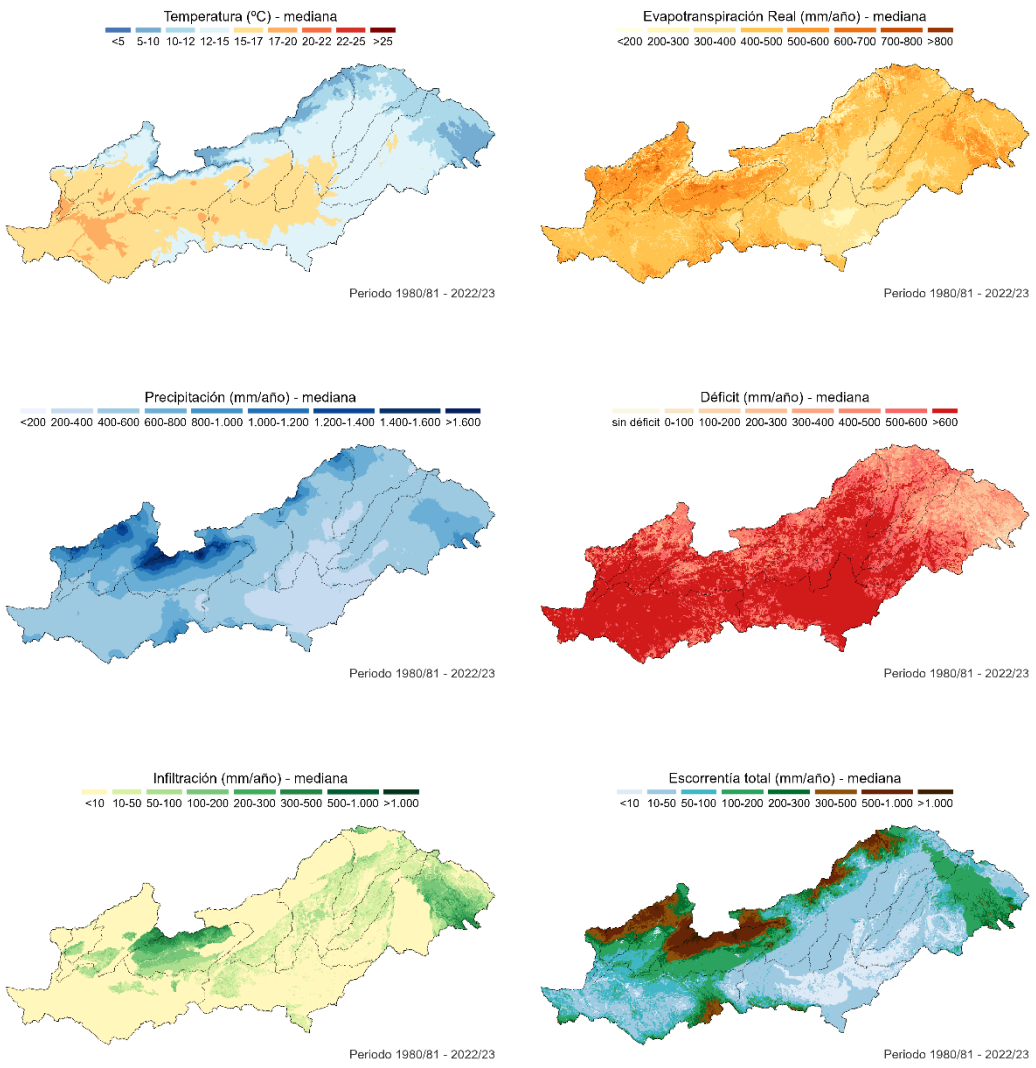


Figura 2. Variables atmosféricas e hidrológicas en el periodo 1980/81 – 2022/23. Fuente: SIMPA

El capítulo 2 sintetiza las señales climáticas e hidrológicas observadas en la DH Tajo, y aporta el contexto necesario para interpretar los escenarios futuros y los riesgos. Se basa, fundamentalmente, en las simulaciones realizadas con el modelo distribuido SIMPA del CEDEX para el periodo 1940/41 - 2023/2024, traducidas en una colección de mapas representativos de las diversas componentes del ciclo hidrológico.

El clima de la demarcación se encuadra en 5 tipos climáticos principales, con un gradiente espacial marcado por la altitud. En las últimas décadas, se observa un aumento de la temperatura coherente con la señal regional, más acusado en primavera, y descensos en la precipitación, con diferencias notables entre subzonas (36 332 hm³ (651 mm) de precipitación mediana para el periodo 1940-1979, mientras que en el periodo 1980-2022 es de 32 073 hm³ (575 mm), 4 259 hm³ (76 mm) menos en el último periodo, lo que supone un 11,72% menos).

Más allá del promedio, el análisis de extremos muestra señales relevantes para la planificación: (i) sequías más frecuentes o intensas en sistemas y (ii) episodios de lluvia intensa/avenidas concentrados en zonas, que condicionan el riesgo por inundación y la gestión operativa (en el caso de escasez, la UTE Tajuña cuenta con un 40% del tiempo en escenario de alerta/emergencia y todas las UTS del Tajo se encuentran entre el 10 y el 20% del tiempo en sequía prolongada, para el periodo 1980-2022).

Los cambios atmosféricos se propagan al ciclo hidrológico alterando evapotranspiración, humedad del suelo, infiltración/recarga, escorrentía superficial y subterránea y, en último término, las aportaciones a la red fluvial. En las subcuencas con nieve, la reducción de la innivación y el adelanto del deshielo tienden a desplazar la estacionalidad de caudales; el aumento de la evapotranspiración y la irregularidad pluviométrica refuerzan la tensión estival (la aportación mediana en el Tajo para el periodo 1940-1979 es de 10 368 hm³, mientras que para el periodo 1980-2022 es de 7 172 hm³, 3 195 hm³ y un 30,82% menos que el anterior periodo).

En conjunto, esta caracterización permite constatar la ocurrencia del cambio y establece la línea de base sobre la que se interpretan los escenarios de cambio climático y se priorizan riesgos y medidas en el resto del EACC.

0.3 Escenarios de cambio climático

El capítulo 3 expone los escenarios climáticos y los horizontes temporales utilizados para aproximar los riesgos climáticos primarios que enfrenta la DH Tajo, en coherencia con las guías nacionales y la práctica consolidada internacionalmente.

Los escenarios del IPCC AR6 combinan hipótesis socioeconómicas (*Shared Socioeconomic Pathways,* SSP) y trayectorias de emisiones / forzamiento, herederas de las anteriores *Representative Concentration Paths* (RCP). Esto permite describir futuros alternativos tanto en lo que se refiere a la evolución del clima como al contexto económico y los factores que lo determinan. En este EACC se emplean prioritariamente dos escenarios para acotar el rango plausible de cambios proyectados:

- SSP2-4.5 (escenario intermedio), como referencia de cambio climático moderado.
- SSP5-8.5 (altas emisiones), como referencia de un cambio climático acusado.

Los análisis evalúan tres ventanas futuras de 30 años: 2030–2060 (horizonte cercano), 2050–2080 (futuro medio) y [H3] 2070–2100 (futuro lejano). Se recomienda mantener ventanas de 30 años porque estabilizan la variabilidad interanual y hacen más robusta la lectura de tendencias. En este 4º ciclo, el CEDEX ha realizado un ejercicio específico de proyección basado en 11 modelos generales de clima (*General Climate Model*, GCM) tomando el periodo 1980/81 – 2009/10 como periodo de control.

En coherencia con las guías nacionales, el escenario hidrometeorológico más probable se vincula al escenario SSP2-4.5 y al segundo horizonte temporal del plan, año 2045 (ventana 2031–2060) como referencia para balances (art. 21.4 del RPH) sin excluir el contraste con SSP5-8.5 para estrés y robustez de medidas.

Los resultados se presentan como tasas de cambio (Δ) para: componentes atmosféricas (temperatura, precipitación, ETP), procesos hidrológicos terrestres (humedad del suelo, infiltración, nieve, evapotranspiración real, escorrentía / aportaciones) y, de forma informativa, otras variables indicativas de fenómenos extremos y ascenso del nivel del mar. A título ilustrativo, la Figura 3 muestra los cambios esperados de la escorrentía total en la DH Tajo. La variación esperada para el escenario intermedio de emisiones es de -1 040,66 hm³ (-12,15%) en el futuro cercano, -999,31 hm³ (-11,66%) en el futuro medio y -1 364,1 hm³ (-15,92%) en el futuro lejano. En el escenario de altas emisiones las caídas se elevan hasta los -1 115,62 hm³ (-13,02%), -1 930,25 hm³ (-22,53%) y - 3 039,1 hm³ (-35,47%), respectivamente.

Debe reseñarse, finalmente, que la dispersión entre modelos y métodos es especialmente relevante en lo que respecta a la precipitación máxima diaria, por lo que se ha optado por eludir su empleo como base directa para cuantificar el cambio en la evaluación de riesgo futuro, a la espera de que se disponga de un tratamiento metodológico específico.

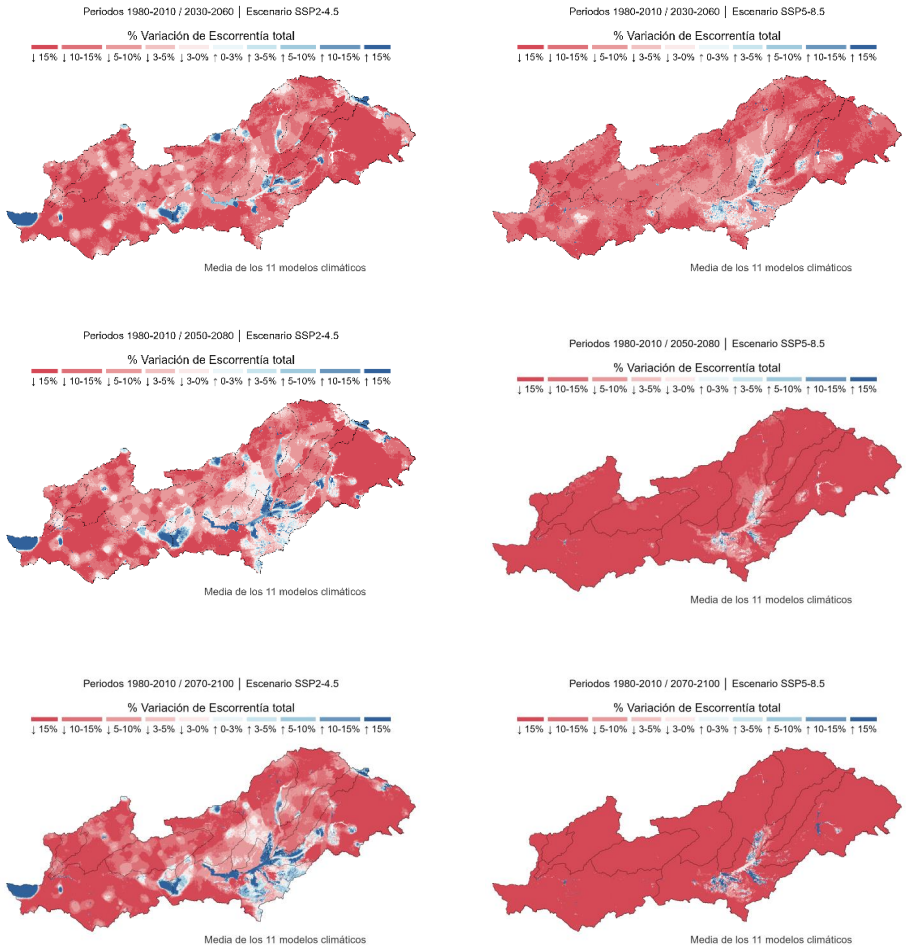


Figura 3. Evolución de la escorrentía total bajo los escenarios y horizontes de análisis

0.4 Impactos potenciales del cambio climático en la demarcación

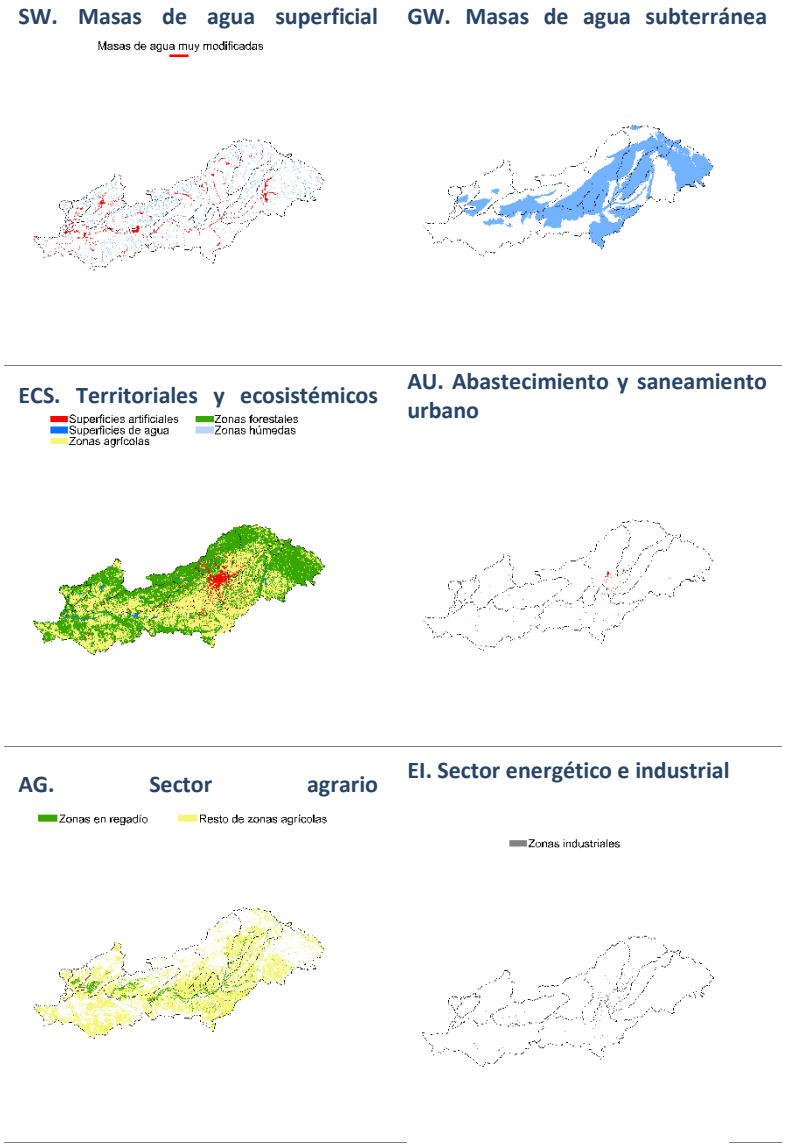


Figura 4. Principales familias de impactos

El capítulo 4 identifica y describe los impactos potenciales del cambio climático más relevantes para la DH Tajo, entendidos como efectos plausibles derivados de peligros climáticos (sequía, inundación, calentamiento, ascenso del nivel del mar), modulados por la exposición y la vulnerabilidad del territorio y de los usos del agua. Su función es ofrecer una narrativa alineada con el modelo del riesgo como intersección de Peligro-Exposición-Vulnerabilidad (PEV) de la Figura 1. El EACC adopta un criterio operativo de lista única (51 impactos / riesgos), sin perder la distinción conceptual entre ambas categorías de análisis.

La catalogación parte del mandato del RPH y la Ley 7/2021, de 20 de mayo, abordando los impactos previsibles sobre masas de agua y ecosistemas y sobre actividades socioeconómicas dependientes del agua, con atención a extremos y a la retención de sedimentos. Siguiendo las recomendaciones de la OECC 2025, los impactos potenciales se han clasificado por sectores, procediendo, posteriormente a la determinación de los más relevantes (impactos-clave) mediante análisis multicriterio, con el siguiente resultado:

Familia de impactos	Impactos - clave
Impactos sobre masas de agua y ecosistemas. Caracterizados inicialmente mediante las métricas de estado de las masas de agua. Necesitan profundización y desarrollo en futuras versiones del EACC.	
SW: Aguas superficiales	**SW7**. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales (DMA)
GW. Aguas subterráneas	**GW3**. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA)
Impactos híbridos de amplio espectro. Impactos sistémicos que afectan tanto a los servicios ecosistémicos como a la seguridad hídrica de la población y de la actividad económica	
ECS. Territoriales y ecosistémicos	**ECS8**. Incremento de la sedimentación en embalses y cauces; **ECS9**. Daños sistémicos (sociales, económicos, ambientales) por sequía prolongada; **ECS10**. Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales; **ECS13**. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima
Impactos sobre los usos del agua: abastecimiento y sectores económicos.	
AU. Abastecimiento y saneamiento urbano	**AU1**. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento
AG. Sector agrario	**AG2**. Reducción de la garantía de suministro del regadío
EI. Sectores energético e industrial	**EI1**. Disminución de la producción hidroeléctrica
RE. Usos recreativos y turismo vinculados al agua	Sin impactos - clave
AC. Acuicultura y la pesca continental	Sin impactos - clave

El portafolio se alinea, además con los peligros requeridos por el art. 4bis (extremos, variaciones hidrológicas/acuíferos, temperatura del agua, nivel del mar) y los riesgos clave ERICC.

0.5 Evaluación y evolución del riesgo

El capítulo 6 presenta la cuantificación y comparación de los niveles de riesgo asociados a los impactos potenciales priorizados, identifica áreas críticas y aproxima su evolución por horizontes y escenarios. El objetivo es disponer de una base homogénea para orientar las prioridades territoriales de acción. Previamente, el capítulo 5 resume algunas referencias nacionales de evaluación del efecto del cambio climático –con especial atención a los riesgos-clave de ERICC relevantes para EACC– con objeto de aportar información y criterio para la selección de indicadores.

Se ha articulado un algoritmo para combinar, de forma simple y operativa, las tres componentes PEV, cada una representado mediante uno o varios indicadores espacialmente continuos. Para garantizar comparabilidad entre variables heterogéneas, todas las capas se armonizan (proyección ETRS89/UTM, rasterización y resolución común) y se reclasifican en categorías ordinales, normalmente cinco (1–Muy Bajo … 5–Muy Alto) delimitadas mediante cuantiles del 20%. Así se evita que una variable domine por su escala original y se obtiene una lectura homogénea entre riesgos y demarcaciones. Adicionalmente, se aplican ponderaciones a cada componente (en principio, idénticas) y coeficientes para expresar el nivel de confianza de cada indicador o grupo de indicadores.

Para la **situación actual** se presentan: (i) mapas PEV y de riesgo final para cada impacto clave y (ii) una síntesis por sistema de explotación. Partiendo del riesgo actual, el estudio estima el **riesgo futuro** para SSP2-4.5 y SSP5-8.5 en los horizontes 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100. Para asegurar comparabilidad temporal, se mantienen los mismos umbrales de reclasificación del periodo actual y, en el cálculo futuro, se actualiza únicamente el peligro propiamente climático (P), manteniendo E y V constantes. Esto permite interpretar los resultados como cambio relativo del riesgo inducido por el clima.

El conjunto de los análisis permite apreciar una intensificación generalizada de los riesgos. Los cambios observados y proyectados apuntan a más estrés hídrico estival, aumentando la aridez de la cuenca, con efectos heterogéneos en la demarcación. Las áreas críticas se concentran en Tajo Izquierda y Jarama-Guadarrama, donde coinciden peligros climáticos y alta exposición/vulnerabilidad. Además de los riesgos clasificados como sistémicos, no puede obviarse el efecto cascada de los riesgos socioeconómicos, con serios efectos en el bienestar de la población y en el sistema de precios (energía, alimentación…).

Los resultados territorializados del EACC permitirán (i) fijar prioridades territoriales (áreas críticas o especialmente tensionadas) en las que focalizar la acción y (ii) priorizar medidas que reduzcan E (ordenación, gestión de usos, gestión de fenómenos extremos) y/o V (protocolos, redundancia, capacidad adaptativa).

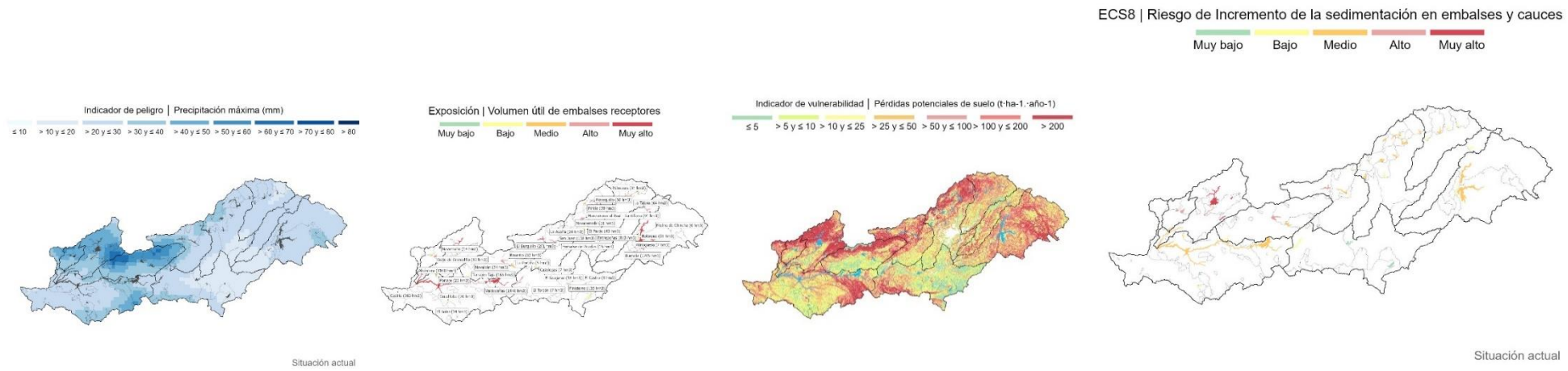


Figura 5. Riesgo ECS8. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad y Mapa de situación (periodo 1980/81 – 2022/23)

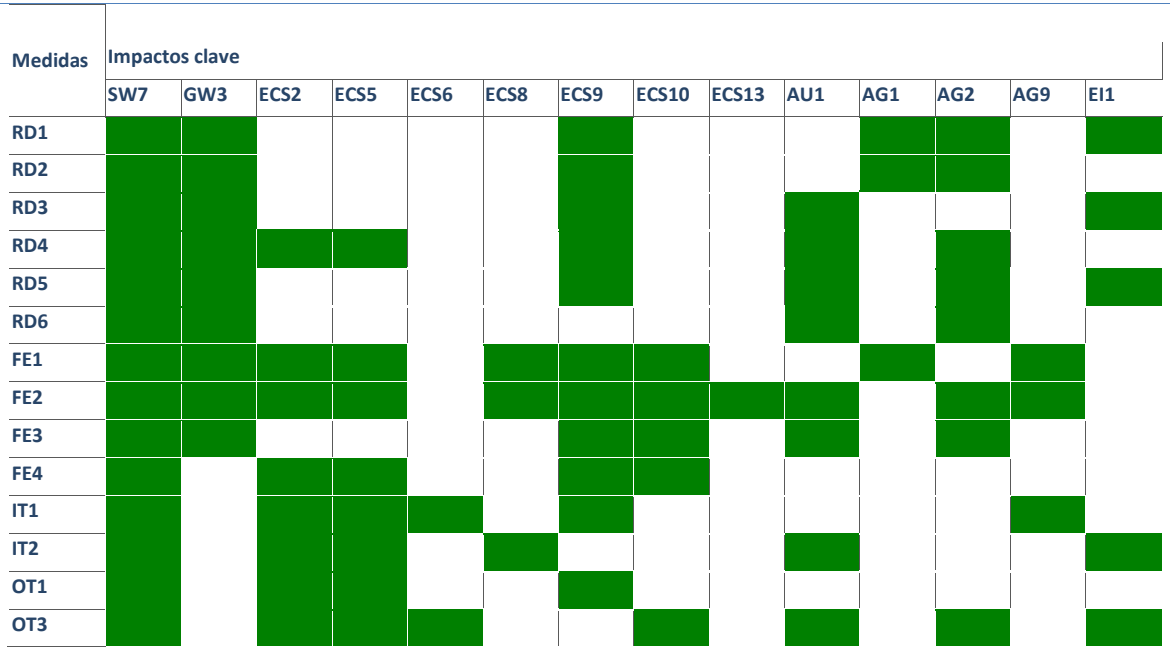
0.6 Medidas de adaptación al cambio climático

El capítulo 7 presenta el paquete de medidas de adaptación propuesto para la DH Tajo, orientado a mitigar los riesgos climáticos priorizados, y a facilitar su integración operativa en el PdM del plan hidrológico, en coherencia también con el PES y el PGRI. Dejando la rebaja de los peligros climáticos a las políticas y estrategias de mitigación, la reducción del riesgo exige combinar medidas que reduzcan exposición y vulnerabilidad.

Como base de análisis se utiliza el **catálogo corporativo PHweb**, que estructura las actuaciones en tres niveles (tipo-clave, subtipo-clave y subtipo IPH). Se ha analizado la contribución de las medidas catalogadas principalmente a nivel de subtipo-clave, evaluando el potencial adaptativo: (i) reducción de la exposición (p.ej., menor ocupación / daño en zonas inundables, contención de los elementos expuestos) y (ii) reducción de la vulnerabilidad: sensibilidad (estado de masas, robustez ecosistémica) y capacidad adaptativa (diversificación de fuentes, flexibilidad operativa, gobernanza y conocimiento). En paralelo se revisan riesgos de mala adaptación (intensificación del uso, nuevas dependencias, inequidades).

Para enriquecer y homogeneizar la propuesta se establece una correspondencia sistemática PHweb–Climate-ADAPT, y se incorporan otras fuentes (Guías OECC, ERICC, biodiversidad y cambio climático, incendios / gestión forestal, humedales costeros, sedimentos), identificando también medidas poco representadas hoy en PHweb. A partir de esta revisión, se ha seleccionado un paquete de 15 medidas, organizadas en cuatro ejes, que dan cobertura al conjunto de peligros climáticos y riesgos -clave (ver tabla): **RD** [Recursos disponibles y escasez]; **FE** [Fenómenos extremos]; **IT** [Temperatura del agua]; **OT** [Otras estrategias]

Cada medida se desarrolla en una ficha homogénea (correspondencia PHweb/Climate-ADAPT, efecto sobre E/V, riesgos abordados, claves de éxito, cautelas y localización preferente), de modo que la demarcación pueda seleccionar, adaptar y codificar las actuaciones concretas en el PdM del ciclo.



Impactos clave: **SW7**. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales (DMA); **GW3**. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA); **ECS2**. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos; **ECS5**. Degradación de ecosistemas ribereños y terrestres asociados; **ECS6**. Expansión de especies exóticas invasoras; **ECS8**. Incremento de la sedimentación en embalses y cauces; **ECS9**. Daños sistémicos (sociales, económicos, ambientales) por sequía prolongada; **ECS10**. Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales; **ECS13**. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima; **AU1**. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento; **AG1**. Mayor estrés hídrico en cultivos de secano; **AG2**. Reducción de la garantía de suministro del regadío; **AG9**. Pérdida de fertilidad o erosión de suelos; **EI1**. Disminución de la producción hidroeléctrica

Medidas: **RD1**. Eficiencia y gestión de la demanda en regadío; **RD2**. Eficiencia y gestión de la demanda en usos urbanos; **RD3**. Reutilización avanzada del agua depurada; **RD4**. Integración del uso de agua desalada en sistemas deficitarios; **RD5**. Gestión sostenible de acuíferos (recarga y explotación conjunta); **FE1**. Soluciones basadas en la naturaleza para retención natural de agua y control de erosión; **FE2**. Gestión forestal sensible al agua y al riesgo de incendios; **FE3**. Servicios climáticos y gobernanza adaptativa para sequías e inundaciones; **FE4**. Diseño urbano sensible al agua y al clima (SUDS e infraestructura azul-verde); **IT1**. Restauración de bosques de ribera y creación de refugios térmicos; **IT2**. Gestión de la calidad del agua frente al calentamiento y menor dilución; **OT1**. Seguimiento y gestión adaptativa de la biodiversidad acuática; **OT3**. Movilización y gestión de sedimentos en embalses y cauces.

0.7 Conclusiones y recomendaciones

El EACC ofrece una visión integrada del cambio climático en la DH Tajo: parte de la caracterización climática e hidrológica, la traduce a una lectura territorial de peligros, impactos y riesgos, y culmina en un paquete de medidas transferibles al PdM del próximo plan hidrológico y coherentes con el PES y el PGRI. En esta primera generación, su principal aportación es un marco común, reproducible y comparable entre subcuencas y demarcaciones, alineado con el enfoque del IPCC y el ciclo de adaptación promovido por la AEMA (RAST).

Las observaciones confirman el calentamiento de la península ibérica: aumenta la temperatura media y los extremos (más olas de calor y noches cálidas), lo que incrementa la evaporación y el estrés hídrico. La precipitación anual no muestra una tendencia nítida a escala nacional, pero sí aparecen descensos estacionales o regionales y episodios de lluvia intensa más dañinos en algunas zonas. De cara al futuro, IPCC, AEMA y ERICC apuntan con alta confianza a más calor y más aridez, con sequías más severas (especialmente en el sur y la fachada mediterránea, sin excluir otras cuencas) y un mayor riesgo de inundaciones locales por lluvias intensas. La incertidumbre se concentra en dónde y cuándo se intensificarán los máximos de precipitación, pero eso refuerza la necesidad de una adaptación robusta y flexible, capaz de gestionar a la vez sequías y crecidas rápidas. Episodios como las riadas de Valencia (octubre 2024) recuerdan que el riesgo torrencial puede ser crítico y debe tratarse como prioridad de protección civil, ordenación del territorio y gestión del agua.

Conforme a la realidad geográfica, socioeconómica y ambiental de la DH Tajo y a su modelo de gestión, los peligros climáticos más relevantes son: aumento de temperatura/olas de calor; descenso de precipitación efectiva y de escorrentía/recarga; intensificación de sequías; lluvias intensas y avenidas; descenso de acumulación de nieve y deterioro de calidad. Debe subrayarse el carácter sistémico de algunos impactos: cambios en el estado y la calidad de las aguas, pérdida de servicios ecosistémicos y "riesgos aceleradores" (sequías prolongadas, inundaciones, incendios o dinámica sedimentaria), por sus efectos en cascada sobre población, economía e infraestructuras.

La irregularidad hidrológica peninsular exige una gestión flexible; por eso, adaptarse al cambio climático es profundizar en estrategias ya conocidas, reforzando dos ejes: (i) proteger y restaurar ecosistemas y sus servicios (en coherencia con los objetivos ambientales) y (ii) aumentar la seguridad hídrica (garantía de suministro y gestión de extremos) con reglas operativas anticipatorias y trazables. Los instrumentos existentes ofrecen una base adecuada: planificación multihorizonte y planes operativos de sequías e inundaciones para anticipar, gestionar y contener impactos. En este marco, el EACC ayuda a ordenar la información y a sostener un paquete de medidas de reducción del riesgo (menos exposición y/o vulnerabilidad), evitando la mala adaptación y facilitando su encaje en el PdM. Este paquete deberá concretarse en la redacción del plan, priorizando medidas multirriesgo y con cobeneficios (p. ej., soluciones basadas en la naturaleza o reducción de presiones extractivas en sistemas tensionados y con tendencia al empeoramiento).

Conviene reconocer limitaciones, sobre todo en la cuantificación: los escenarios no son probabilidades; persiste incertidumbre (modelos y corrección de sesgos); la realidad debe simplificarse (variables e interrelaciones), y la validación depende de datos de impactos disponibles y comparables. Por ello, el EACC es un punto de partida: un marco común y auditable a reforzar de forma iterativa en próximos ciclos de planificación. De cara al futuro se propone: (i) ampliar riesgos y profundizar en la comprensión de riesgos compuestos y en cascada; (ii) mejorar la caracterización de la vulnerabilidad (social, ambiental e institucional) y la validación con series de impactos; (iii) integrar mejor el efecto de las medidas de adaptación como "cuarto pilar"; y (iv) reforzar el contraste con expertos y agentes, incorporando niveles de confianza y pruebas de sensibilidad.

1. Introducción

Caracterización de la demarcación

Marco físico y administrativo de la demarcación

Estado del medio ambiente hídrico en la demarcación

Estrategias de adaptación al cambio climático

Normativa europea y española de agua y clima

Estrategia de adaptación al cambio climático de la Unión Europea

La estrategia española de adaptación al cambio climático

El cambio climático en la planificación hidrológica

1.1 Marco físico y administrativo de la demarcación

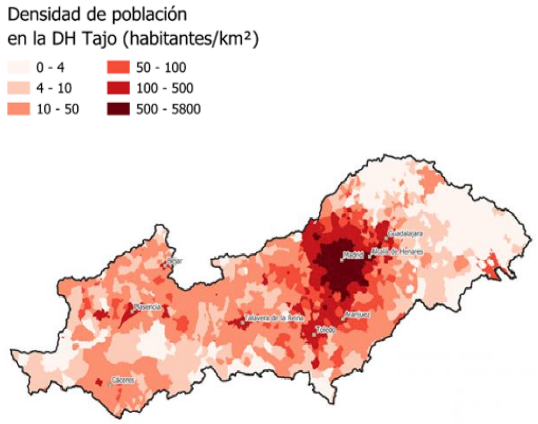


Figura 6. Densidad de población (2024)

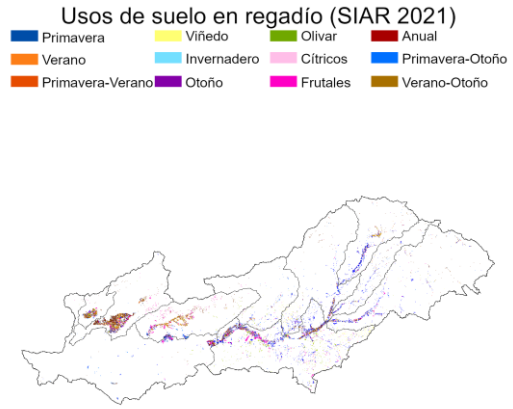


Figura 7. Superficies regadas (2021)

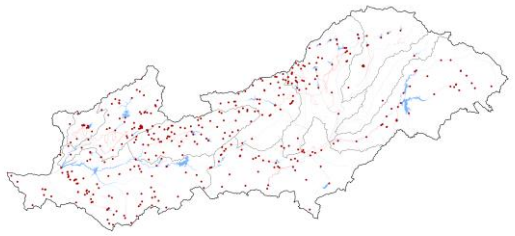
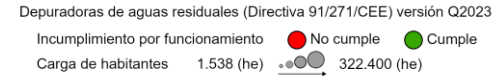


Figura 8. Principales infraestructuras hidráulicas



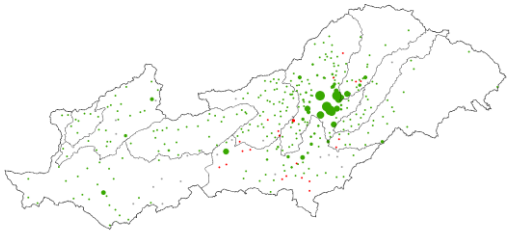


Figura 9. Depuración y saneamiento

La Demarcación Hidrográfica del Tajo abarca una superficie de 55 779 km² y comprende territorios de Castilla-La Mancha (48,15%), Extremadura (29,89%), Madrid (14,37%), Castilla y León (7,15%) y un pequeño porcentaje de Aragón (0,44%).

Cuenta con 58 embalses que suman una capacidad total de 11 007 hm³, y su aportación media anual —tomando como referencia la serie 1980/81-2017/18 del plan hidrológico vigente— asciende a 8 515,3 hm³, mostrando una progresiva tendencia a la caída de los recursos hídricos renovables (apartado 2.16).

La población abastecida asciende a 8 076 660 habitantes, con una demanda urbana de 707,03 hm³/año. Las demandas agrícolas se sitúan en 1 980,28 hm³/año para una superficie regada de 272 869 ha. La demanda ganadera representa 12,27 hm³/año.

Las aguas residuales de aglomeraciones objeto de la Directiva 91/271/CEE se tratan en un total de 347 EDARs que dan cobertura a 8 664 895 habitantes equivalentes. Considerando las aglomeraciones de más de 2.000 h-e, objeto de cumplimiento de la precitada Directiva, el 86% de las aglomeraciones, según el Q2023, cumplirían los requerimientos de la Directiva y en términos de habitantes equivalentes este porcentaje de cumplimiento ascendería hasta el 96%. Cabe recordar que la nueva Directiva (UE) 2024/3019 amplía su ámbito de aplicación a aglomeraciones menores e incorpora obligaciones de tratamiento avanzado de microcontaminantes a núcleos de cierta entidad.

El uso industrial demanda 51,95 hm³/año. La demarcación cuenta con una relevante infraestructura hidroeléctrica: 19 instalaciones con una potencia total de 2 730 MW y un caudal máximo turbinable de 3 060,6 m³/s.

1.2 Estado del medio ambiente hídrico en la demarcación

Figura 10. Estado ecológico de las masas de agua superficial

Figura 11. Estado químico de las masas de agua superficial

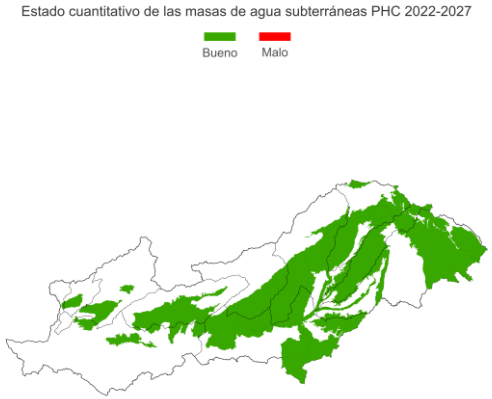


Figura 12. Estado cuantitativo de las masas de agua subterránea

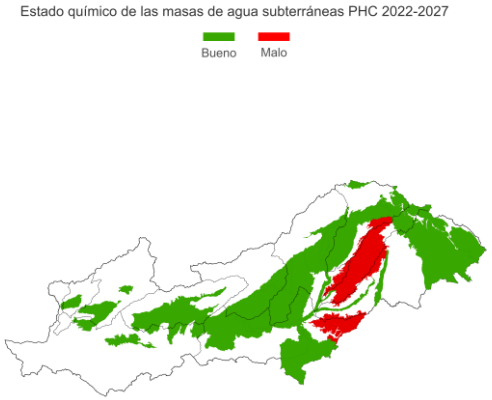


Figura 13. Estado químico de las masas de agua subterránea

En Plan Hidrológico pivota sobre el logro del buen estado de las masas de agua y el cumplimiento de los objetivos de las zonas protegidas o socio-económicos. Para ello deben abordarse la reducción de los factores determinantes y presiones que ponen el riesgo los objetivos ambientales establecidos, siguiendo el esquema DPSIR (*Drivers – Pressures – Status – Impacts – Responses*). Las presiones más relevantes en la DH Tajo son los vertidos urbanos como fuentes de contaminación puntual, las presiones de fuente difusa con mayor porcentaje en la agricultura y las hidromorfológicas (por regulación hidroeléctrica, abastecimiento a poblaciones y riego).

A modo de referencia, en la última evaluación (2021) alcanzaban un estado satisfactorio 311 de 512 masas superficiales (60,74%). Un total de 201 masas de agua fallaban en alcanzar una buen estado o potencial –potencial: nivel de calidad aceptable para masas declaradas artificiales o muy modificadas– y 7 fallaban en el logro de un buen estado fisicoquímico.

En lo que se refiere a las masas de agua subterráneas, 24 (92,3%) estaba en buen estado y 2 masas se diagnosticaron en mal estado. Los fallos se derivaban del mal estado químico (2 masas).

La Red Natura 2000 ocupa 25 455,82 km² en la demarcación (46 % de la superficie), con espacios de relevancia como la Sierra de Guadarrama (≈ 692km²) o Monfragüe (≈1 160 km²). En conjunto, esta vasta red de espacios clave para la biodiversidad refuerzan la prioridad de conservar los hábitats y especies dependientes del agua y de recuperar, en lo posible, la continuidad y la naturalidad del régimen hidrológico.

También se caracterizan como zonas protegidas, a los efectos de la planificación hidrológica, entre otras: zonas de captación para consumo humano, masas de agua de uso recreativo, zonas vulnerables a la contaminación por nitraros, zonas sensibles, zonas de protección de hábitats o especies, perímetros de aguas minerales y termalesetc.

1.3 Normativa europea y española de agua y clima

El **marco europeo de cambio climático** ha evolucionado desde un enfoque programático a uno jurídico-vinculante con efectos operativos sobre la planificación hidrológica. El Reglamento (UE) 2021/1119 —conocido como Ley Europea del Clima— fijaba la neutralidad climática para 2050 y una ambiciosa senda a 2030, vinculando mitigación y adaptación. Se alineaba con la mencionada Estrategia de Adaptación para reforzar una adaptación "más inteligente, rápida y sistémica" mediante la integración de riesgos climáticos en inversiones y políticas sectoriales. La actualización de la agenda de agua se enmarca en el impulso dado sendas comunicaciones de la Comisión Europea «El Pacto Verde Europeo» (COM/2019/640) y «Contaminación cero para el aire, el agua y el suelo» (COM/2021/400).

Por otra parte, el Reglamento (UE) 2020/852 (Taxonomía), sus actos delegados y la Directiva (UE) 2022/2464 de reporte corporativo sobre sostenibilidad establecen un marco para fomentar las inversiones que respeten y promuevan el logro de los objetivos ambientales de mitigación y adaptación climática, y el uso sostenible y protección de los recursos hídricos y marinos, la transición hacia una economía circular, la prevención y control de la contaminación y la protección y recuperación de la biodiversidad y los ecosistemas. Se introduce el principio de «no causar un perjuicio significativo» (DNSH) que, en materia de adaptación, requiere abordar un análisis de riesgos y vulnerabilidades climáticas, y la programación de soluciones.

Respecto al **acervo legal propiamente relacionado con la gestión de los recursos hídricos**, la Directiva 2000/60/CE (Directiva Marco del Agua, DMA) es la norma paraguas, estableciendo la prioridad de los objetivos ambientales para masas de agua y zonas protegidas bajo el principio de ausencia de deterioro, mediante ciclos de planificación de seis años. La Directiva 2007/60/CE (Directiva de Inundaciones, DI) requiere la evaluación y gestión del riesgo de inundación en ciclos coordinados con los de la DMA. Otras normas específicas refuerzan la protección y promueven la resiliencia climática: Reglamento 2020/741 (Reutilización), Directiva (UE) 2020/2184 (Aguas de Consumo), Directiva (UE) 2024/3019 (Aguas Residuales Urbanas); y otras conexas como la Directiva 2006/118/CE (Aguas Subterráneas), Directiva 2008/56/CE (Estrategia Marina), Directiva 2006/7/CE (Aguas de Baño), Directiva 91/676/CEE (Nitratos), Reglamento (UE) 2024/1991 (Restauración de la Naturaleza) Directiva 92/43/CEE (Hábitats) y Directiva 2009/147/CE (Aves).

El **marco español de agua y clima** articula la obligación jurídica de integrar la adaptación en la planificación hidrológica y en la gestión del dominio público hidráulico, mediante la Ley 7/2021, de Cambio Climático y Transición Energética (art. 19). El Reglamento de la Planificación Hidrológica (RPH, RD 907/2007), tras su modificación por RD 1159/2021 refuerza el tratamiento del riesgo climático mediante los **estudios de adaptación al cambio climático** (EACC, art. 4bis). El presente documento, que pertenece a la primera generación de dichos estudios, atiende a l contenido e índice establecidos en el RPH.

Adicionalmente, entre el complejo acervo legislativo nacional destacan, por su relevancia para la gestión de riesgos climáticos, el RD 903/2010 (trasposición de la DI) y la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional que introduce(art. 27) el mandato de elaborar «planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía» (PES). Los documentos de planificación vigentes son accesibles desde la web del MITECO: planes hidrológicos, planes de gestión del riesgo de inundación (PGRI) y PES.

Por último, las **comunidades autónomas**, en el ejercicio de sus competencias, pueden aprobar normativa propia que complemente el marco jurídico estatal y europeo; el resumen de las normas climáticas más relevantes que afectan a la DH Tajo se incluye en el Anejo 1.

1.4 Estrategia de adaptación al cambio climático de la Unión Europea

La nueva estrategia de adaptación al cambio climático de la UE fija la visión de una Europa resiliente al clima en 2050 y ordena la acción en cuatro ejes: adaptación más inteligente (mejor conocimiento y datos), más sistémica (integración en todas las políticas), más rápida (pasar del plan a la obra) y con mayor proyección internacional. El objetivo es ampliar el uso de ciencia, datos y servicios climáticos, acelerar inversiones "a prueba del clima" (*climate-proof*) y generalizar soluciones basadas en la naturaleza (SbN), con especial atención a los riesgos hídricos (sequías, inundaciones y afección a la calidad) y a la cooperación transfronteriza en cuencas.0

La Comisión sitúa el agua en el centro de la resiliencia, afrontando tanto inundaciones como sequías y promoviendo cambios transformadores en el consumo. Para ello refuerza la Estrategia Común de Implementación de la DMA y la DI alineando medidas, planes de sequía y capacidades de retención hídrica del suelo, además de impulsar reutilización segura y eficiencia (ecodiseño, etiquetado, agricultura, edificios, industria). Un pilar clave son las soluciones basadas en la naturaleza (SbN), escalando infraestructura verde-azul —restauración de humedales, turberas, llanuras de inundación y ecosistemas costeros, así como la "ciudad esponja"— por su triple contribución (evitar pérdidas, beneficios económicos, cobeneficios sociales y ambientales) y su contribución simultánea al buen estado de la DMA y a la defensa costera.

Para convertir ciencia en decisiones operativas, se refuerzan Climate-ADAPT, Copernicus, los gemelos digitales (DestinE) y la observación marina, junto con normas comunes y un centro de datos europeo para registrar riesgos y pérdidas —incluidos los hídricos— e integrar información pública/privada y del sector asegurador. En inversión, se generaliza el *climate-proofing*: directrices de resiliencia de infraestructuras y el principio de "reconstruir mejor" (tras un desastre), donde un coste adicional medio cercano al 3 % se compensa con ahorros cuatro veces superiores en el ciclo de vida de la infraestructura. Finalmente, la Misión de Adaptación en el marco del nuevo programa marco de investigación Horizonte Europa pilotará soluciones integradas de resiliencia —incluida el agua— mediante demostradores y apoyo a comunidades, para escalar aprendizajes y acelerar su adopción.

Por su parte, la Estrategia de Resiliencia Hídrica marca una hoja de ruta hasta 2030 para asegurar el agua frente a sequías, inundaciones y contaminación, alineada con el Pacto Verde. Se centra en tres objetivos: restaurar el ciclo hidrológico, construir una economía hidro-inteligente (eficiencia, reutilización, innovación) y garantizar acceso limpio y asequible promoviendo el ahorro. Actúa en cinco ámbitos (gobernanza, inversión, digitalización / Inteligencia Artificial, I+D+i-capacidades, seguridad) y fija una meta de eficiencia del +10% en 2030, con referencias comunes en 2027, contadores inteligentes y balances hídricos. Prioriza reducir fugas y modernizar el abastecimiento con financiación público-privada y soluciones digitales, la pauta "agua primero en eficiencia" y la revisión del reglamento de reutilización para ampliar usos más allá de la agricultura.

Se promueven las SbN mediante un "mecanismo esponja" (humedales, llanuras de inundación, suelos y ciudad esponja) para aumentar retención, reducir picos y mejorar calidad, con gestión integrada tierra-costa. También pretende reforzarse la aplicación del acervo (prioridad a DMA y DI), prepara guía para planes de sequía y asegura coherencia con el Reglamento de Restauración de la Naturaleza y posible actualización de la Directiva Marco de Estrategias Marinas (DMEM). En acceso, combina sensibilización con tarifas sólidas para un uso eficiente y asequible; actúa frente a PFAS y otros persistentes. El seguimiento se articulará en un Foro de Resiliencia Hídrica bienal desde diciembre de 2025.

1.5 La estrategia española de adaptación al cambio climático

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (PNACC, MITECO 2020) sitúa el agua y los recursos hídricos como ámbito prioritario de la adaptación, articulando seis líneas prioritarias de actuación. El enfoque es multinivel y cooperativo —se espera la intervención de la Dirección General del Agua, los Organismos de Cuenca, Comunidades Autónomas y Entidades Locales, la Oficina Española de Cambio Climático, la Agencia Española de Meteorología y el Instituto Geológico y Minero de España—, coherente con la DMA y la planificación de cuenca. Prevé indicadores de cumplimiento, evaluación periódica y financiación combinada (presupuestos ordinarios, programas como PIMA Adapta y fondos europeos), con el objetivo de reducir vulnerabilidades y asegurar la resiliencia hídrica a medio y largo plazo. Una de las líneas de actuación del PNACC es la integración de la adaptación al cambio climático en la planificación hidro-lógica y la gestión del ciclo integral del agua, de manera que se asegure que los planes hidrológicos del cuarto ciclo (2027-2033) incluyen evaluación de riesgos climáticos y una estrategia de adaptación a largo plazo por demarcación.

Las Orientaciones Estratégicas sobre Agua y Cambio Climático (OEACC, MITECO julio 2022), aprobadas por el Consejo de Ministros el 19/07/2022 en cumplimiento del art. 19.2 de la Ley 7/2021, fijan el marco programático para que la adaptación climática sea el eje de la política del agua en España. Identifican los principales retos (deterioro de la calidad, sobreexplotación y contaminación difusa de las aguas subterráneas, alteraciones hidromorfológicas e índices de explotación elevados) y despliegan 14 líneas de acción: desde asegurar el cumplimiento normativo en un marco de adaptación, recuperar y proteger ríos, lagos, acuíferos y humedales, incrementar la seguridad hídrica, impulsar saneamiento, depuración y reutilización, combatir la contaminación difusa, y avanzar en la gestión de inundaciones y sequías, junto con medidas de innovación, gobernanza transparente, proyección internacional, economía sostenible y refuerzo de la financiación.

Un año más tarde, la Guía para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático (OECC 2023) vendría a aportar indicaciones metodológicas clave para el desarrollo de los trabajos de evaluación de riesgos y estudios específicos de adaptación al cambio climático. Para concretar la aplicación en el marco de los EACC del RPH, se elabora posteriormente la «Guía metodológica para el desarrollo de los trabajos de evaluación de riesgos y estudios específicos de adaptación al cambio climático en las demarcaciones hidrográficas» (Universitat Politècnica de València - Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente para la OECC, 2025).

Por último, la Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC, OECC-2025) con el objetivo de ofrecer una visión agregada, orientar la acción pública y servir de base técnica para el programa 2026-2030 del PNACC; se alinea con los enfoques del IPCC y de la Evaluación Europea de Riesgos Climáticos (EUCRA). Metodológicamente, adopta el marco de riesgo del IPCC (peligro-exposición-vulnerabilidad), identifica “riesgos relevantes” a partir de evidencia histórica, revisión bibliográfica y modelización sectorial, prioriza “riesgos clave” mediante un análisis multicriterio y, después, analiza en detalle componentes, umbrales, gobernanza y riesgos complejos, con procesos de validación mediante un grupo consultivo de expertos y técnicas de análisis de interrelaciones.

En coherencia con el marco estratégico europeo y estatal, las comunidades autónomas y las entidades locales elaboran sus propias estrategias y planes de adaptación al cambio climático, que se articulan y coordinan con las iniciativas de ámbito superior a través de distintos instrumentos de planificación y cooperación institucional. Una síntesis de los instrumentos más relevantes en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Tajo se presenta en el Anejo 1.

1.6 El cambio climático en la planificación hidrológica

El Libro Blanco del Agua en España (LBA, 2000) incorporó el cambio climático como factor de incertidumbre y determinante de una presión creciente sobre los recursos. Anticipó que incluso ligeras reducciones de precipitación y aumentos de temperatura disminuirían notablemente la escorrentía y tensarían el balance hídrico, especialmente en el sur y este peninsulares y los archipiélagos. Como orden de magnitud, estimaba que un escenario de caída del 5 % de precipitación y aumento de 1 °C puede implicar descensos de aportaciones en torno al 20 % en zonas vulnerables, si bien a escala general los descensos medios a largo plazo se sitúan en el entorno del 5–6 %, creciendo bajo supuestos más extremos. En la demanda, previo tendencias al alza —sobre todo en riego por mayor déficit hídrico del suelo y en requisitos ambientales por menor oxígeno disuelto— y, en menor medida, en abastecimiento urbano por temperaturas más altas, con efectos netos inciertos y marcadas diferencias sectoriales y territoriales. Sin marcar una orientación específica de adaptación, el LBA proponía priorizar ahorro y eficiencia, flexibilizar reglas operativas y asignaciones, y reforzar el conocimiento, el seguimiento y la revisión adaptativa de las decisiones con criterios prudentes, específicos por sector y por cuenca.

En el **primer ciclo de planificación hidrológica** (2009-2015), la consideración del cambio climático fue relativamente limitada. La principal consecuencia operativa era el cálculo de los balances para asignación y reserva de recursos empleando la llamada “serie corta” -limitada a las aportaciones mensuales en régimen natural desde el año 1980/81- y la consideración de series afectadas por el cambio climático para evaluar las “tendencias a largo plazo” (entonces 2027). Los coeficientes de afectación aplicados eran los establecidos al efecto de la Instrucción de Planificación Hidrológica que coincidían con el escenario 1 (aumento de 1º C en la temperatura media anual) del LBA.

En el **segundo ciclo** (2016-2021) y en el **tercer ciclo** se profundiza en la integración del cambio climático en los planes hidrológicos.

- Por una parte, se consolida una línea de colaboración con el Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) del CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) para la permanente mejora y actualización de los escenarios climáticos regionalizados, con metodologías espacial y temporalmente mejor definidas. Los principales hitos de esta colaboración son el «Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Informe final» (2012, segundo ciclo), la «Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España» (2017, tercer ciclo) y la aplicación informática CAMREC que facilita la consulta y análisis de los mapas que resumen los resultados del estudio de 2017.
- El cambio climático se impone como tema importante para la planificación. También se van incorporando nuevas líneas de análisis y decisiones operativas que trascienden la mera actualización de balances, tales como la simulación del impacto climático en las garantías de suministro a medio y largo plazo, a la vez que se mejora el alineamiento con el PNACC 2021-2030 y la Ley 7/2021. Paulatinamente, la adaptación conduce a la reducción o reprogramación de crecimientos de la demanda (especialmente en regadíos) e impulsa la reutilización y la modernización.
- También se integró un apartado específico sobre adaptación al cambio climático en la Evaluación Preliminar de los Riesgos de Inundación (EPRI) del tercer ciclo de planificación, que tomó como punto de partida el informe “Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España” (CEDEX, 2021),

Los nuevos Planes especiales de sequía (PES) integran un capítulo específico de cambio climático y un sistema de indicadores que vinculan la amenaza (sequía) con el riesgo diferencial de los sistemas. Esta lectura se apoya en métricas de exposición (población atendida, superficie regada, potencia hidroeléctrica) y vulnerabilidad (permanencia en alerta / emergencia, incumplimientos de garantía, sobreexplotación, WEI+). A efectos operativos, describen UTS/UTE y establecen escenarios con condiciones de entrada/salida, así como los criterios para declarar situación excepcional por sequía extraordinaria, articulando respuestas escalonadas y coherentes con la planificación hidrológica.

Todo ello se alinea con la Ley 7/2021 y las OEACC (anticipación de impactos, reducción de exposición y vulnerabilidad, y mejora de indicadores y predicción), y se tramita con evaluación ambiental estratégica; además, refuerza que los PES son instrumentos de gestión (no de nueva obra), orientados a optimizar recursos existentes y a revisar actuaciones con base en el conocimiento y el seguimiento.

PLAN ESPECIAL DE SEQUÍA

Demarcación Hidrográfica del Tajo

2. Caracterización climática e hidrológica de la demarcación

El cambio climático observado

Evolución de los tipos climáticos

Cambios observados en el régimen térmico y pluviométrico

Cambios observados en la incidencia de los episodios extremos

El ciclo hidrológico

Componentes atmosféricas

Régimen de temperatura (medianas)

Régimen de temperatura (máximas)

Evapotranspiración potencial

Régimen de precipitaciones

Régimen nival

Procesos hidrológicos terrestres

Humedad del suelo

Infiltración

Estrés hídrico

Evapotranspiración real

Escorrentía subterránea

Escorrentía superficial

Aportaciones totales

Variabilidad y extremos climáticos

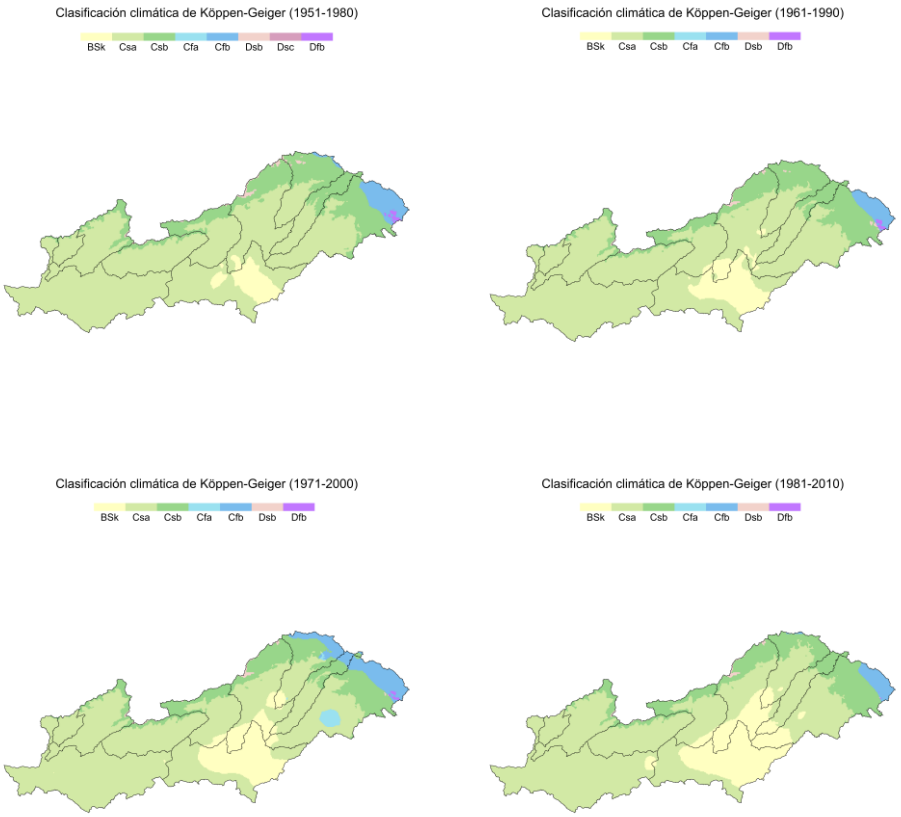
Precipitaciones máximas diarias (AdapteCCa)

Precipitaciones máximas diarias (CAUMAX)

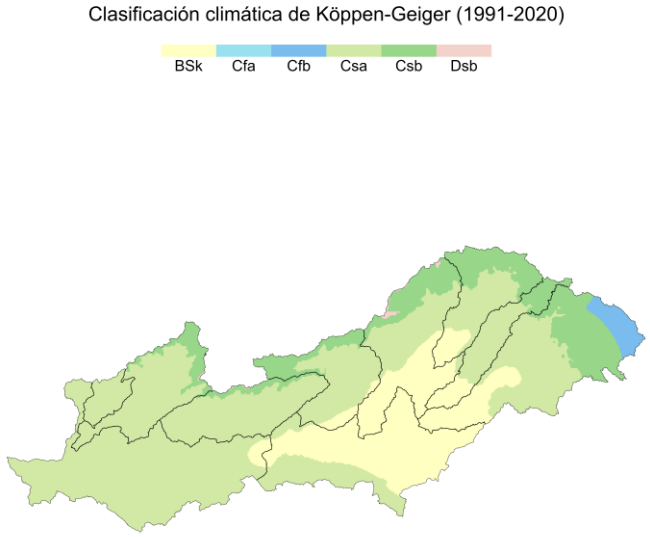
Caudales máximos

Sequía prolongada y escasez coyuntural

2.1 Evolución de los tipos climáticos



La clasificación climática de Köppen-Geiger utiliza como descriptores los valores medios mensuales de precipitación y temperatura, con intervalos establecidos por su incidencia en la distribución de la vegetación y de la actividad humana. El informe Evolución de los climas de Köppen en España en el periodo 1951-2020 (nota técnica 37 de AEMET) permite analizar y caracterizar sintéticamente el cambio climático reciente.



BSk. Clima estepario frío; **BWh**. Clima desértico cálido; **BWk**. Clima desértico frío; **Csa**. Clima templado con verano seco y caluroso; **Csb**. Clima templado con verano seco y suave; **Cfa**. Clima templado sin estación seca con verano caluroso; **Cfb**. Clima templado sin estación seca con verano suave; **Dfb**. Clima frío sin estación seca con verano templado; **Dfc**. Clima frío sin estación seca con verano fresco; **Dsb**. Clima frío con verano seco; **Dsc**. Clima frío con verano seco y fresco

Figura 14. Tipos de clima y su evolución en el periodo 1950 y 2010

En la DH Tajo los cambios se traducen en el incremento del tipo BSk (clima estepario frío) y la reducción de los tipos Csa (clima templado con verano seco y caluroso), Dfb (clima frío sin estación seca y verano templado) y Dsb (clima frío con verano seco y templado), verificando la evolución hacia tipos más cálidos y secos. En la situación actual (periodo 1991-2020) el tipo Csa es el mayoritario ocupando 33 774,02 km^2 (60,54% del territorio de la demarcación). También están presentes el clima BSk (21,45%), Cfb (1,76%), Csb (15,95%) y Dsb (0,25%). Se observa como los climas más húmedos y menos cálidos quedan enclavados en regiones de montaña (Sistema Central e Ibérico) y los áridos se extienden por el interior de la cuenca abarcando valles y meseta sur.

2.2 Cambios observados en el régimen térmico y pluviométrico

En el contexto del calentamiento global –en torno a 1,2 °C por encima del periodo preindustrial a escala planetaria en la última década– Europa destaca por calentarse aún más deprisa: la temperatura media sobre las tierras europeas en los últimos años se sitúa alrededor de 2,2 °C por encima de niveles preindustriales, con tendencias espaciales ampliamente ascendentes. La península ibérica se posiciona claramente dentro de este patrón de calentamiento generalizado.

En España, las observaciones recopiladas en ERICC indican un aumento de la temperatura media anual de 1,69 °C entre 1961 y 2024, equivalente a 0,21 °C por década, con un calentamiento más acusado en verano (0,27 °C/década), menos días de helada y un fuerte incremento en la frecuencia, intensidad y duración de las olas de calor. En cuanto a la precipitación, los análisis nacionales sintetizados en la ERICC indican que, desde mediados del siglo XX, el promedio anual sobre el conjunto de España no muestra una tendencia estadísticamente robusta, aunque sí se observan descensos en primavera y en amplias zonas de la mitad sur y occidental, junto con un aumento de los episodios de lluvia intensa, especialmente en la fachada mediterránea. Esta evolución es coherente con el incremento de las sequías meteorológicas e hidrológicas en la región mediterránea descrito por el IPCC y con la expansión del área europea afectada por estrés hídrico.

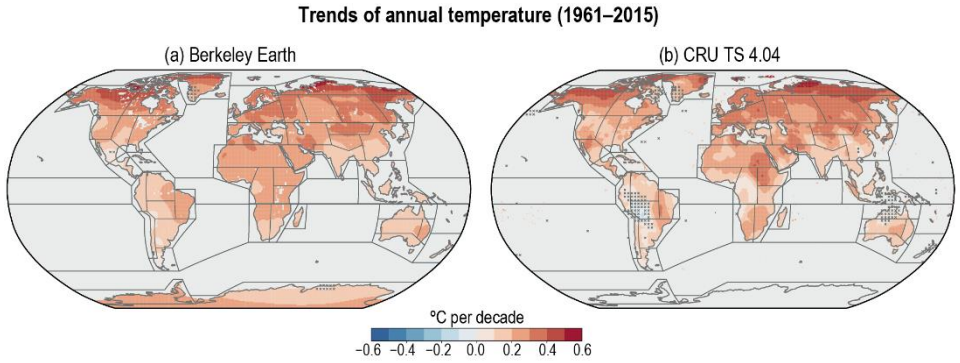


Figura 15. Tendencia observada en la temperatura media anual (periodo 1961-2015).

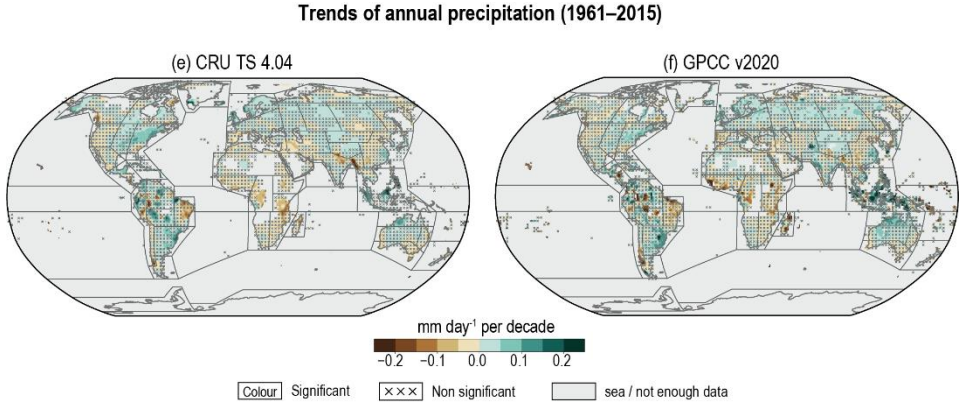


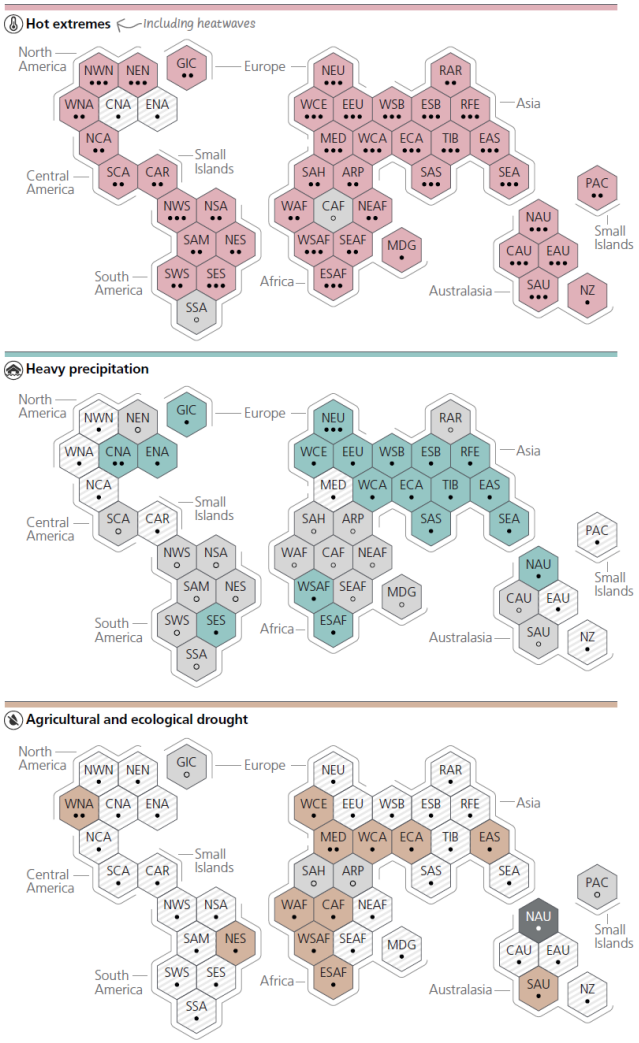
Figura 16. Tendencia observada en la precipitación media anual (periodo 1961-2015)

Fuente: IPCC AR6-WG1 The Physical Science Basis. *Berkeley Earth* y CRU TS 4.04 (*Climatic Research Unit Time Series*, versión 4.04, Universidad de East Anglia) son conjuntos de datos globales de temperatura observada en rejilla, elaborados a partir de miles de estaciones meteorológicas. La figura compara las tendencias de temperatura anual 1961-2015, mostrando un calentamiento generalizado muy consistente entre las dos fuentes

Detrás de estas cifras medias se esconden contrastes regionales acusados. Las cuencas de la vertiente atlántica y del norte (Miño-Sil, Cantábrico, Duero, tramos altos del Tajo y del Ebro) registran un calentamiento algo más moderado (sección 2.5) y muestran una evolución de la precipitación más neutra –al menos, en términos relativos (sección 2.8)– o con ligeros incrementos invernales, mientras que la vertiente mediterránea y las demarcaciones del sur y sureste (Guadalquivir, Guadiana, Júcar, Segura, cuencas internas mediterráneas, parte baja del Tajo y del Ebro, Baleares y Canarias) concentran el mayor aumento de temperatura estival, más noches cálidas, descensos de precipitación en marzo-junio, sequías más persistentes y una intensificación de los episodios convectivos torrenciales.

Todo ello configura a la España mediterránea como uno de los principales “puntos calientes” climáticos de Europa, donde la combinación de calentamiento intenso y mayor variabilidad hidrológica incrementa de forma notable los riesgos para los recursos hídricos, los ecosistemas y los usos del agua en cada demarcación hidrográfica.

2.3 Cambios observados en la incidencia de los episodios extremos



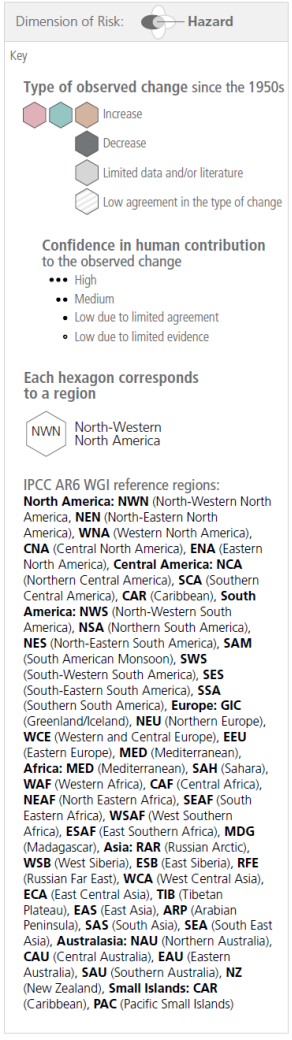


Figura 17. Síntesis de la evaluación del cambio observado y del nivel de confianza en la contribución humana a los cambios observados en las regiones del mundo (desde 1950). La región que engloba España corresponde al hexágono MED (*Mediterránea*). Fuente: IPCC AR6

Las observaciones desde mediados del siglo XX muestran que el cambio climático ya está alterando claramente la frecuencia, intensidad y duración de los episodios extremos. El IPCC AR6 concluye que las olas de calor se han hecho más frecuentes e intensas en la mayoría de las regiones habitadas, mientras disminuyen los episodios fríos; al mismo tiempo, aumentan las precipitaciones intensas y las sequías agrícolas y ecológicas en numerosas zonas, especialmente en la cuenca mediterránea.

Según el IPCC (región MED, que incluye España), desde los años cincuenta se han incrementado los episodios de calor extremo y las sequías agrícolas y ecológicas de origen humano, mientras que el cambio en la precipitación intensa es menos claro; en coherencia con ello, las evaluaciones de la AEMA evidencian un incremento de las sequías meteorológicas en gran parte del sur y centro de Europa, frente a una tendencia opuesta en el norte, lo que sitúa a la región mediterránea entre las zonas del continente con mayor intensificación de los riesgos climáticos.

La síntesis de ERICC confirma un fuerte aumento de la frecuencia, duración y extensión de las olas de calor, más días y noches cálidas y menos días de helada.

En precipitación, aunque el total anual no muestra una tendencia robusta a escala nacional, se ha intensificado la precipitación extrema diaria y los episodios convectivos torrenciales, sobre todo en la fachada mediterránea.

Las sequías meteorológicas son ahora más intensas y persistentes, con recurrencias recientes sin precedentes en al menos siglo y medio, especialmente en el sureste peninsular y el valle del Ebro.

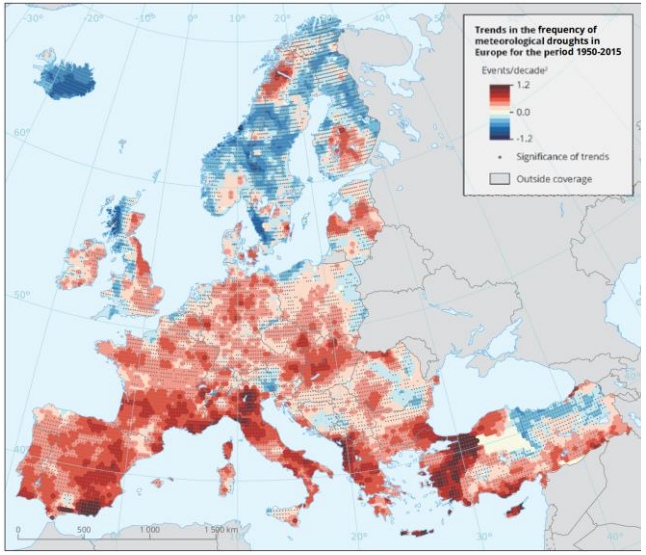


Figura 18. Tendencias en la frecuencia de sequías meteorológicas en Europa durante el período 1950–2015. Fuente: AEMA 2021.

2.4 El ciclo hidrológico

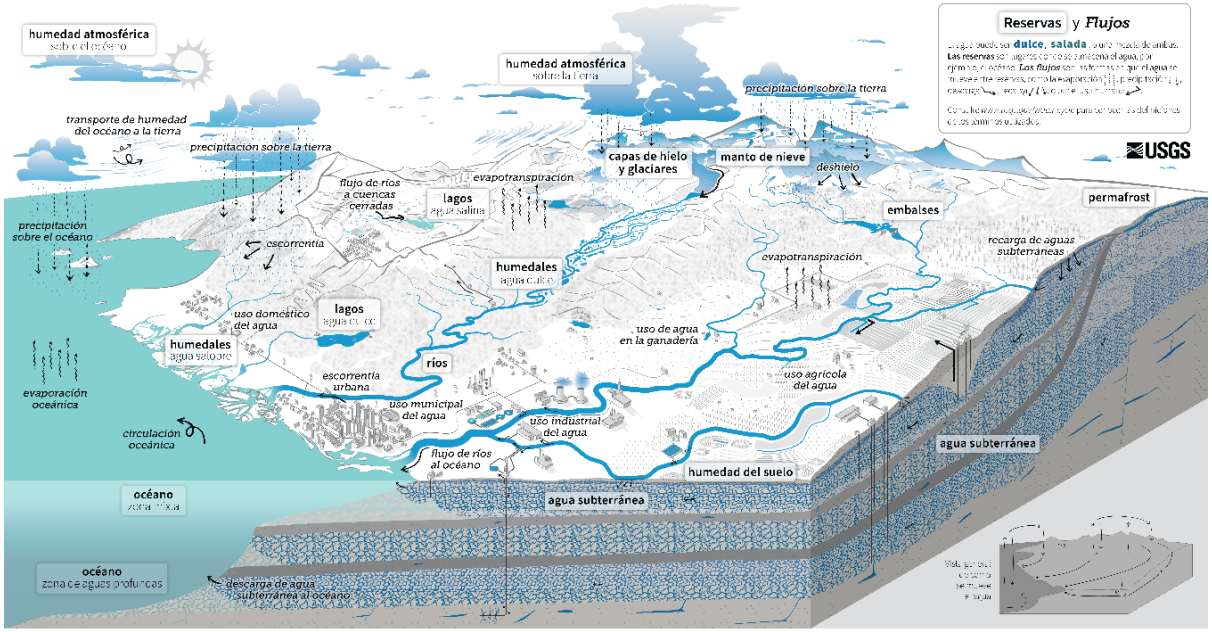


Figura 19. Esquema del ciclo hidrológico. Fuente: United States Geological Survey

El **ciclo del agua** describe cómo el agua se mueve mediante **flujos físicos y se almacena en ríos, lagos, acuíferos, glaciares, océanos, etc (reservas)**. La evaporación desde océanos, suelos y aguas continentales y la transpiración vegetal aportan vapor a la atmósfera (evapotranspiración); allí se condensa y cae como precipitación sobre mar y tierra. En tierra, una parte se acumula como nieve y se libera por deshielo; otra circula como escorrentía, alimenta ríos y embalses y vuelve al océano. El resto infiltra, recarga la humedad edáfica y percola a los acuíferos, que descargan de nuevo a ríos, humedales o directamente al mar.

Las **actividades humanas** alteran el ciclo hidrológico: captamos agua para abastecimiento, agricultura, ganadería e industria; almacenamos en embalses y alteramos caudales y conectividad; la impermeabilización aumenta escorrentía y reduce recarga; vertidos y retornos afectan la calidad. Aun así, el ciclo permanece como un sistema continuo, impulsado por la energía solar y la gravedad, que enlaza atmósfera, tierra y océanos.

El **modelo SIMPA**, desarrollado por el CEDEX en los años noventa y hoy ampliamente utilizado en la planificación hidrológica española, reproduce el ciclo en régimen natural sobre una rejilla de celdas.

- **Fase atmosférica**: cada celda integra series de precipitación y temperatura, estima la evapotranspiración potencial y distingue lluvia / nieve, con almacenamiento nival y deshielo (grado-día). Con ello determina el agua disponible y la demanda evaporativa.

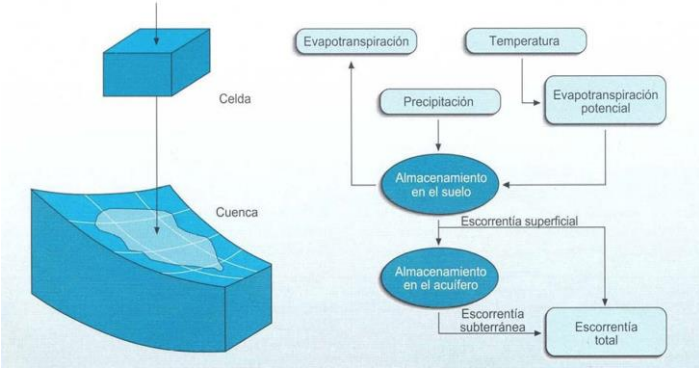


Figura 20. Simulación del ciclo hidrológico mediante el modelo SIMPA

- **Fase terrestre**: reparte la precipitación entre almacenamiento en suelo, escorrentía superficial e infiltración al acuífero. La evapotranspiración real depende del contenido hídrico. La percolación alimenta el acuífero, que descarga como caudal base; la escorrentía superficial se genera por exceso y se propaga por la red. La escorrentía total —suma de superficial y base— se integra hasta la salida de cuenca, cerrando el balance hídrico y generando series de aportaciones naturales comparables en el tiempo y el espacio, base común para diagnósticos, asignaciones y evaluación de medidas.

2.5 Régimen de temperatura (medianas)

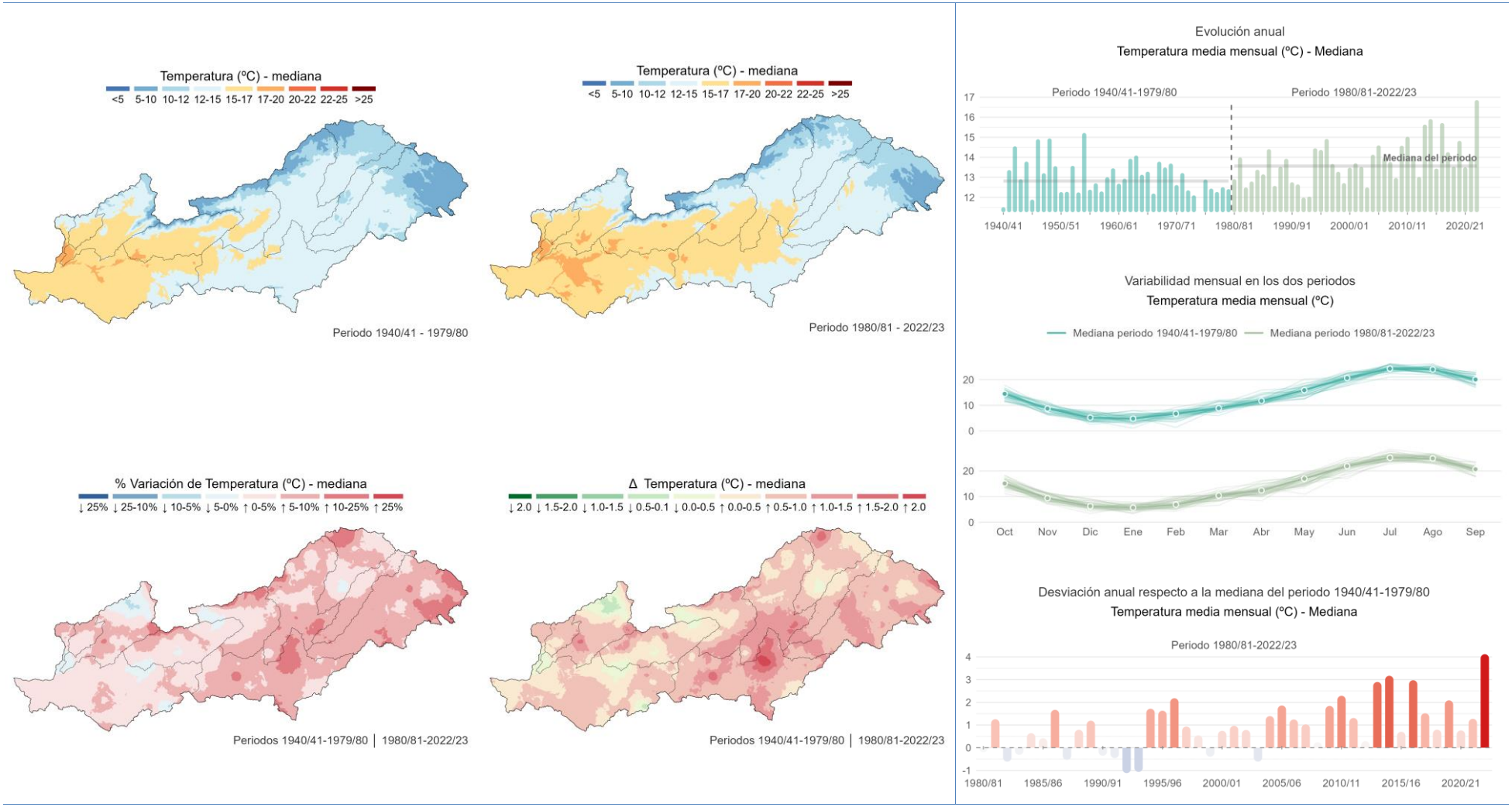
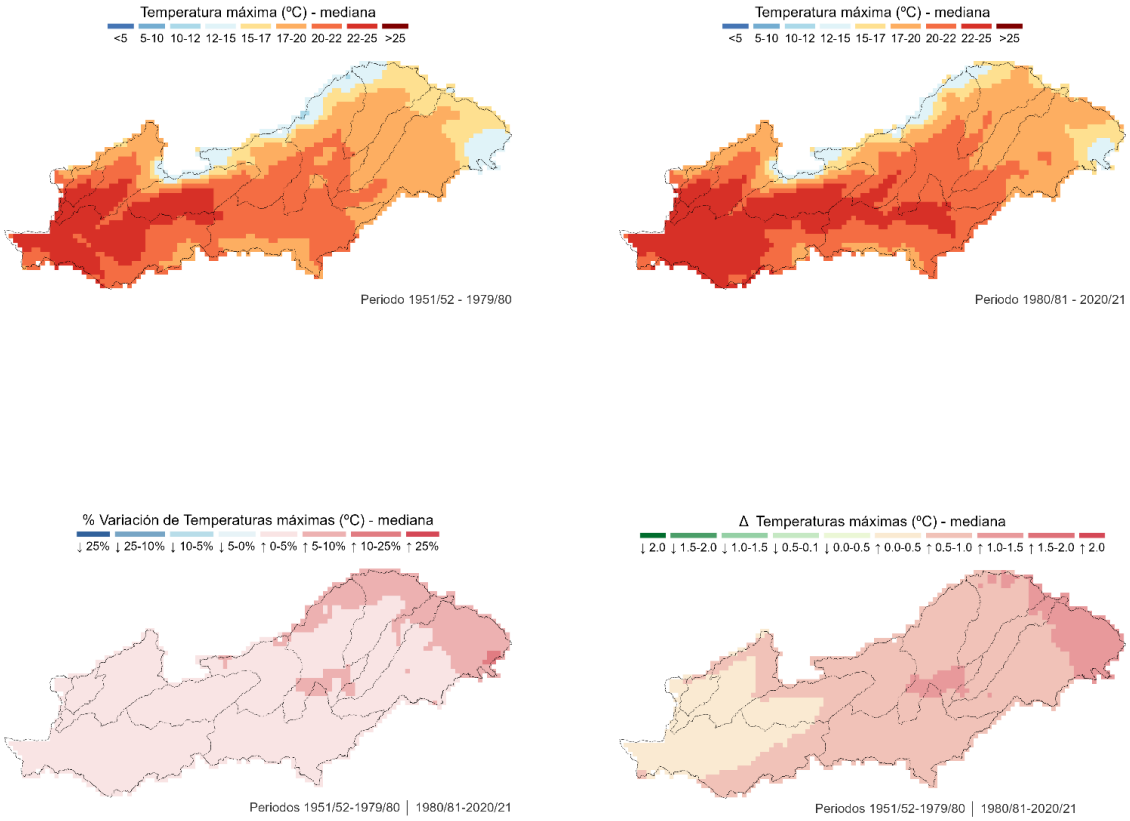


Figura 21. Caracterización espacial y temporal de la temperatura mediana. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (13,57 ºC) supera a la del periodo 1940/41–1979/80 (12,82 ºC) en 0,76 ºC. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 2022/2023, siendo esta de +3,94ºC.

El mes con mayor variación mediana entre periodos es marzo, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (10,4 ºC) es superior a la del periodo 1940/41–1979/80 (8,86 ºC) en 1,54 ºC.

2.6 Régimen de temperatura (máximas)



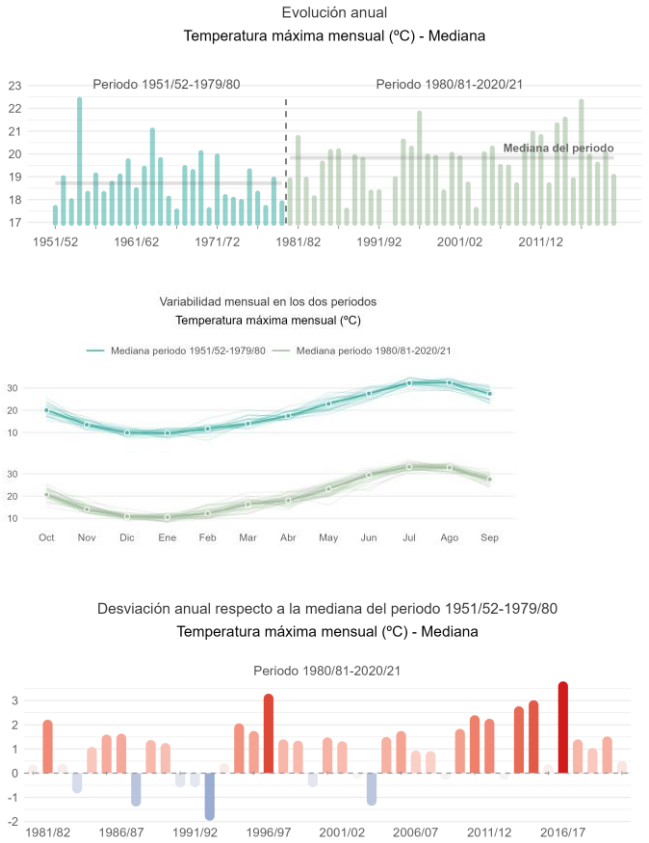


Figura 22. Caracterización espacial y temporal de la temperatura máxima. Comparación entre los periodos 1950/51–1979/80 y 1980/81–2020/21. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Adaptecca.

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (19,81 ºC) supera a la del periodo 1940/41–1979/80 (18,69 ºC) en 1,12 ºC. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 2016/2017, siendo esta de +3,61 ºC. Las medianas de los periodos están referidas a las medias anuales de las doce máximas mensuales de cada año del periodo al que pertenecen.

El mes con mayor variación mediana entre periodos es marzo, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (16,34 ºC) es superior a la del periodo 1940/41–1979/80 (14,01 ºC) en 2,33 ºC.

2.7 Evapotranspiración potencial

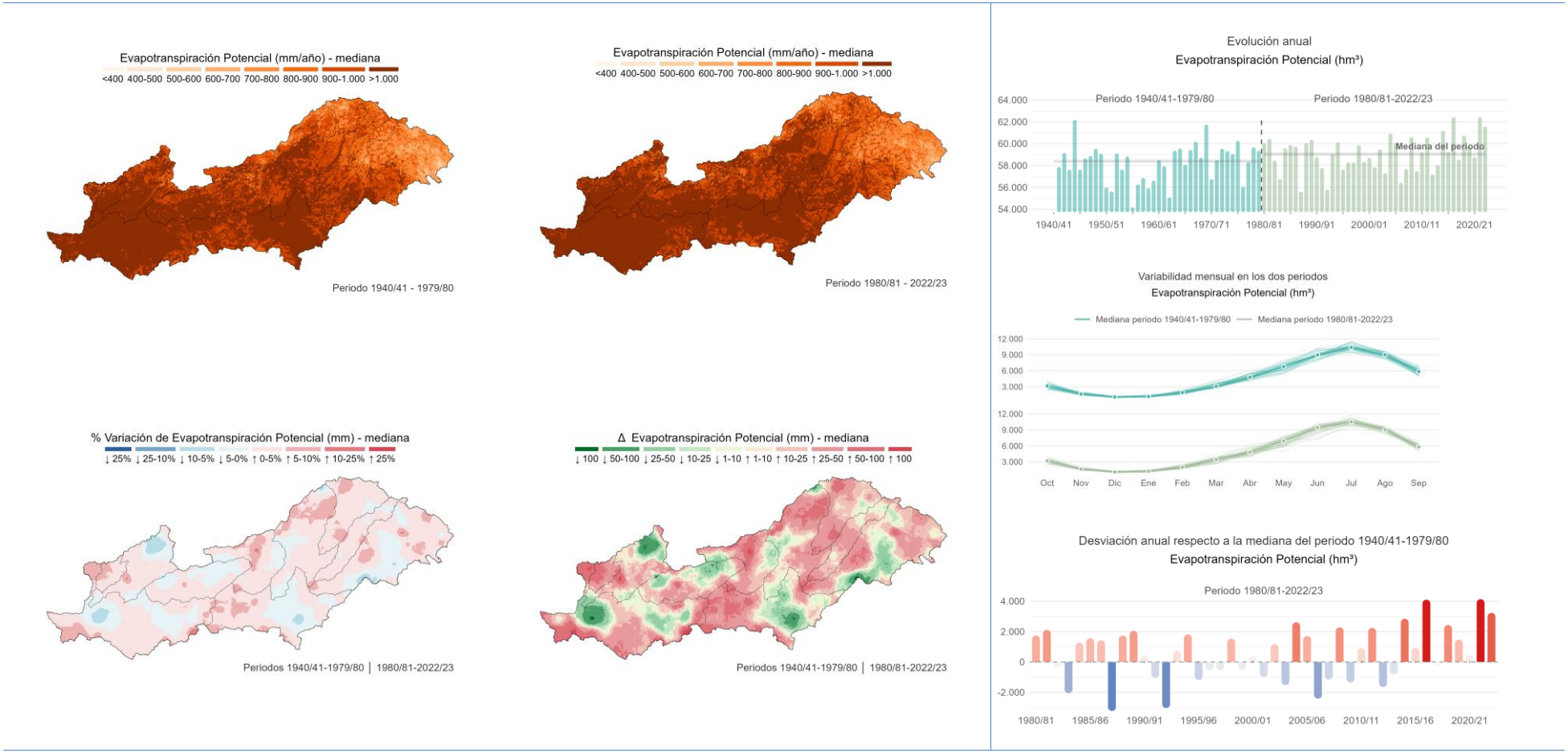


Figura 23. Caracterización espacial y temporal de la evapotranspiración potencial. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (59 040 hm³, 1 058,5 en mm) supera a la del periodo 1940/41–1979/80 (58 395 hm³, 1 046, 9 en mm) en 645 hm³ (11,6 mm), lo que supone un incremento del 1,11%. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 2021/2022, siendo esta de +3 878 hm³ (69,5 mm).

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de junio, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (9 457 hm³, 169,5 en mm) supera a la del periodo 1940/41–1979/80 (8 952 hm³, 160,5 en mm) en 505 hm³ (9 mm).

2.8 Régimen de precipitaciones

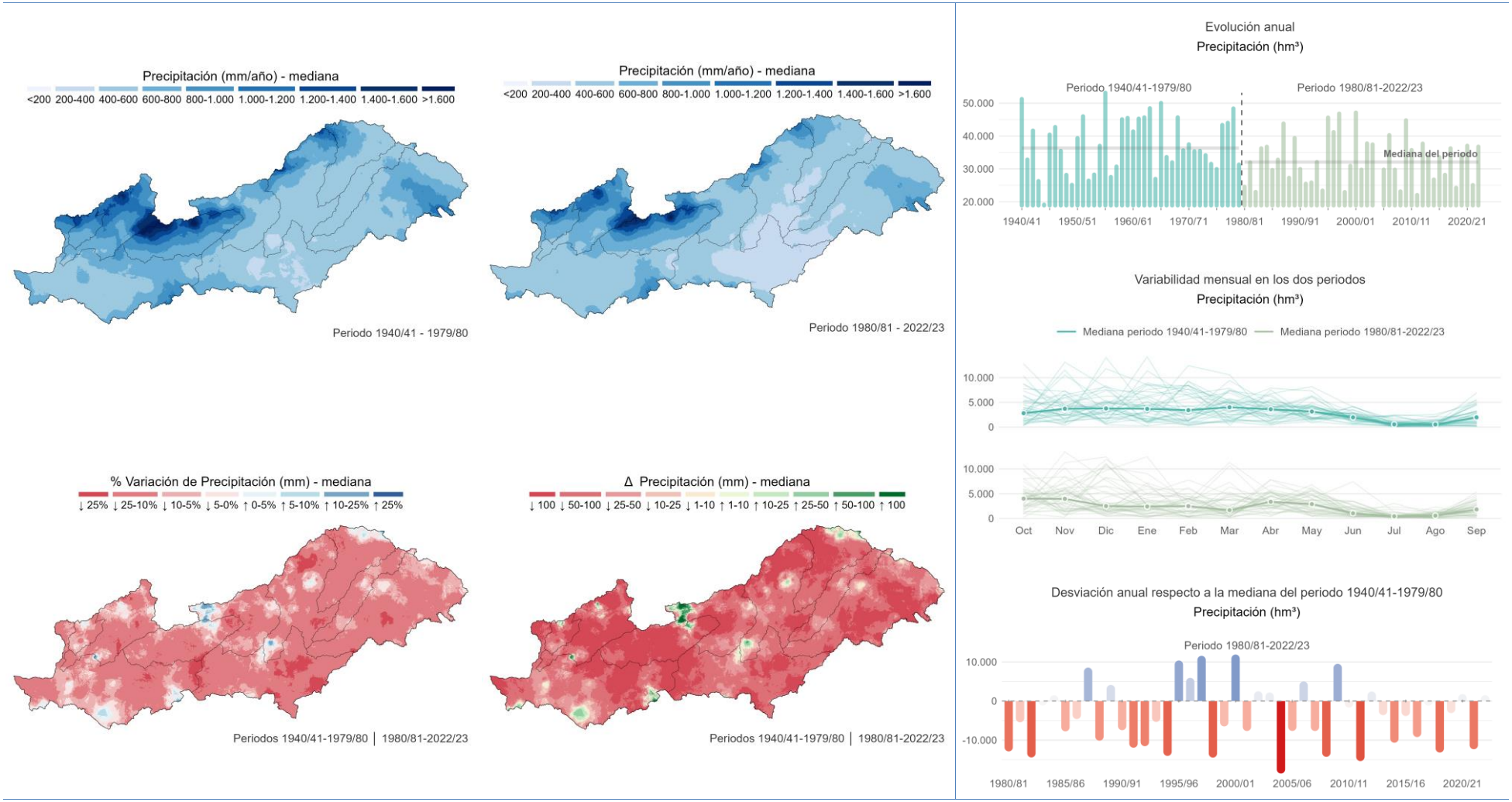


Figura 24. Caracterización espacial y temporal de la precipitación. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (32 073 hm³, 575 en mm) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (36 332 hm³, 651,4 en mm) en 4 259 hm³ (76,4 mm), lo que supone un descenso del 11,72%. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 2004/2005, siendo esta de -17 456 hm³ (-312,9 mm).

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de marzo, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (1 678 hm³, 30 en mm) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (4 010 hm³, 71,8 en mm) en 2 332 hm³ (41,8 mm).

2.9 Régimen nival

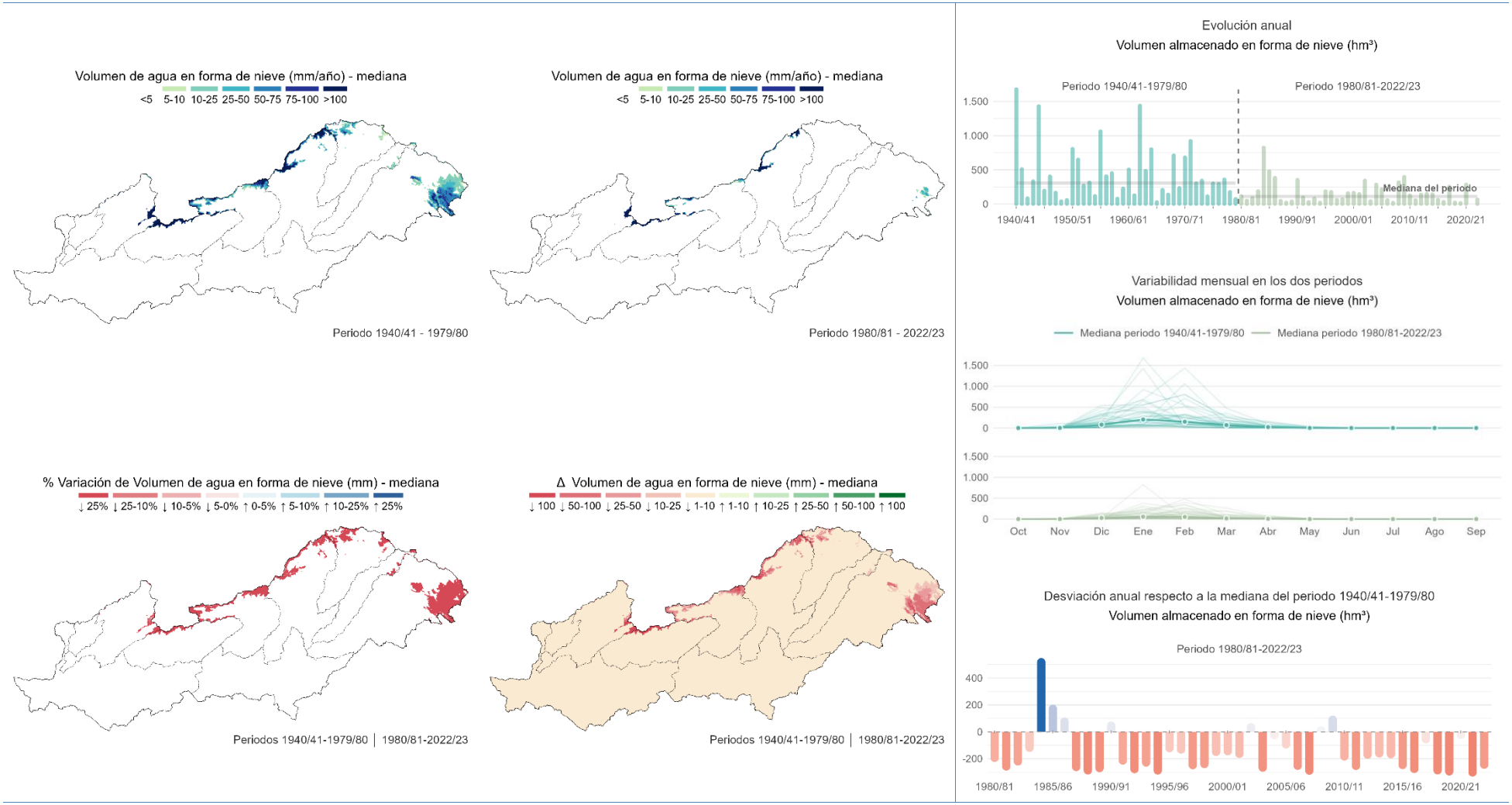


Figura 25. Caracterización espacial y temporal de la precipitación. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (111,99 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (305,31 hm³) en 193,32 hm³, lo que supone un descenso del 63,32%. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 1984/1985, siendo esta de 517,24hm³. Se representa la máxima acumulación de nieve mensual.

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de enero, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (56 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (203 hm³) en 147 hm³.

2.10 Humedad del suelo

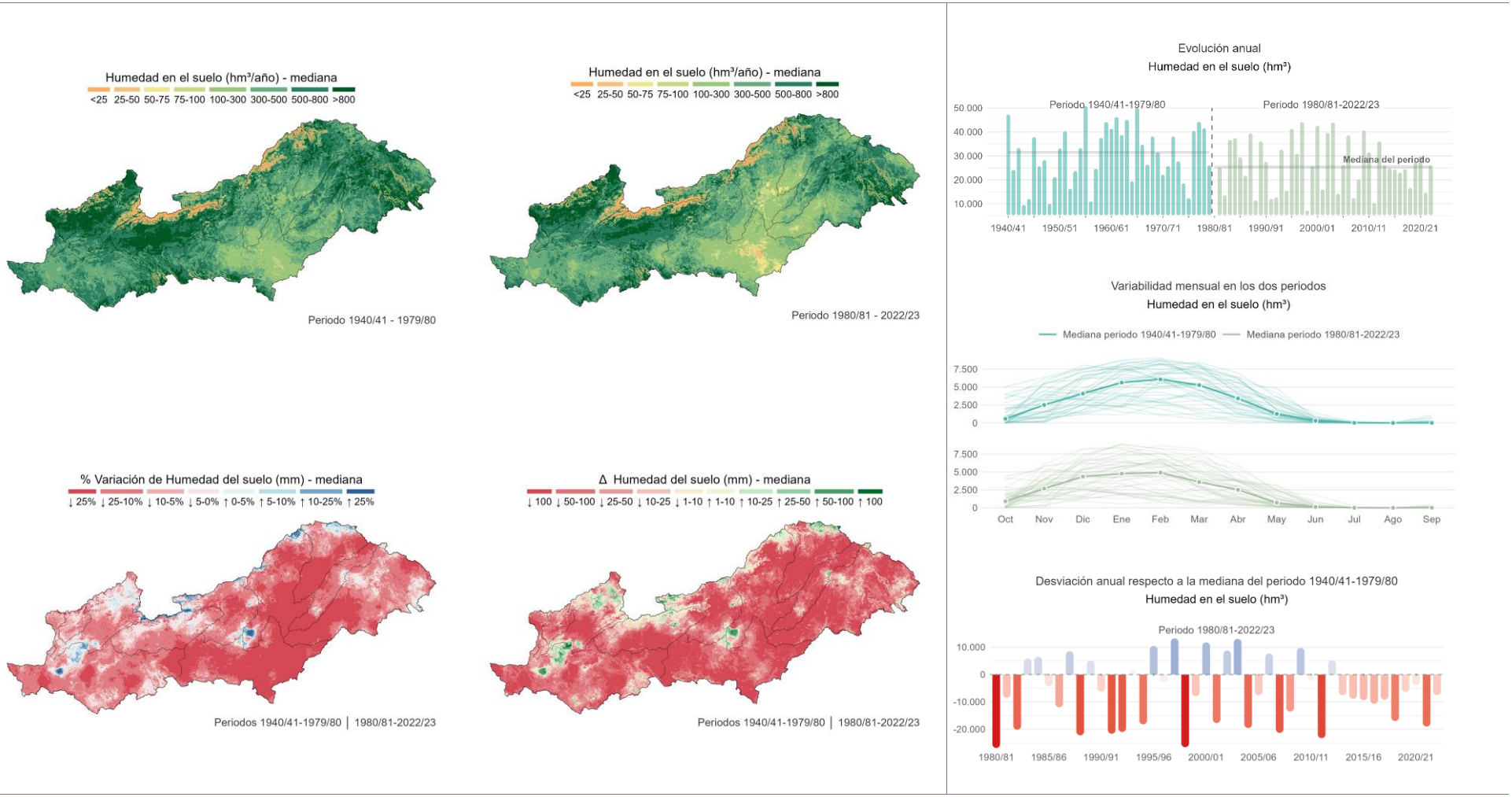


Figura 26. Caracterización espacial y temporal de la humedad en el suelo. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (25 315 hm³, 453,8 en mm) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (31 467 hm³, 564,1 en mm) en 6 152 hm³ (110,3 mm), lo que supone un descenso del 19,55%. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 1980/1981, siendo esta de -25 444 hm³ (-456,1 mm). Debe señalarse que la humedad del suelo no es acumulativa; por tanto, la suma de valores mensuales carece de interpretación física directa. No obstante, es un indicador sintético útil de la variabilidad interanual.

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de marzo, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (3 591 hm³, 64,4 en mm) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (5 280 hm³, 94,6 en mm) en 1 689 hm³ (30,2 mm).

2.11 Infiltración

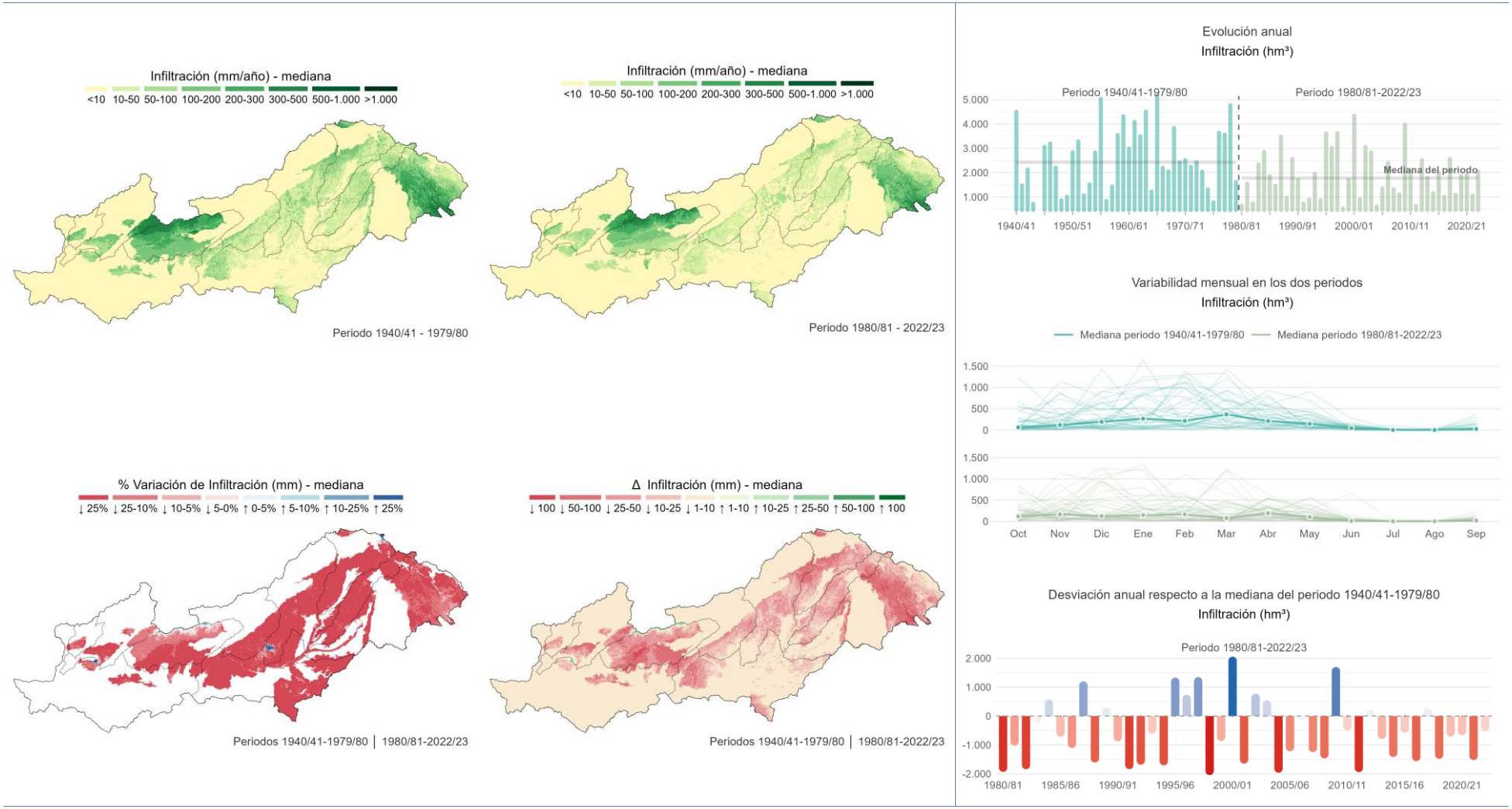


Figura 27. Caracterización espacial y temporal de la infiltración. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (1 779 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (2 427 hm³) en 648 hm³, lo que supone un descenso del 26,7%. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 2000/2001, siendo esta de +1 912 hm³.

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de marzo, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (78 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (368 hm³) en 290 hm³.

2.12 Estrés hídrico

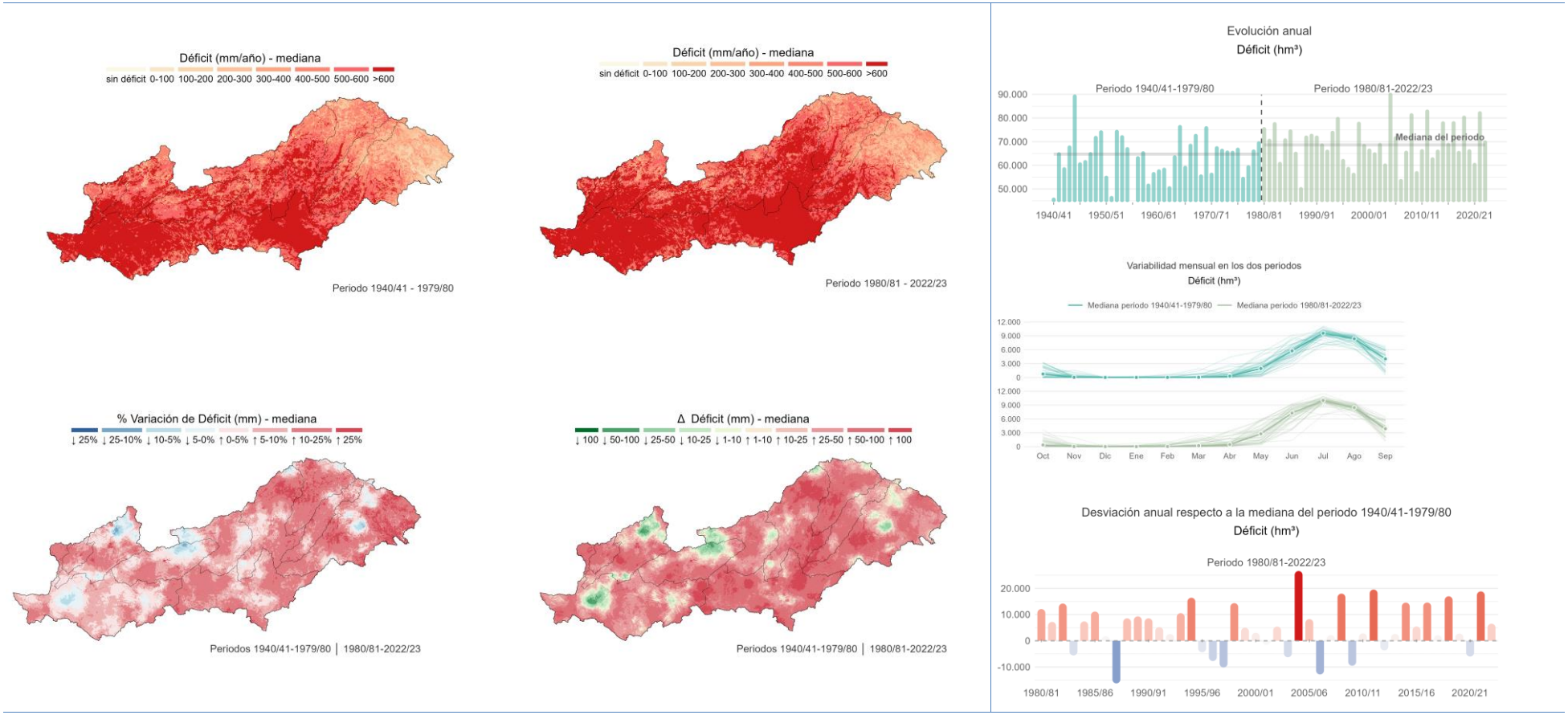


Figura 28. Caracterización espacial y temporal del déficit. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

Esta variable, que representa el déficit hídrico, es calculada mediante la diferencia de la evapotranspiración potencial (ETP) menos la evapotranspiración real (ETR), es decir, mide el volumen de agua que podría evaporar o transpirar, pero que no se consumió realmente por falta de agua disponible en el suelo. La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (34 313 hm³, 615,2 en mm) supera a la del periodo 1940/41–1979/80 (32 360 hm³, 580 en mm) en 1 953 hm³ (35,2 mm), lo que supone un incremento del 6,04%. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 2004/2005, siendo esta de 12 549 hm³ (224,9 mm).

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de junio, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (7 278 hm³, 130,4 en mm) supera a la del periodo 1940/41–1979/80 (5 766 hm³, 103,4 en mm) en 1 511 hm³ (27 mm).

2.13 Evapotranspiración real

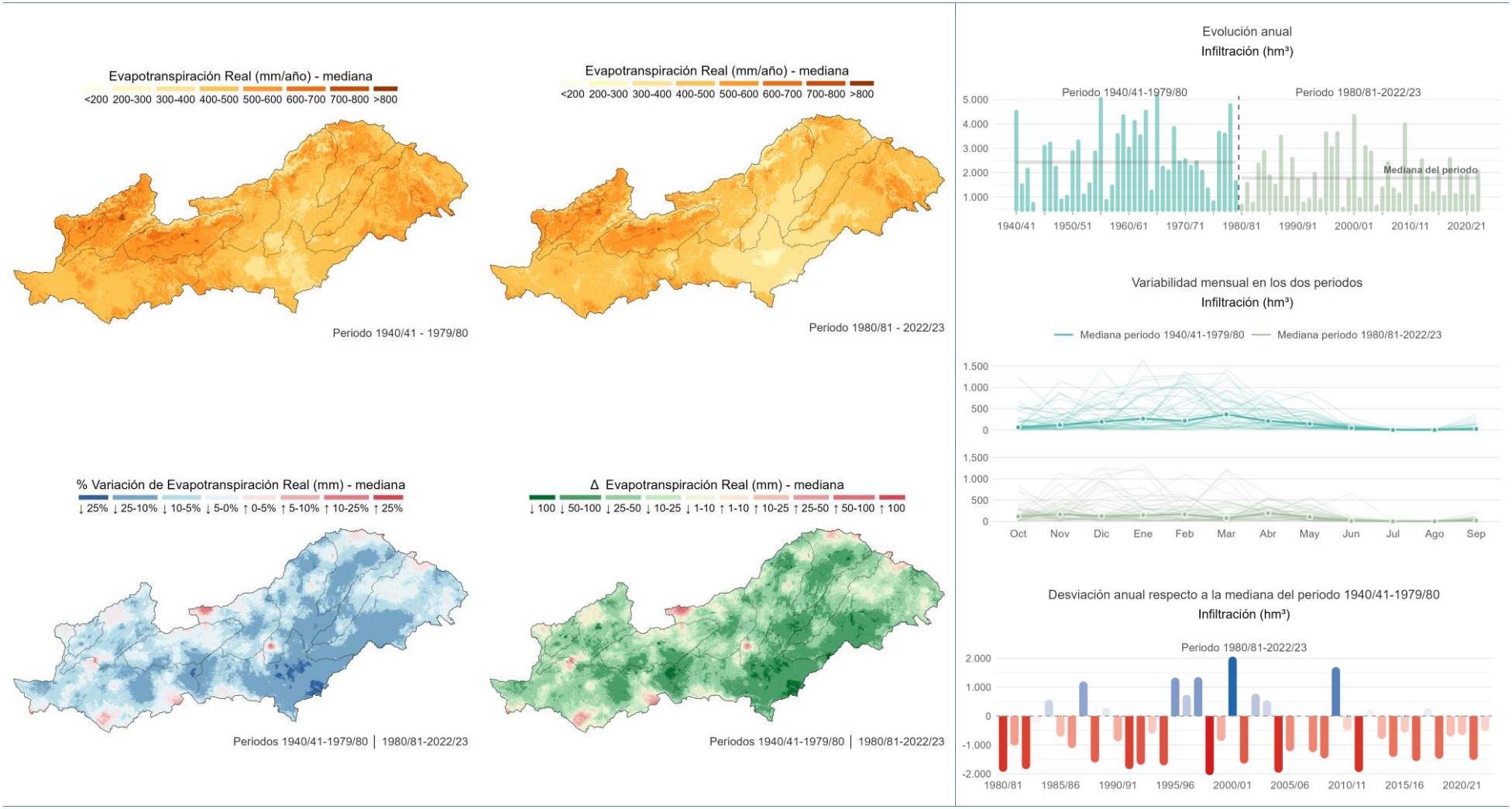


Figura 29. Caracterización espacial y temporal de la evapotranspiración real. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (24 732 hm³, 443,3 en mm) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (26 493 hm³, 474,9 en mm) en 1 761 hm³ (31,6 mm), lo que supone un descenso del 6,65%. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 2004/2005, siendo esta de -10 653 hm³ (-190,9 mm).

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de junio, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (2 055 hm³, 36,8 en mm) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (3 191 hm³, 57,2 en mm) en 1 136 hm³ (20,4 mm).

2.14 Escorrentía subterránea

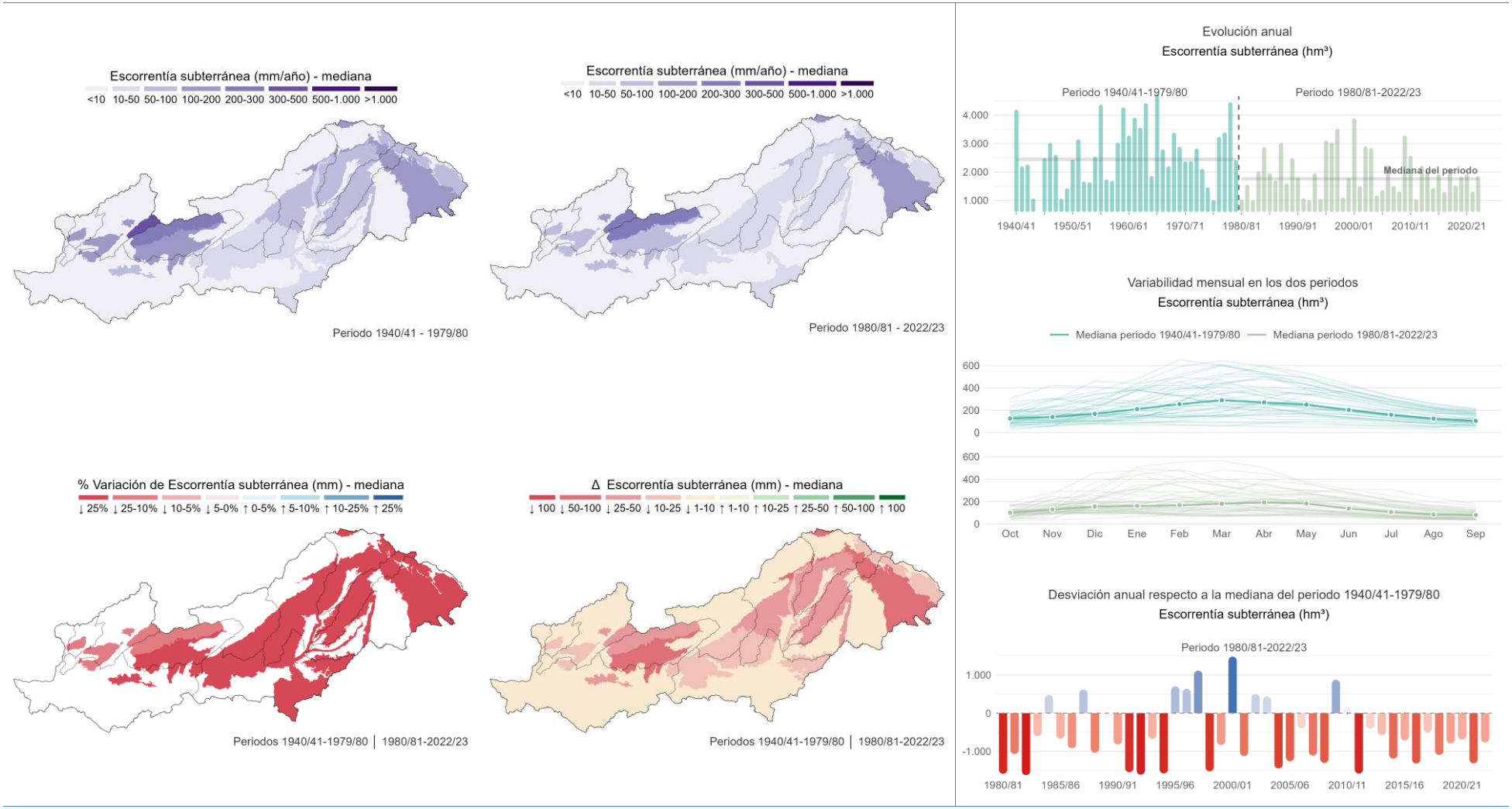


Figura 30. Caracterización espacial y temporal de la escorrentía subterránea. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (1 762 hm³, 31,6 en mm) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (2 441 hm³, 43,7 en mm) en 679 hm³ (12,1 mm), lo que supone un descenso del 27,82%. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 1982/1983, siendo esta de -1 513 hm³ (-27 mm).

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de marzo, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (181 hm³, 3,2 en mm) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (289 hm³, 5,2 en mm) en 108 hm³ (2 mm).

2.15 Escorrentía superficial

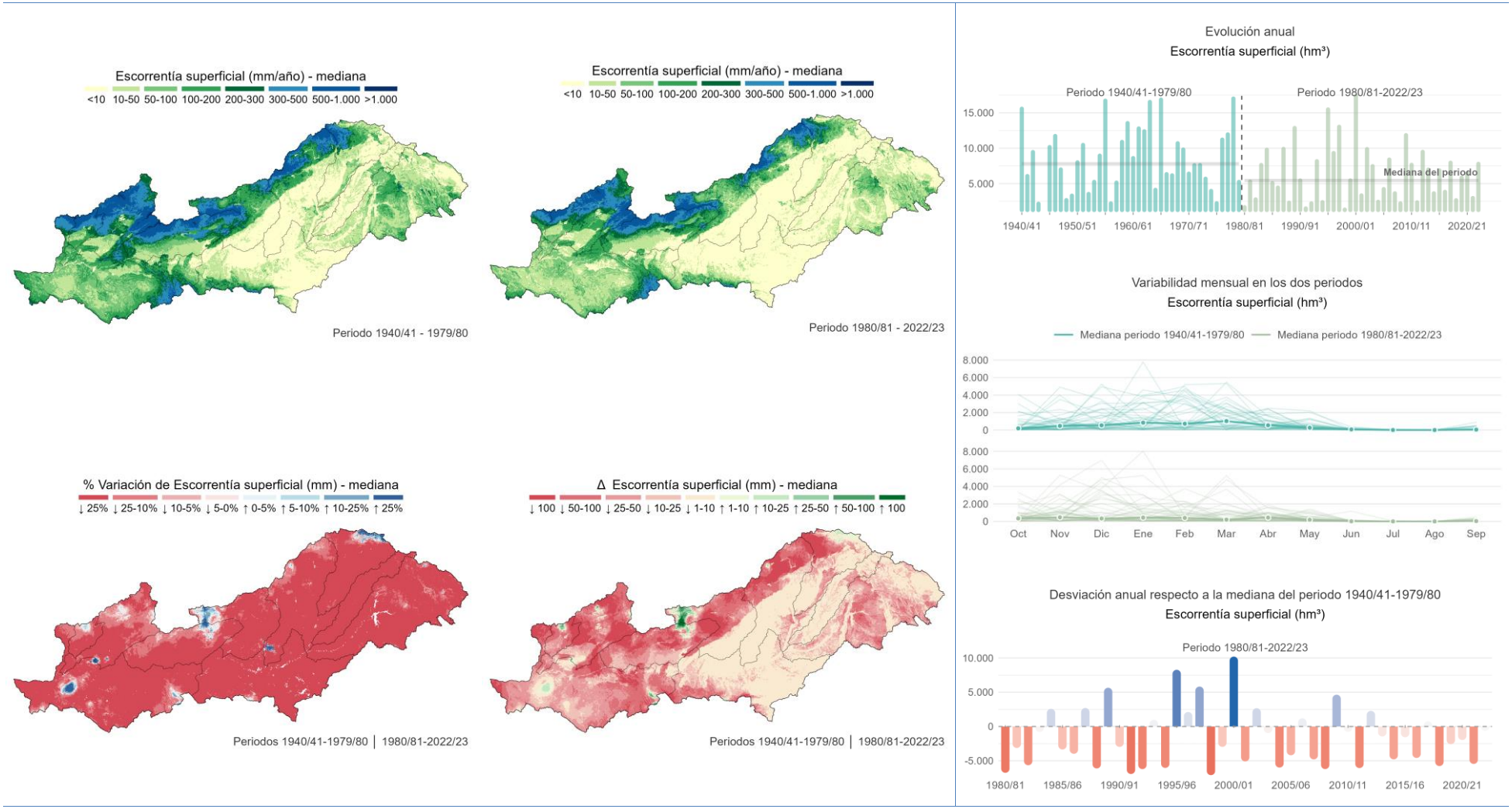


Figura 31. Caracterización espacial y temporal de la escorrentía superficial. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (5 449 hm³, 97,7 en mm) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (7 809 hm³, 139,9 en mm) en 2 359 hm³ (42,2 mm), lo que supone un descenso del 30,22%. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 2000/2001, siendo esta de +9 591 hm³ (171,9 mm).

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de marzo, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (201 hm³, 3,6 en mm) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (1 025 hm³, 18,4 en mm) en 824 hm³ (14,8 mm).

2.16 Aportaciones totales

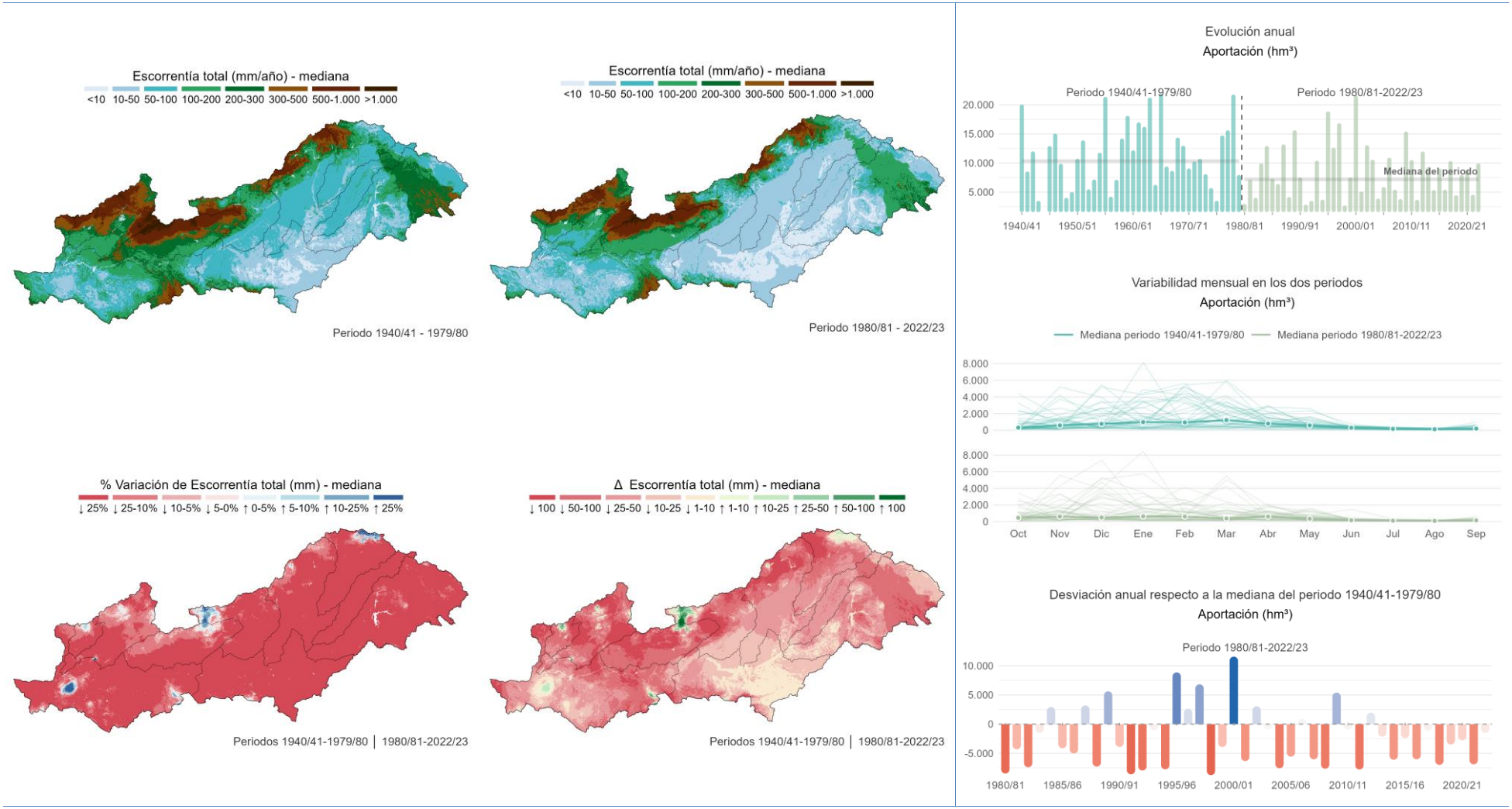


Figura 32. Caracterización espacial y temporal de la aportación. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (7 173 hm³, 128,5 en mm) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (10 368 hm³, 185,8 en mm) en 3 196 hm³ (57,3 mm), lo que supone un descenso del 30,82%. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 2000/2001, siendo esta de +10 845 hm³ (194,4 mm).

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de marzo, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (380 hm³, 6,8 en mm) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (1 221 hm³, 21,9 en mm) en 380 hm³ (15,1 mm).

2.17 Precipitaciones máximas diarias (AdapteCCa)

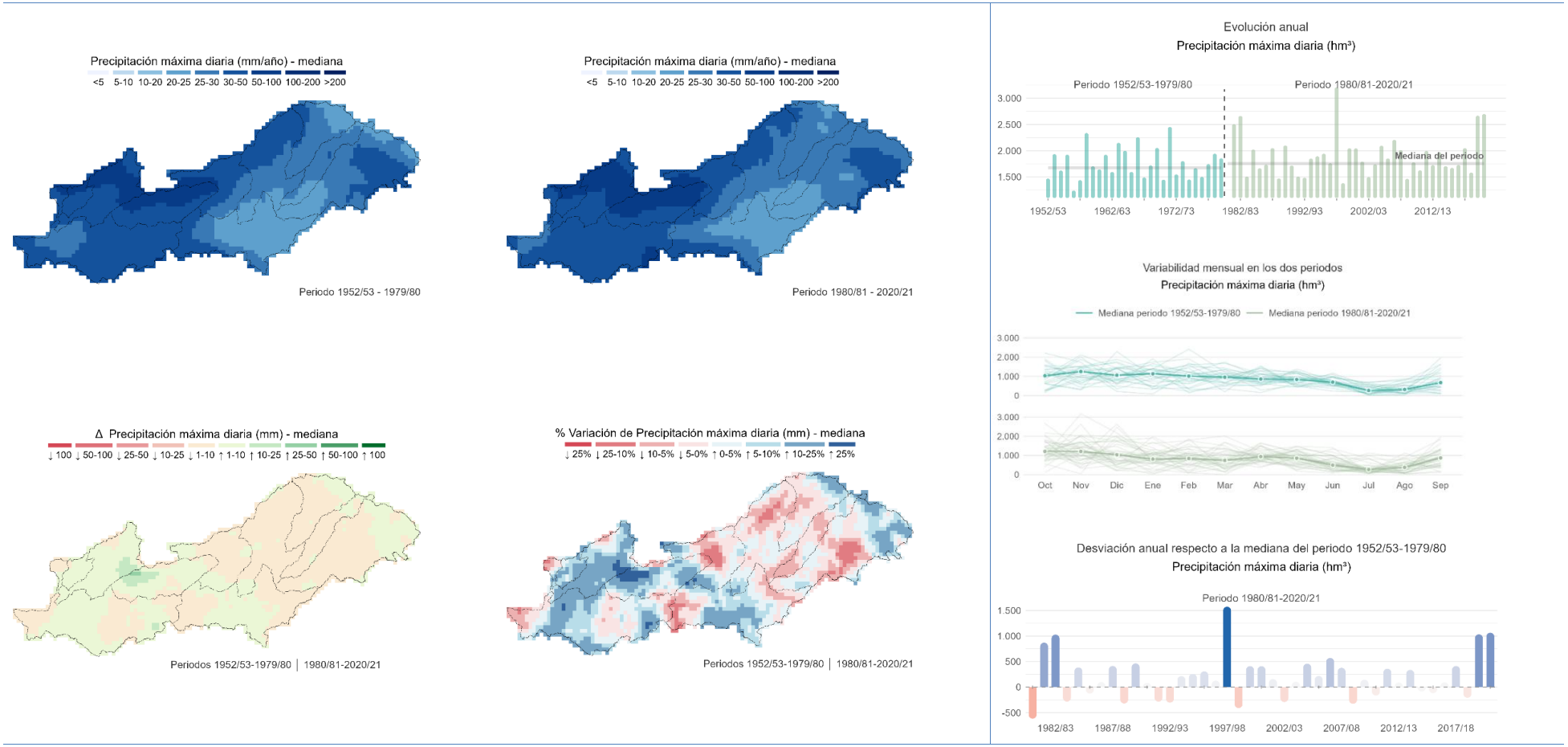


Figura 33. Caracterización espacial y temporal de la aportación. Comparación entre los periodos 1952/53–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de AdapteCCa.

La mediana del periodo 1980/81–2020/21 (1 753,99 hm³, 31,44 mm) es superior a la del periodo 1952/53–1979/80 (1 674,43 hm³, 30 mm) en 79,56 hm³ (1,44 mm), lo que supone un aumento del 4,75 %. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 1997/1998, siendo esta de +1 497,22 hm³ (26,84 mm). A diferencia de las temperaturas máximas diarias, en este caso, las medianas de los periodos están referidas a la máxima anual de los doce meses de cada año del periodo al que pertenecen.

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de enero, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (810 hm³, 14,53 en mm) es inferior a la del periodo 1952/53–1979/80 (1 138 hm³, 20,4 en mm) en 327 hm³ (5,9 mm).

2.18 Precipitaciones máximas diarias (CAUMAX)

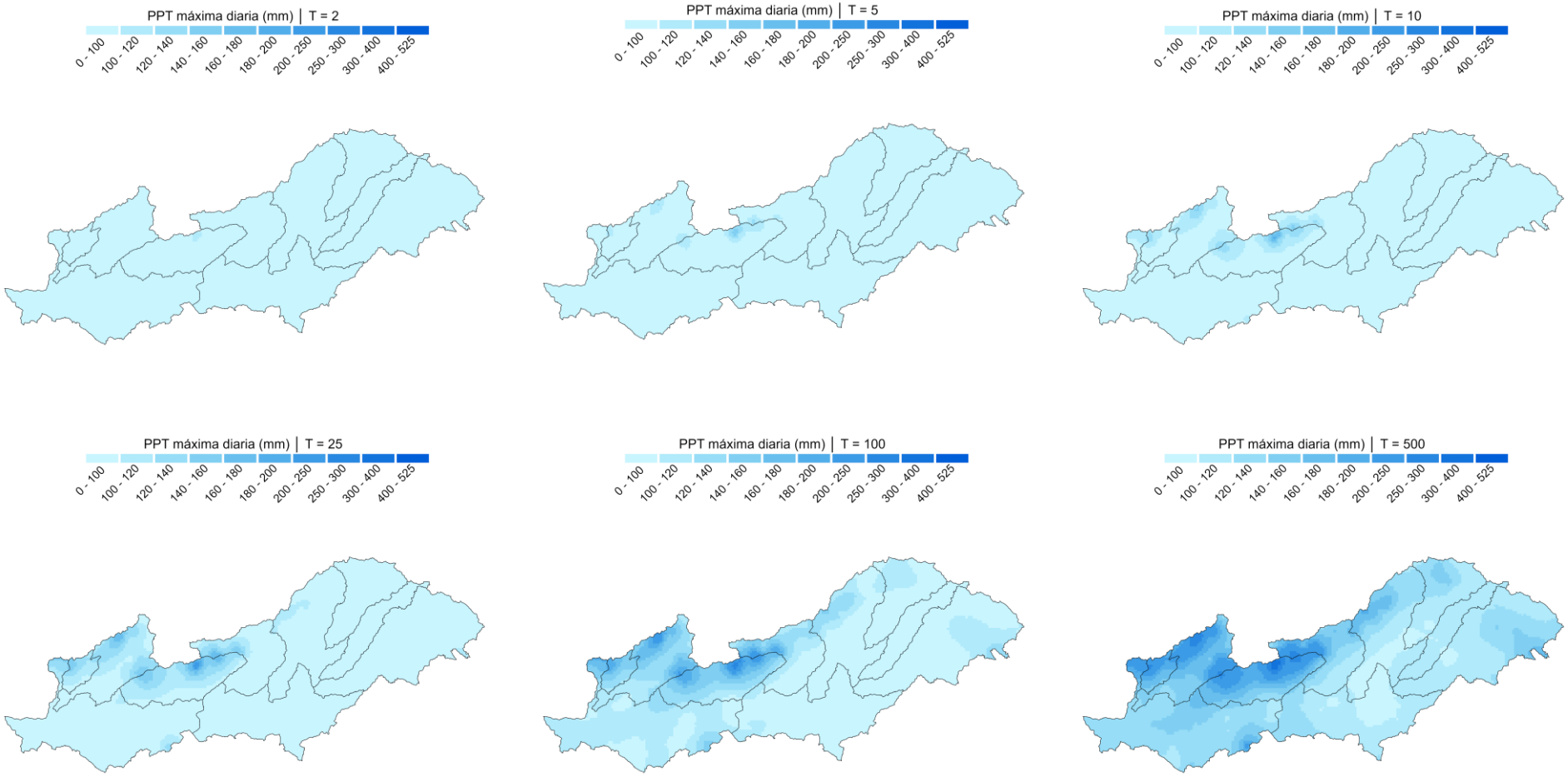


Figura 34. Caracterización espacial de las precipitaciones máximas diarias para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años. Fuente: CAUMAX, 2014.

Los valores de las precipitaciones máximas diarias se obtuvieron a partir de CAUMAX, herramienta del MITECO, que permite consultar mapas de caudales máximos de ríos en régimen natural, para diferentes periodos de retorno. Los mapas de precipitación proceden del trabajo de Máximas Lluvias Diarias en la España Peninsular realizado por el CEDEX para la Dirección General de Carreteras (DGC 1999).

2.19 Caudales máximos

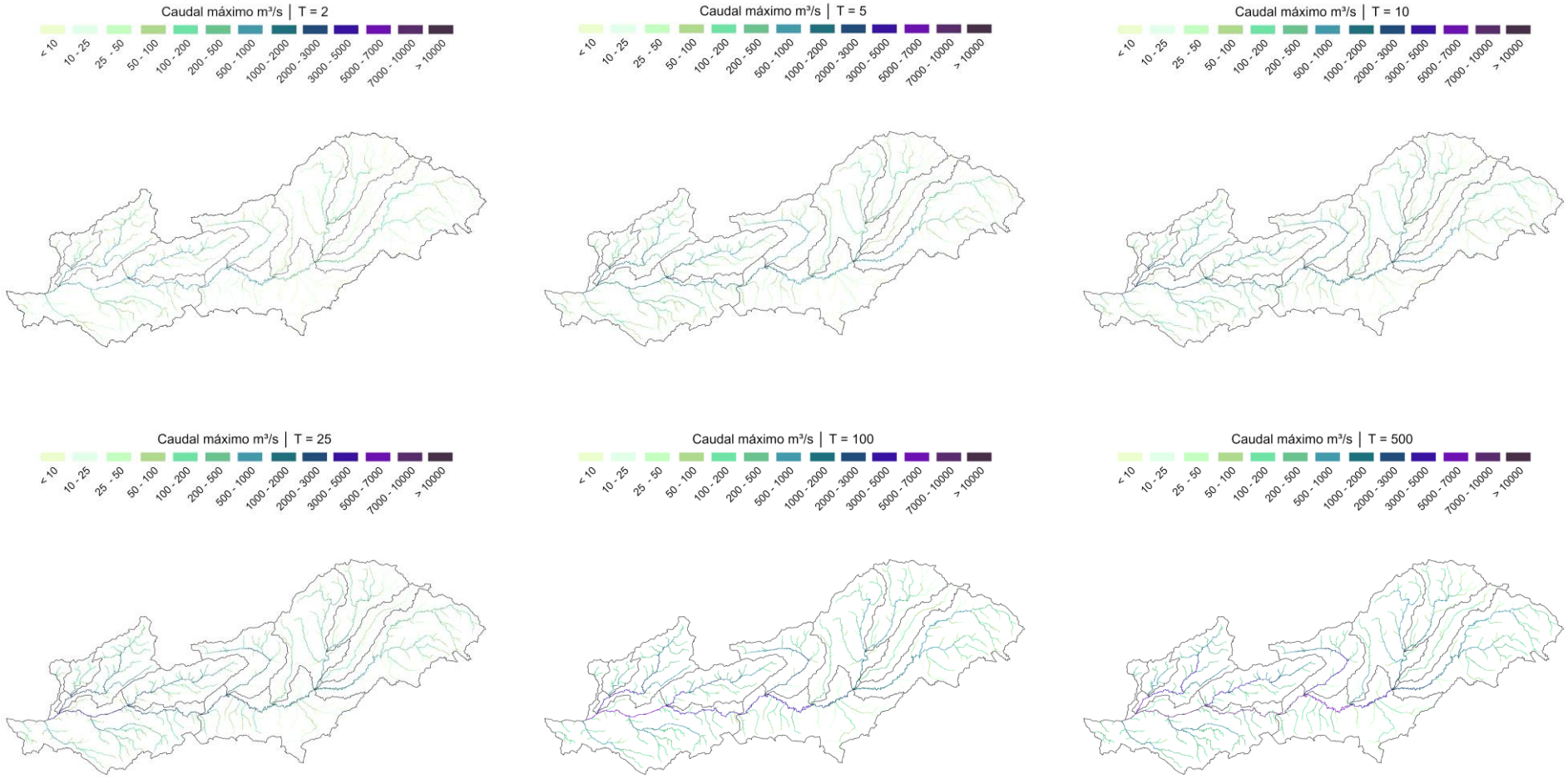
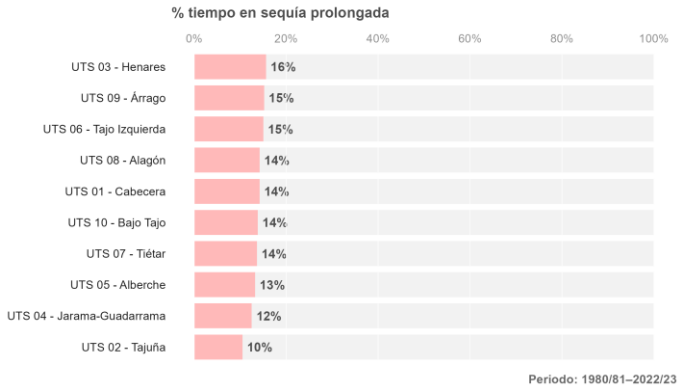


Figura 35. Caracterización espacial de los caudales máximos para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años. Fuente: CAUMAX, 2014.

Los mapas de caudales máximos se obtienen a partir de CAUMAX, herramienta de consulta de mapas de caudales máximos de ríos en régimen natural, para diferentes periodos de retorno. Los mapas de caudales máximos se obtienen mediante análisis estadístico de series históricas de caudales máximos (aforos), ajustando leyes de frecuencia para distintos periodos de retorno y extrapolando a puntos sin datos mediante modelos hidrometeorológicos y regresiones estadísticas.

2.20 Sequía prolongada y escasez coyuntural



UTE	% meses en cada fase (escasez)					periodo en alerta o emergencia			periodo en sequía prolongada		
	Normalidad	Prealerta	Alera	Emergencia	nº meses analizados	nº secuencias (3 meses o más)	Secuencia más larga (nº meses)	Periodo de la secuencia más larga	nº secuencias (3 meses o más)	Secuencia más larga (nº meses)	Periodo de la secuencia más larga
UTE 01. Eje del Tajo hasta Azután	82,14%	15,28%	2,58%	0,00%	504	3	4	08/1995 - 12/1995	9	13	04/2005-05/2006
UTE 02. Tajuña	31,41%	13,46%	17,63%	37,50%	312	9	44	01/2006 - 09/2009	7	11	06/1994-05/1995
UTE 03. Riegos del Henares	57,14%	22,86%	9,52%	10,48%	420	9	37	12/1992 - 01/1996	15	9	11/2011 - 08/2012
UTE 04. Abastecimiento de la Mdad. de Aguas del Sorbe	61,32%	19,66%	17,09%	1,92%	468	14	14	10/2001 - 12/2002	15	9	11/2011 - 08/2012
UTE 05. Abastecimiento de Madrid	79,13%	17,89%	2,98%	0,00%	503	2	10	03/1983 - 01/1984	10	10	01/1995 - 11/1995
UTE 06. Alberche	72,82%	13,29%	10,32%	3,57%	504	9	17	05/2005 - 10/2006	10	9	11/1994 - 08/1995
UTE 07. Abastecimiento del sistema Toledo	41,35%	31,41%	15,71%	11,53%	503	13	50	11/1991 - 01/1996	12	19	03/1994 - 10/1995
UTE 08. Riegos del Tiétar	79,17%	9,79%	7,71%	3,33%	480	8	9	01/2005 - 10/2005	11	7	01/2012 - 08/2012
UTE 09. Riegos del Alagón	74,21%	15,48%	4,37%	5,95%	504	7	22	12/1991 - 10/1993	14	6	11/1991 - 05/1992
UTE 10. Abastecimiento del sistema Béjar	46,11%	29,72%	24,17%	0,00%	360	14	7	10/1998 - 05/1999	14	6	11/1991 - 05/1992
UTE 11. Riegos del Ambroz	92,59%	4,44%	1,48%	1,48%	270	2	4	12/2005 - 04/2006	14	6	11/1991 - 05/1992
UTE 12. Abastecimiento de Plasencia	94,27%	4,77%	0,95%	0,00%	419	1	3	11/1988 - 02/1989	14	6	11/1991 - 05/1992
UTE 13. Riegos del Árrago	80,81%	7,83%	8,84%	2,53%	396	6	9	12/1991 - 09/1992	12	10	08/1991 - 06/1992
UTE 14. Bajo Tajo	58,53%	27,98%	2,98%	10,52%	504	8	9	12/1992 - 09/1993	12	8	08/1991 - 04/1992
UTE 15. Abastecimiento del sistema Cáceres*	25,24%	33,49%	39,15%	2,12%	424	16	21	05/2019 - 02/2021	12	8	08/1991 - 04/1992
UTE 16. Abastecimiento del sistema Santa Lucía	71,62%	16,83%	9,24%	2,31%	303	6	8	07/2005 - 03/2006	12	8	08/1991 - 04/1992
ES030. Indice Global de demarcación	75,40%	23,41%	1,19%	0,00%	504	0	2	05/1993 - 06/1993	8	7	01/2012 - 08/2012

Figura 36. Evaluación del porcentaje de tiempo en sequía prolongada y niveles de escasez coyuntural. Fuente: elaboración a partir de los informes mensuales de seguimiento de los PES y revisión del PES 2025.

La UTS con mayor porcentaje de tiempo en sequía prolongada es la UTS Henares (16%), mientras que la que presenta el menor porcentaje es la UTS Tajuña. En cuanto a los escenarios de escasez, la UTE con mayor porcentaje de tiempo en las fases de alerta y emergencia es la UTE Tajuña (55,13%).

3. Escenarios de cambio climático

El cambio climático proyectado

Descripción de los escenarios climáticos

Definición del escenario hidrometeorológico más probable

Cambios proyectados en el régimen térmico y pluviométrico

Cambios proyectados en la incidencia de fenómenos extremos

Componentes atmosféricas

Tipos climáticos

Régimen térmico - escenario intermedio (SSP2-4.5)

Régimen térmico - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

Régimen pluviométrico – escenario intermedio (SSP2-4.5)

Régimen pluviométrico - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

Evapotranspiración potencial – escenario intermedio (SSP2-4.5)

Evapotranspiración potencial - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

Procesos hidrológicos terrestres

Infiltración – escenario intermedio (SSP2-4.5)

Infiltración - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

Régimen nival – escenario intermedio (SSP2-4.5)

Régimen nival - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

Evapotranspiración real – escenario intermedio (SSP2-4.5)

Evapotranspiración real - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

Aportaciones totales – escenario intermedio (SSP2-4.5)

Aportaciones totales - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

Variabilidad y extremos climáticos

Incertidumbres sobre la evolución futura de los máximos de precipitación

Precipitación máxima diaria (CEDEX) – escenario intermedio (SSP2-4.5)

Precipitación máxima diaria (CEDEX) - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

Precipitación máxima acumulada en la red fluvial

Precipitación máxima diaria (AdaptECCa) – escenario intermedio (SSP2-4.5)

Precipitación máxima diaria (AdaptECCa) - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

Cambio en la frecuencia y magnitud de las sequias

Evolución de la aridez

3.1 Descripción de los escenarios climáticos

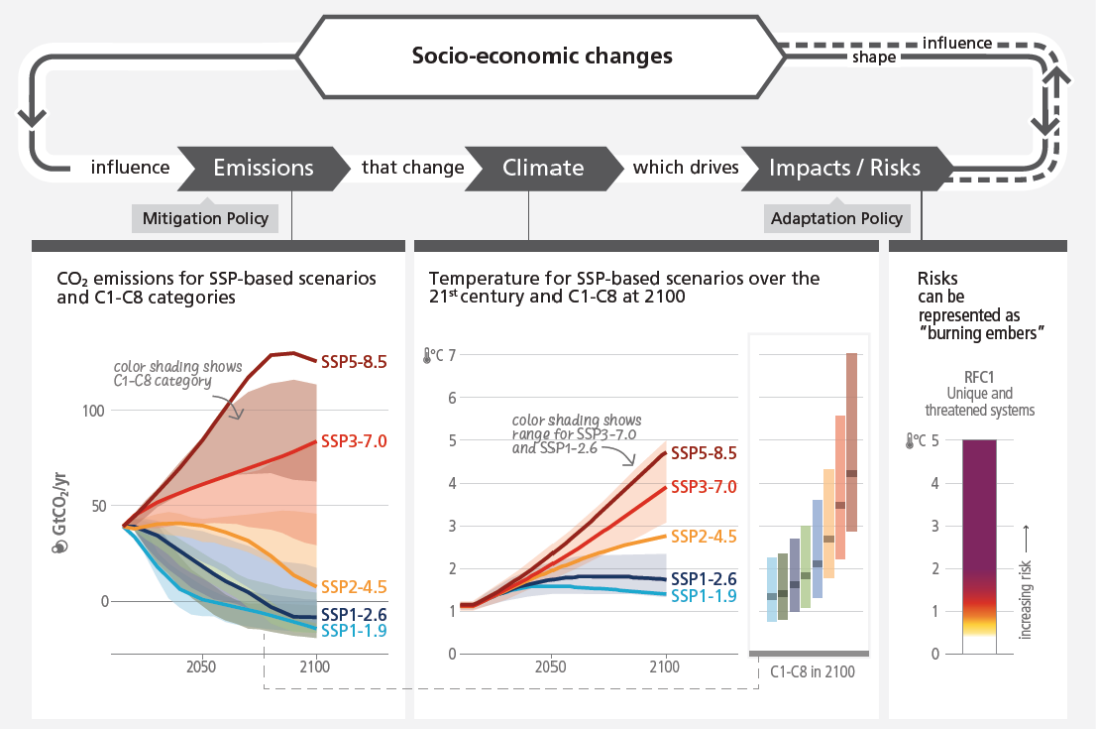


Figura 37. Representación de la cadena causa-efecto embebida en los SSP. Fuente: AR6

En las primeras evaluaciones del IPCC ya se emplearon familias de escenarios que combinaban hipótesis socioeconómicas y trayectorias de emisiones. Estos escenarios se utilizaron en muchos de los primeros estudios de impacto, incluyendo los trabajos del CEDEX basados en el **Tercer Informe** del IPCC. Más tarde, con el **Quinto Informe** (AR5), se introdujeron las *Representative Concentration Pathways* (RCP), centradas en el forzamiento radiativo a final de siglo (RCP2.6, 4.5, 6.0, 8.5), es decir, en la "intensidad" física del cambio climático más que en el detalle socioeconómico que lo genera.

En el **Sexto Informe** (AR6) el marco se completa combinando las RCP con las *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP), que describen futuros socioeconómicos alternativos (tendencias en crecimiento, desigualdad, gobernanza, etc.). La combinación SSP–RCP da lugar a escenarios integrados como SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 o SSP5-8.5, que permiten analizar a la vez el comportamiento del clima y la evolución de la exposición y la vulnerabilidad. Sintéticamente, el escenario SSP2-4.5 (AR6) se corresponde, en términos de forzamiento radiativo, con el RCP4.5 (AR5), mientras que el SSP5-8.5 se corresponde con el RCP8.5

En paralelo, se ha extendido un enfoque complementario basado en "niveles de calentamiento" (+1,5 °C, +2 °C, +3 °C sobre el periodo preindustrial), muy útil para vincular los impactos a los objetivos políticos, aunque menos operativo cuando se necesitan horizontes temporales concretos.

Tanto el PNACC como los documentos estratégicos y guías españolas (sección 1.5) incorporan el marco SSP de proyección climática. Por otra parte, se asumen tres marcos de referencia temporal, con ciertas variantes: corto plazo, útil para gestión operativa; medio plazo, adecuado para infraestructuras y políticas públicas estructurales; y largo plazo, asociado al final de siglo, necesario para analizar cambios profundos en el modelo territorial y alinear adaptación y mitigación.

Para el cuarto ciclo de planificación, los trabajos de CEDEX utilizan como periodo de control (PC) el intervalo 1980-2010, coherente con la regionalización y corrección de sesgos realizada por AEMET, y evalúa el impacto del cambio climático sobre tres periodos futuros de 30 años: corto plazo (2030-2060); medio (2050-2080); y largo (2070-2100). Hay que destacar que el corto plazo, tiene como año central 2045, considerado referencia para la evaluación de tendencia a efectos de la elaboración de balances de la planificación hidrológica.

En cuanto a los escenarios climáticos, se emplean prioritariamente los escenarios SSP2-4.5 (*Middle of the Road*), como escenario intermedio o de menor efecto del cambio climático, y SSP5-8.5 (*Taking the Highway*), como escenario de altas emisiones y mayor efecto del cambio climático. Estos escenarios son consistentes con los antiguos escenarios RCP4.5 y RCP8.5 del AR5, lo que facilita la comparación con estudios previos realizados en las demarcaciones hidrográficas.

3.2 Definición del escenario hidrometeorológico más probable

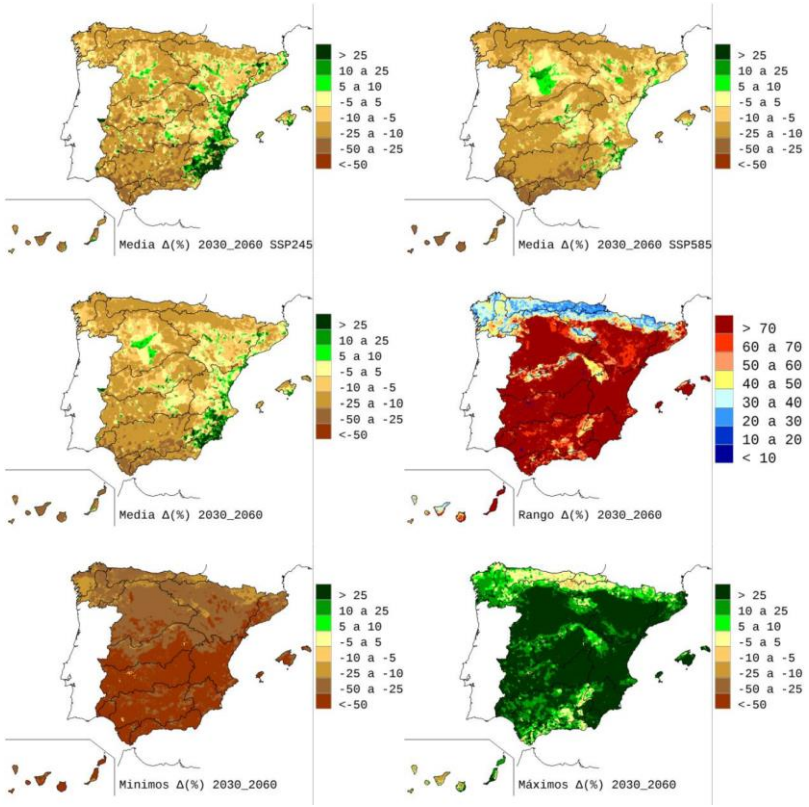


Figura 38. Δ (%) ESC anual para 2030-2060 según el conjunto de las proyecciones. Arriba: media para cada SSP; medio: media y rango para ambos SSP; abajo: valores mínimos y máximos de cambio para ambos SSP. Fuente: «Nota técnica sobre la propuesta de incorporación del cambio climático en los planes hidrológicos del cuarto ciclo» (CEDEX 2025)

Para dar respuesta al mandato del RPH, el escenario hidrometeorológico probable se vincula al segundo horizonte temporal del plan, que para el cuarto ciclo (2028-2033) corresponde al año 2045 y al periodo climático de 30 años en el que se centra, 2031-2060. Los documentos estratégicos y guías españolas (sección 1.5) explicitan que la proyección climática deberá realizarse, como mínimo, para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 y para los horizontes de medio plazo y largo plazo. En coherencia con ello, los **trabajos del CEDEX para el cuarto ciclo** evalúan el impacto del cambio climático sobre las variables climáticas e hidrológicas para el periodo 2030-2060, centrado en 2045, a partir de un conjunto de proyecciones regionalizadas de AEMET para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Tal y como se ha descrito en la sección 3.1, este horizonte 2045 se interpreta como referencia de medio plazo a efectos de la elaboración de los balances entre recursos previsiblemente disponibles y demandas previsibles (art. 21.4 del RPH).

La elección del **escenario de emisiones "más probable"** debe apoyarse en la evidencia internacional y en el marco estratégico nacional. El IPCC AR6 muestra que, bajo las políticas actuales y los compromisos de mitigación comunicados, el calentamiento global a finales de siglo se sitúa en torno a 2,3–2,7 ºC, es decir, claramente por encima del objetivo de 1,5 ºC y próximo a un escenario de emisiones intermedio. Este escenario es compatible con las trayectorias de SSP2-4.5, y lejos tanto de los escenarios de muy bajas emisiones (SSP1-1.9/2.6) como del escenario de muy altas emisiones SSP5-8.5. Los análisis de la brecha de emisiones publicados en torno a la COP30 coinciden en situar las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (Nationally Determined Contributions, NDC) actualizadas en una senda de 2,3–2,5 ºC si se cumplen íntegramente, lo que refuerza la coherencia de tomar un escenario intermedio como referencia central para la planificación, sin que ello implique atribuir probabilidad formal a un único SSP.

En paralelo, las guías españolas recomiendan trabajar siempre con al menos dos escenarios (uno intermedio y otro de altas emisiones) e insisten en gestionar de forma explícita la incertidumbre, más que en asignar probabilidades estrictas a cada trayectoria. En este contexto, **se adopta como escenario hidrometeorológico más probable al horizonte 2045 el correspondiente al escenario SSP2-4.5 para el periodo 2030-2060**, mientras que el escenario SSP5-8.5 se emplea como escenario de contraste de altas emisiones.

Este escenario más probable, conforme al mencionado estudio de CEDEX del 4º ciclo, basado en 22 proyecciones climáticas y simulaciones hidrológicas con el modelo SIMPA, muestra en general un **descenso de los recursos hídricos en régimen natural** en la mayor parte de España para el horizonte 2045, con reducciones más acusadas hacia el sur y sureste peninsular y una señal más moderada o incluso neutra en determinadas zonas del norte y del este (Figura 38). Las reducciones más intensas se asocian, como es esperable, al escenario de altas emisiones SSP5-8.5. A efectos de planificación, el escenario probable se materializa en los rangos de cambio proyectados de precipitación, temperatura, evapotranspiración, recarga y aportaciones hídricas que se van a presentar en las secciones subsiguientes. Como se ha anticipado, además de para el horizonte 2045, se presentan resultados para horizontes posteriores (medio y largo), así como resultados bajo SSP5-8.5 para los mismos periodos temporales. Los escenarios de altas emisiones pueden utilizarse para explorar el comportamiento del sistema bajo condiciones más exigentes y, eventualmente, para contrastar la robustez de las medidas de adaptación.

3.3 Cambios proyectados en el régimen térmico y pluviométrico

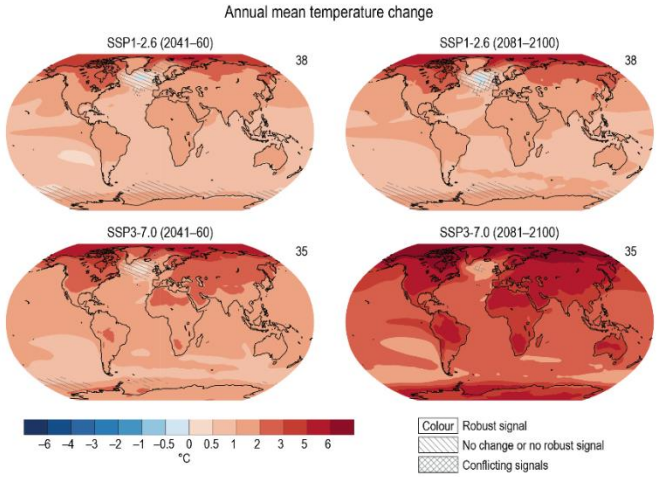


Figura 39. Cambio a medio y largo plazo de la temperatura media anual en superficie Fuente AR6

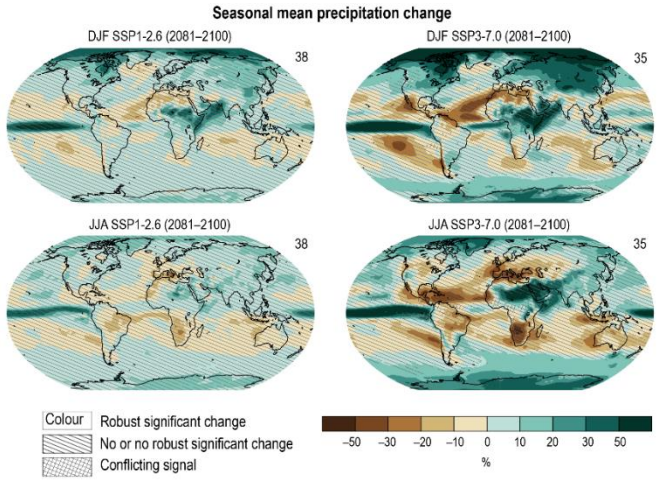


Figura 41. Cambio a largo plazo de la precipitación media estacional. Fuente AR6. DJF:diciembre-enero-febrero; JJA: junio-julio-agosto

Las proyecciones climáticas del IPCC indican que la temperatura media global seguirá aumentando durante todo el siglo XXI y que Europa se calentará más rápidamente que la media del planeta. En los escenarios de bajas emisiones el calentamiento global a finales de siglo se sitúa en torno a 1,5-2 °C, mientras que en los de altas emisiones puede superar los 3-4 °C, con incrementos aún mayores sobre los continentes.

En este contexto, España aparece sistemáticamente entre las zonas con mayor aumento térmico y mayor presión sobre los recursos hídricos: las proyecciones del ERICC señalan para 2081-2100 incrementos de la temperatura media anual de unos +2-3,5 °C en escenarios intermedios y de más de +4-6 °C en los más emisivos, junto con descensos probables de la precipitación anual del −4 % al −16 % y un aumento de la frecuencia y duración de olas de calor, sequías y episodios de lluvia intensa, en consonancia con la evaluación de la AEMA sobre el agravamiento del estrés hídrico en el sur de Europa y la península ibérica.

A escala regional, estos modelos coinciden en que el calentamiento será más intenso en el interior, arco mediterráneo peninsular y Canarias, y relativamente menor en el norte y la fachada atlántica. La reducción de la precipitación se proyecta sobre todo en el sur y sureste y en las cuencas mediterráneas (Guadalquivir, Segura, Júcar y cuencas internas mediterráneas), mientras que en el norte y noroeste (Galicia, Cantábrico, parte alta de Duero y Miño-Sil) la señal es más incierta y las disminuciones previstas son menores, aunque con posible intensificación de los episodios extremos de precipitación y de las sequías meteorológicas e hidrológicas.

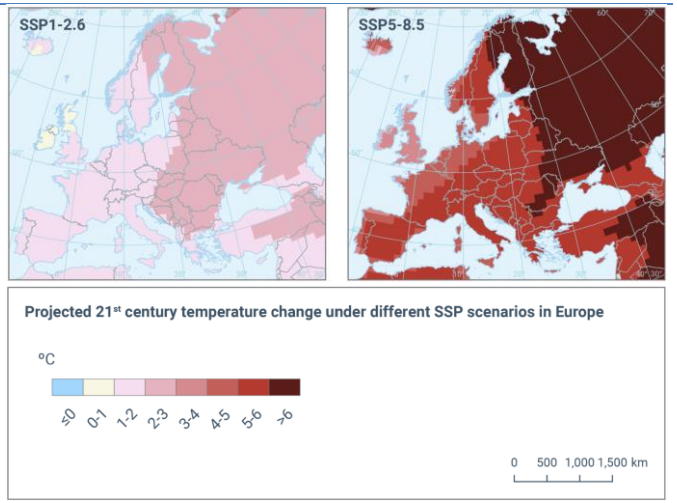


Figura 40. Tendencia en la temperatura media anual en Europa bajo diferentes escenarios climáticos. Fuente: AEMA

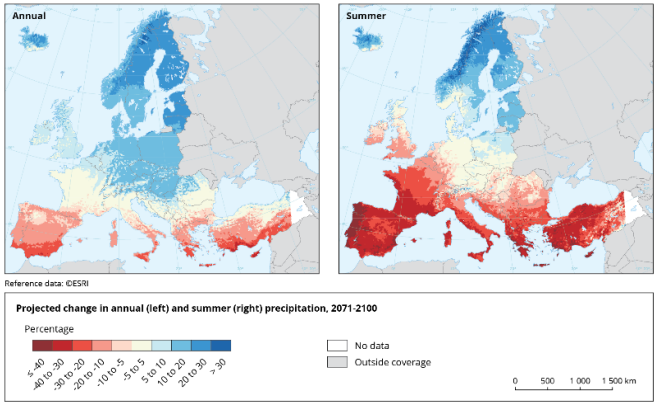


Figura 42. Tendencias en la precipitación. Fuente: AEMA

3.4 Cambios proyectados en la incidencia de fenómenos extremos

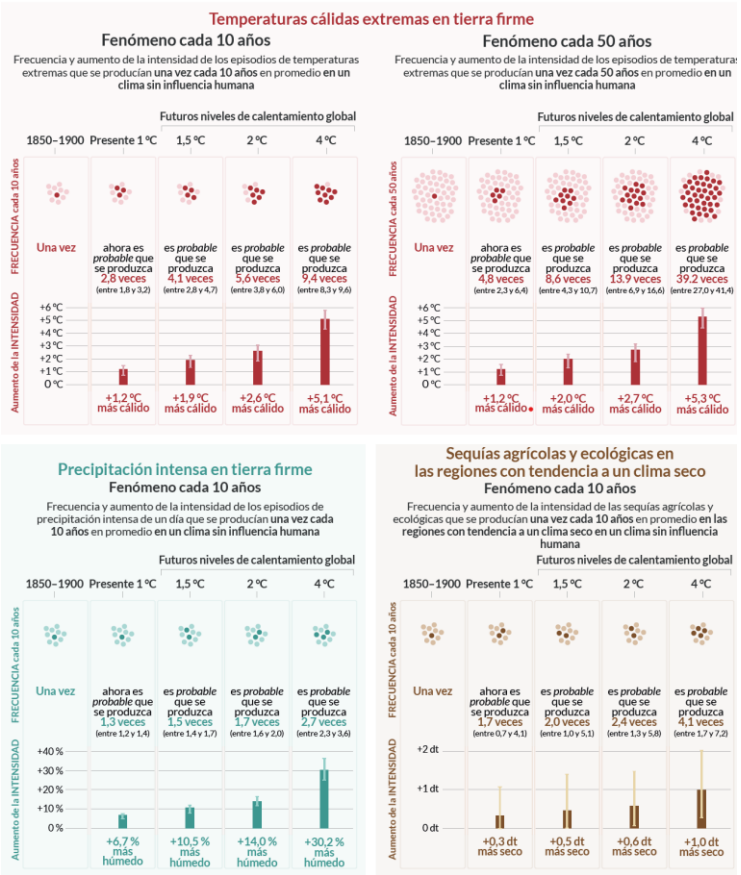


Figura 43. Evolución de los fenómenos extremos en intensidad y frecuencia

El IPCC (AR6) prevé un aumento muy acusado de la frecuencia y la intensidad de los episodios extremos conforme crece el calentamiento global, especialmente de las olas de calor, las precipitaciones intensas y las sequías. España, se sitúa entre las áreas donde estos cambios son más relevantes: las proyecciones sintetizadas en ERICC-2025 apuntan a olas de calor más frecuentes, largas e intensas, casi desaparición de los días de helada, incremento de episodios de lluvia extrema y convectiva, y sequías más graves y prolongadas, en un contexto de mayor aridez y variabilidad hidrológica.

Los trabajos del CEDEX sobre recursos hídricos y sequías confirmaban que, ya en el horizonte 2030-2060, se espera una intensificación de los episodios de escasez en buena parte del territorio. Los análisis de precipitaciones máximas (Pmax) indican un aumento de la frecuencia de máximos de precipitación en el sector mediterráneo, coherente con un régimen de lluvias más torrenciales. La ilustración permite aprecias el incremento esperado de la lluvia diaria extrema (colores más oscuros = aumentos mayores) y, mediante el tramado, qué celdas presentan cambios estadísticamente significativos.

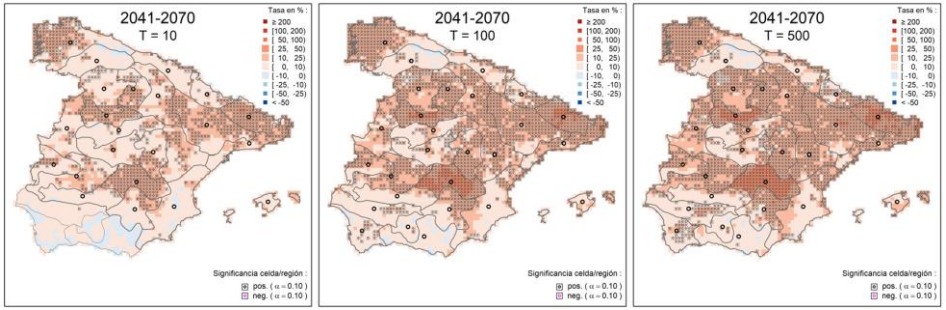


Figura 44. Tasas de cambio en cuantil medias para precipitación diaria máxima anual ; modelo GEV-L en RCP 8.5. Fuenta: CEDEX

Desde el punto de vista regional, las proyecciones concentran los mayores aumentos de extremos térmicos, sequías y aridez en el sur y sureste peninsular, cuencas mediterráneas, Ebro y Guadalquivir, donde se prevé un incremento tanto de la frecuencia como de la gravedad de las sequías, y un riesgo creciente de incendios favorecido por temporadas secas más largas. En la fachada atlántica y el norte los cambios serían más moderados, pero algunos estudios apuntan a posibles aumentos de la intensidad de la lluvia máxima diaria y horaria, lo que, unido a la gran incertidumbre en la respuesta hidrológica, obliga a considerar de forma preventiva el riesgo de crecidas rápidas y daños por inundación localizados.

3.5 Tipos climáticos

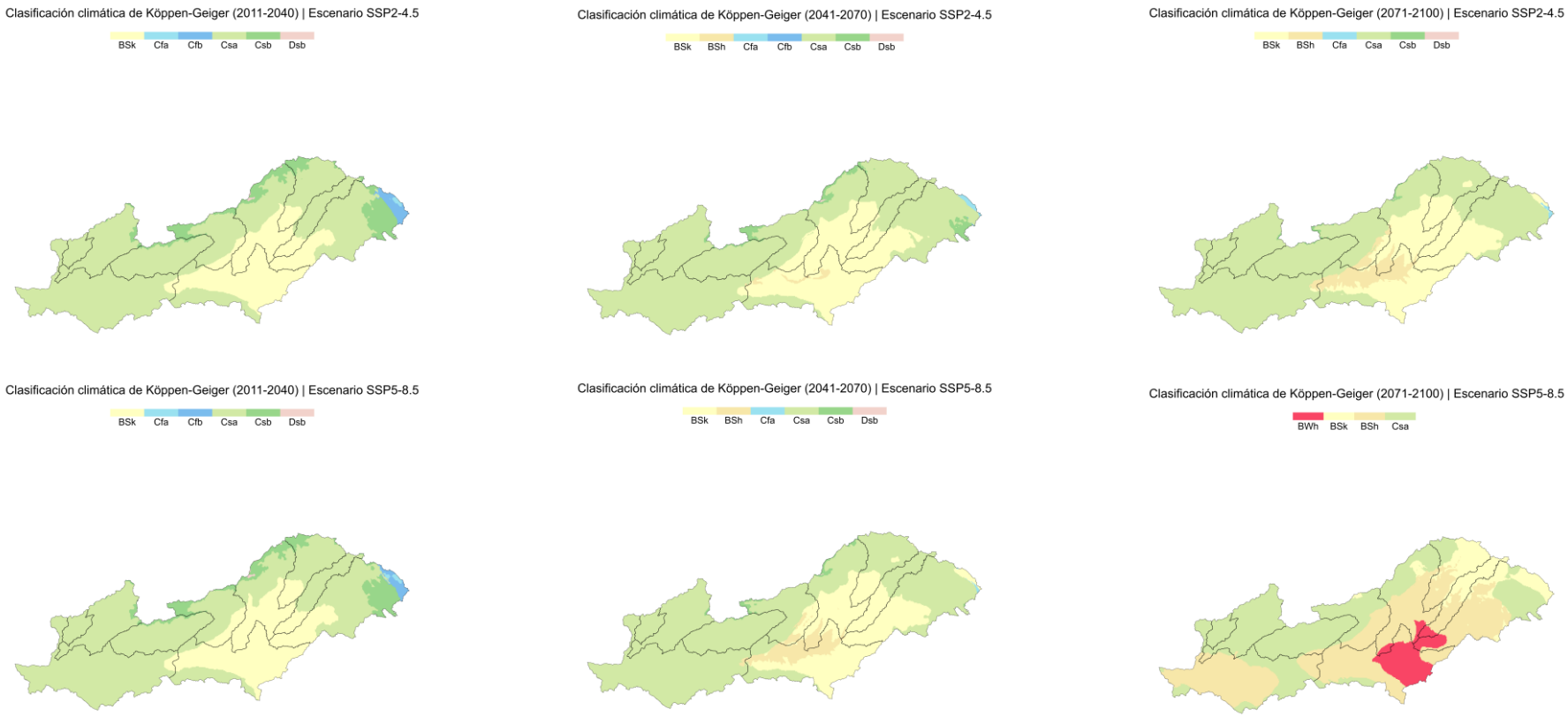


Figura 45. Variación de tipos climáticos bajo los escenarios intermedio (SSP2-4.5) y de altas emisiones (SSP5 8.5) para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100. Fuente: AEMET

Leyenda: **Bsh**. Clima árido, estepa cálida; **BSk**. Clima estepario frío; **BWh**. Clima desértico cálido; **BWk**. Clima desértico frío; **Csa**. Clima templado con verano seco y caluroso; **Csb**. Clima templado con verano seco y suave; **Cfa**. Clima templado sin estación seca con verano caluroso; **Cfb**. Clima templado sin estación seca con verano suave; **Dfc**. Clima frío sin estación seca con verano fresco; **Dsb**. Clima frío con verano seco; **Dsc**. Clima frío con verano seco y fresco;

En la DH Tajo la previsión es que se acentúe la transición hacia climas más calidos y secos. Aumenta significativamente el tipo BSh (clima árido de estepa cálida)(de no estar presente a tener un 6% del total de la cuenca en periodo 2071-2100 en escenario SSP2-4.5) a costa, fundamentalmente, de la caída del tipo CSb (clima templado con verano seco y templado) (de 8% a 0% en escenario SSP2-4.5). En el escenario de altas emisiones, el tipo BSh pasaría a ser el clima dominante en la DH Tajo en el horizonte 2071-2100, donde se acusa en el tramo medio del Tajo y perdiendo los climas más húmedos y fríos de las regiones elevadas de la cuenca, pudiéndose llegar a presentar zonas desérticas (BWh) en las comarcas de La Sagra y de La Mancha.

3.6 Régimen térmico - escenario intermedio (SSP2-4.5)

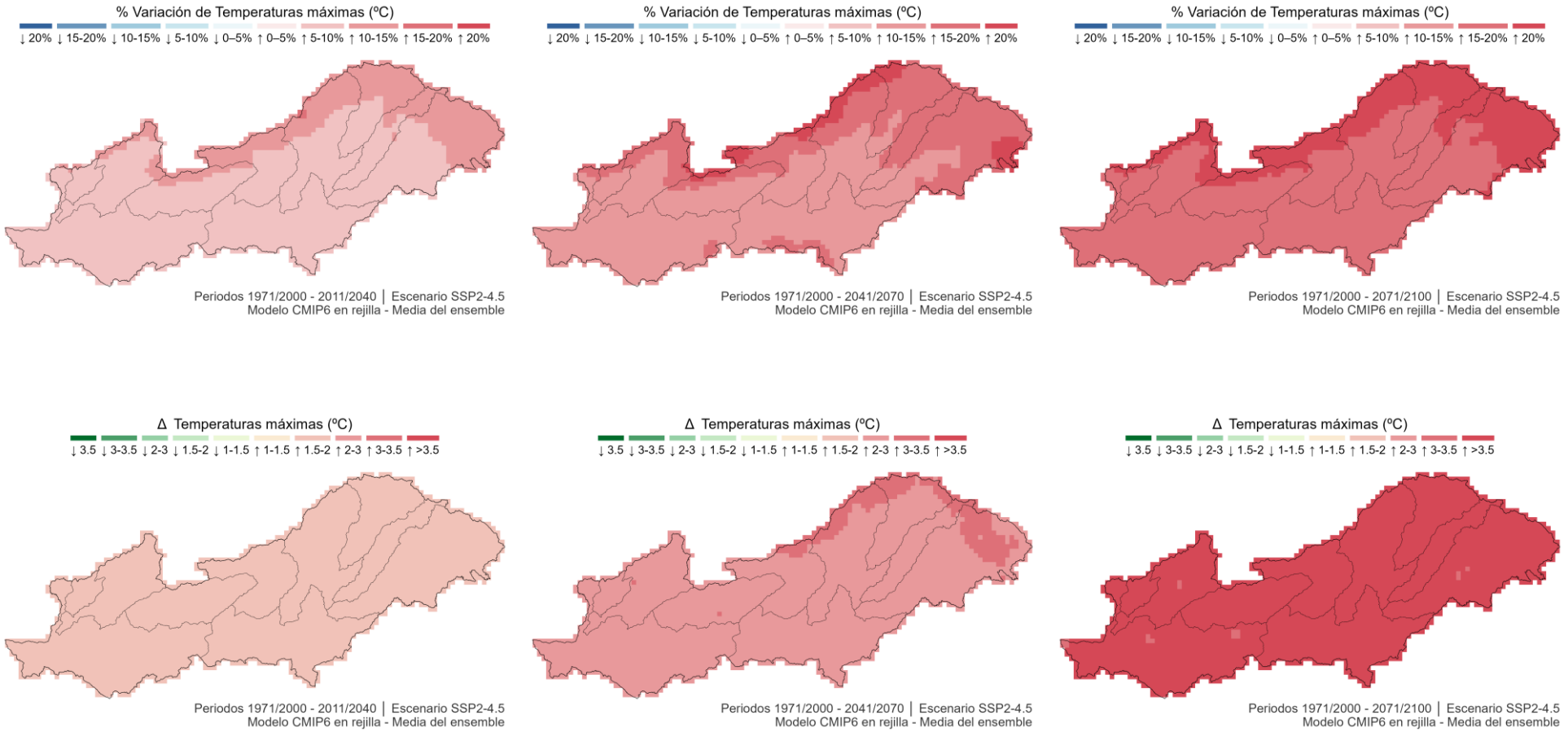


Figura 46. Variación de las temperaturas máximas proyectadas bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, en comparación con el periodo de control 1971-2000. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Adaptecca.

La variación media para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de 1,8 ºC (9,2%) en el futuro cercano (horizonte 2011-2040), 2,9 ºC (14,9%) en el futuro medio (horizonte 2041-2070) y 3,7 ºC (18,8%) en el futuro lejano (horizonte 2071-2100). Estas variaciones de temperaturas están calculadas respecto a las medias anuales de las doce máximas mensuales de cada año del periodo al que pertenecen.

3.7 Régimen térmico - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

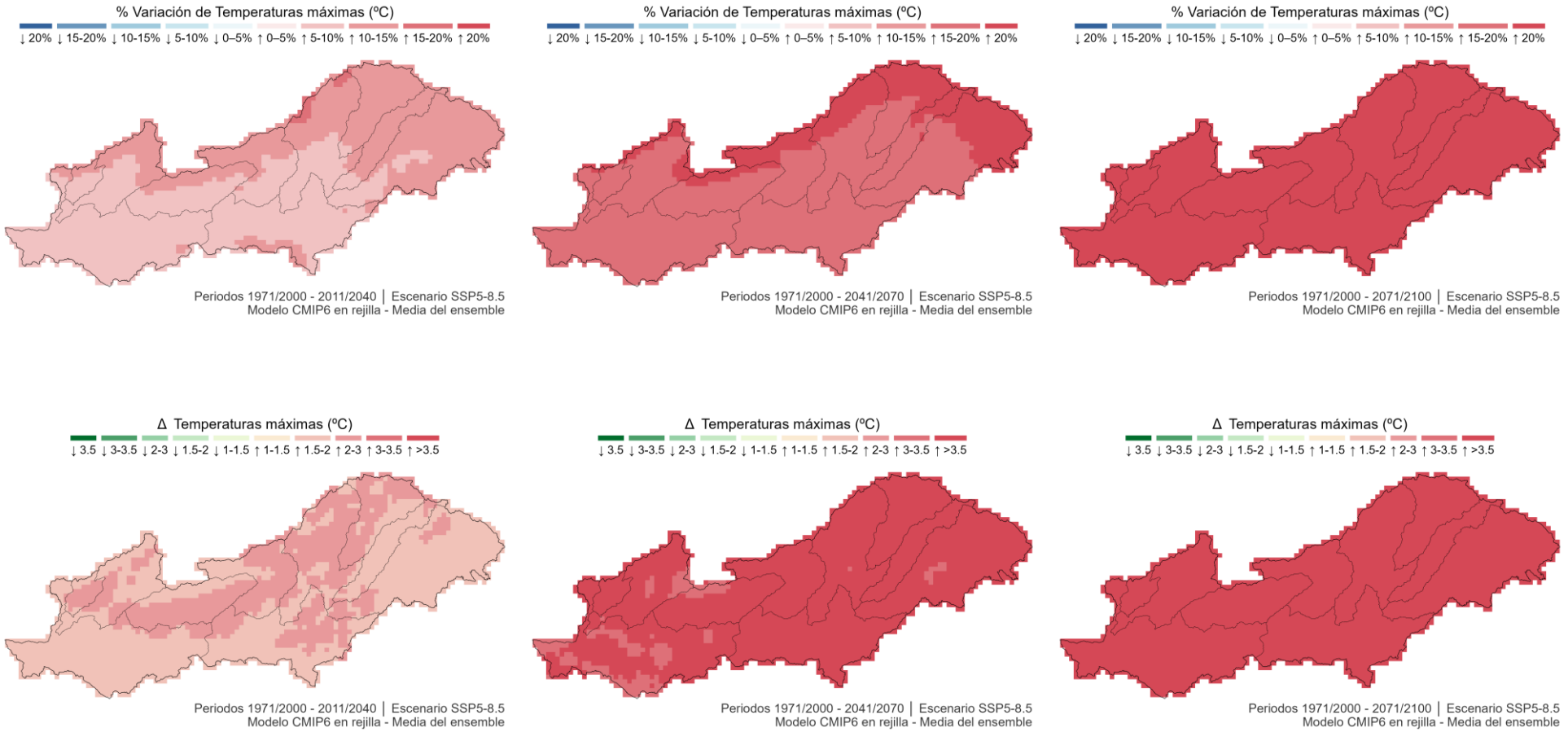


Figura 47. Variación de las temperaturas máximas proyectadas bajo el escenario pesimista de emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, en comparación con el periodo de control 1971-2000. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Adaptecca.

La variación media para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de 2,0 ºC (10,1%) en el futuro cercano (horizonte 2011-2040), 3,6 ºC (18,4%) en el futuro medio (horizonte 2041-2070) y 6,4 ºC (32,3%) en el futuro lejano (horizonte 2071-2100).

3.8 Régimen pluviométrico – escenario intermedio (SSP2-4.5)

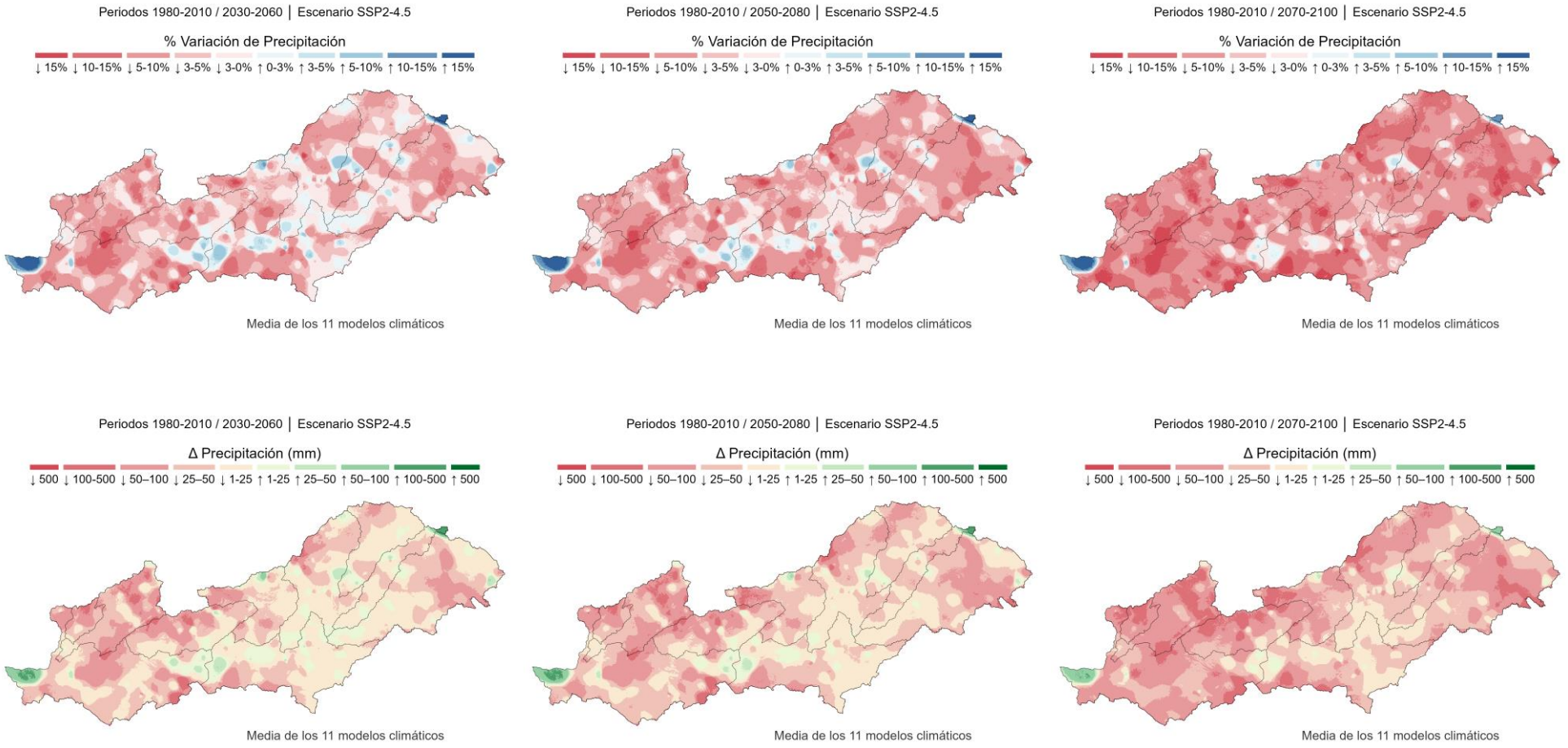


Figura 48. Variación de la precipitación proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de -1 495 hm³ (-4,5%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -1 945 hm³ (-5,8%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -2 935 hm³ (-8,8%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.9 Régimen pluviométrico - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

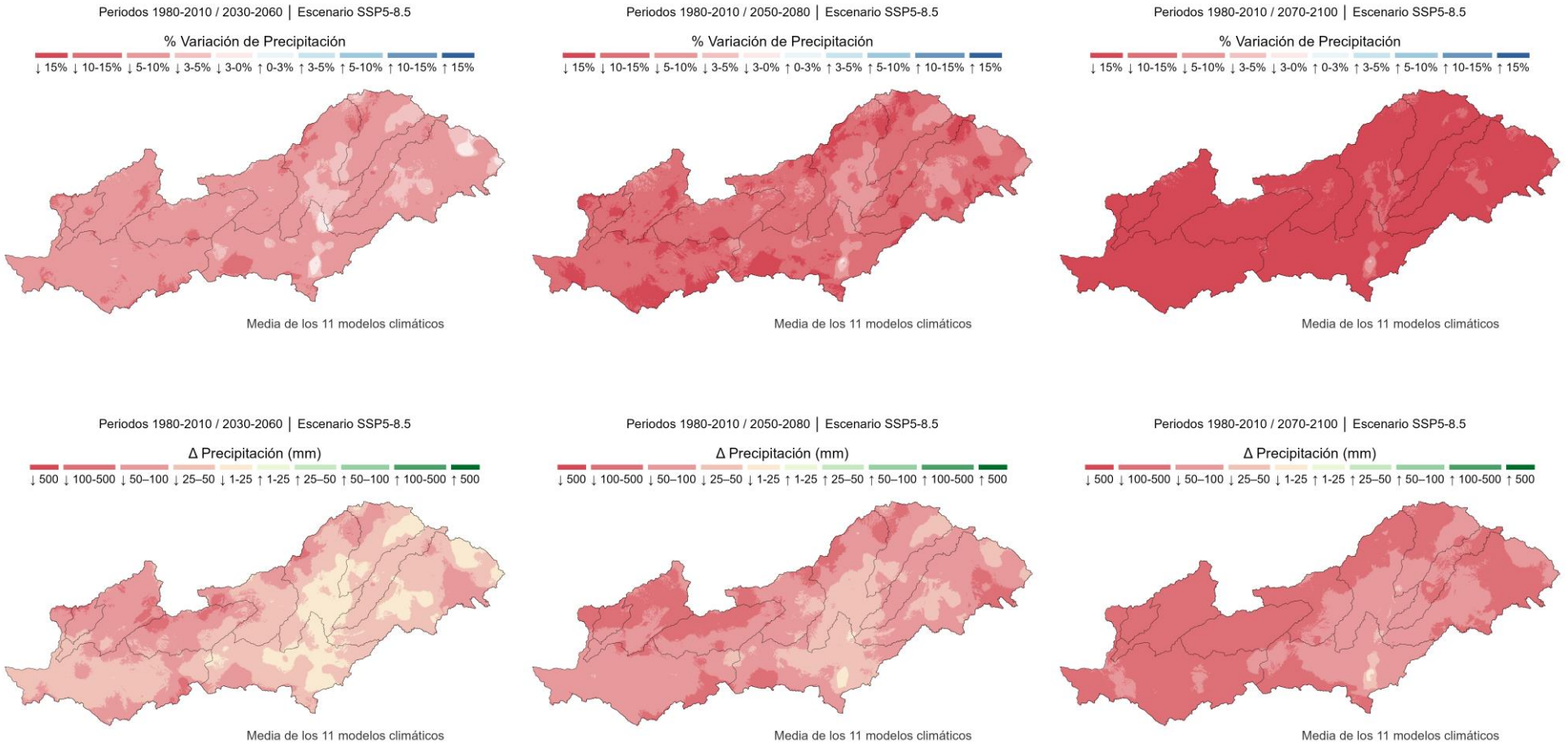


Figura 49. Variación de la precipitación proyectada bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de -2 495 hm³ (-7,5%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -4 276 hm³ (-12,8%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -6 955 hm³ (-20,8%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.10 Evapotranspiración potencial – escenario intermedio (SSP2-4.5)

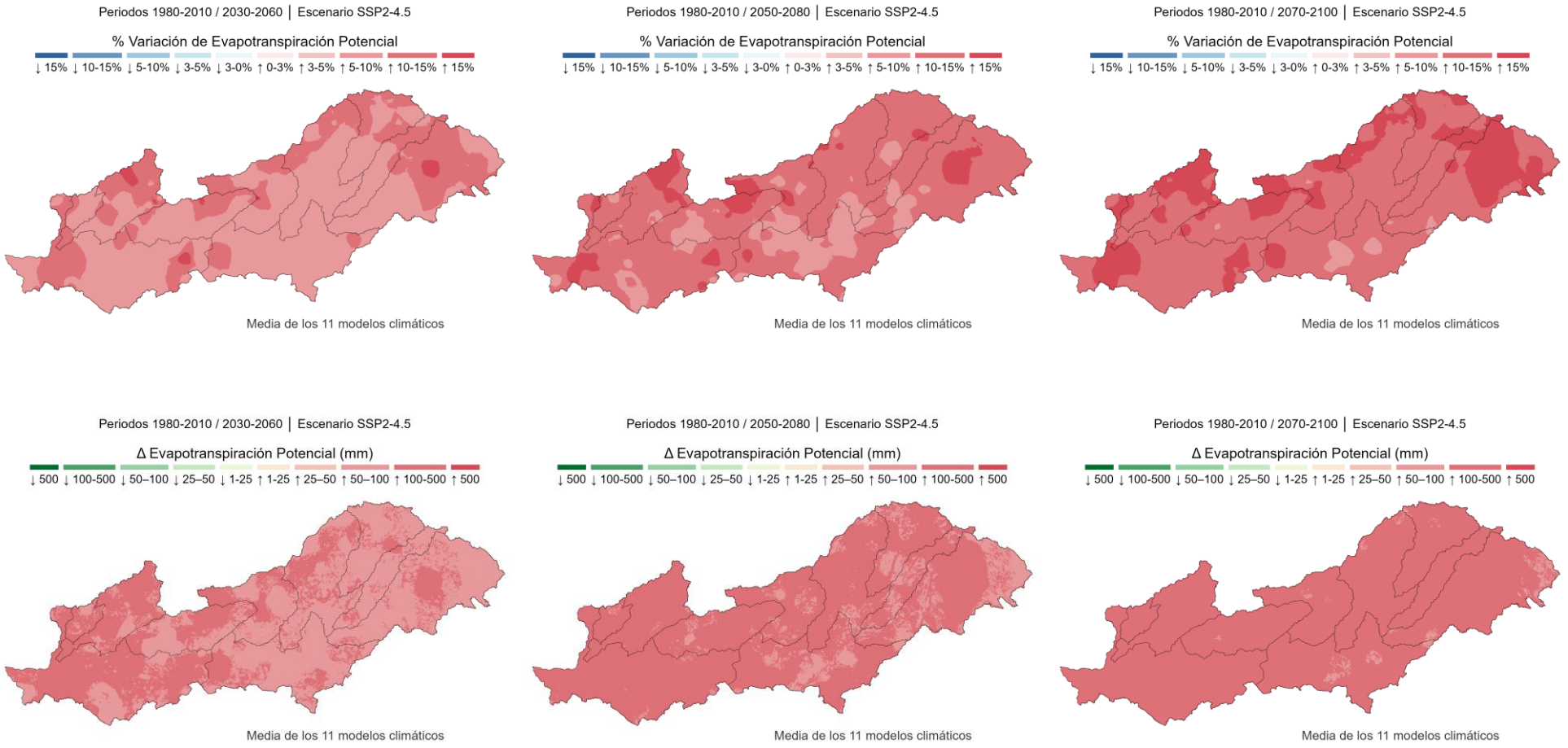


Figura 50. Variación de la evapotranspiración potencial proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de 5 544 hm³ (9,5%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), 6 920 hm³ (11,8%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y 8 083 hm³ (13,8%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.11 Evapotranspiración potencial - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

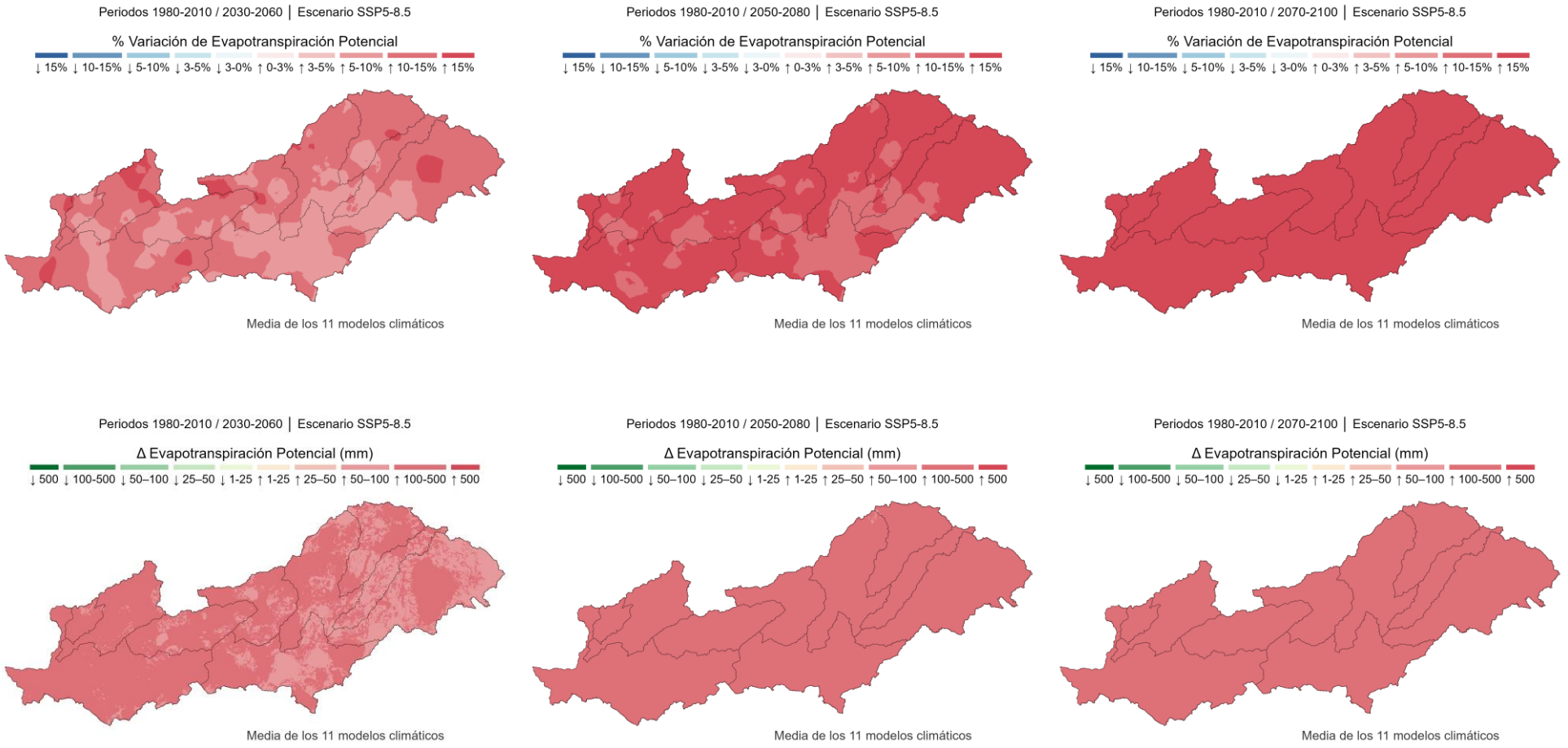


Figura 51. Variación de la evapotranspiración potencial proyectada bajo el escenario pesimista de emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de 6 547 hm³ (11,2%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), 9 947 hm³ (17,0%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y 14 576 hm³ (24,9%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.12 Infiltración – escenario intermedio (SSP2-4.5)

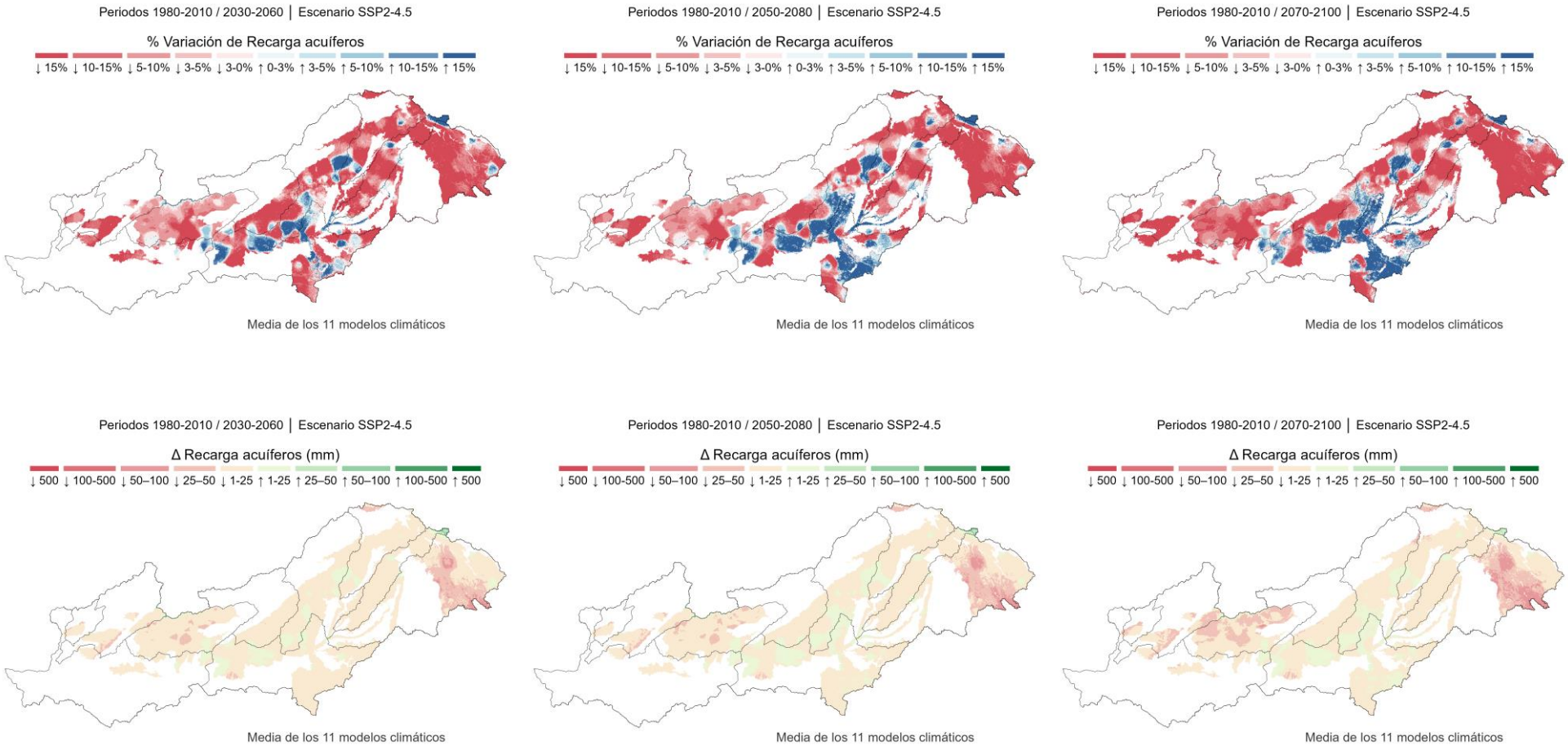


Figura 52. Variación de la infiltración proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de -213,7 hm³ (-11,5%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -211 hm³ (-11,4%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -290 hm³ (-15,6%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.13 Infiltración - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

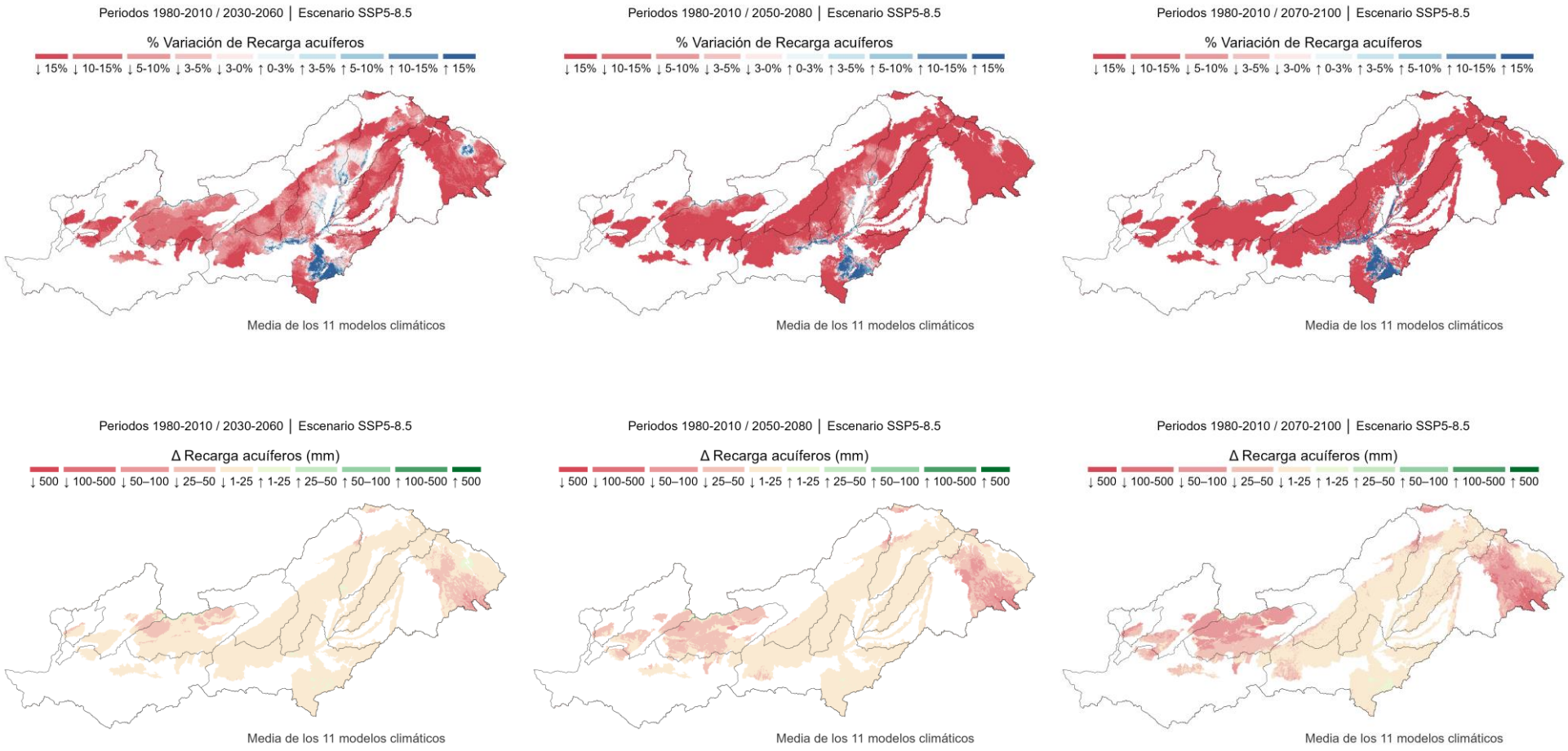


Figura 53. Variación de la infiltración proyectada bajo el escenario pesimista de emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de -241 hm³ (-13,0%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -416 hm³ (-22,4%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -671 hm³ (-36,1%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.14 Régimen nival – escenario intermedio (SSP2-4.5)

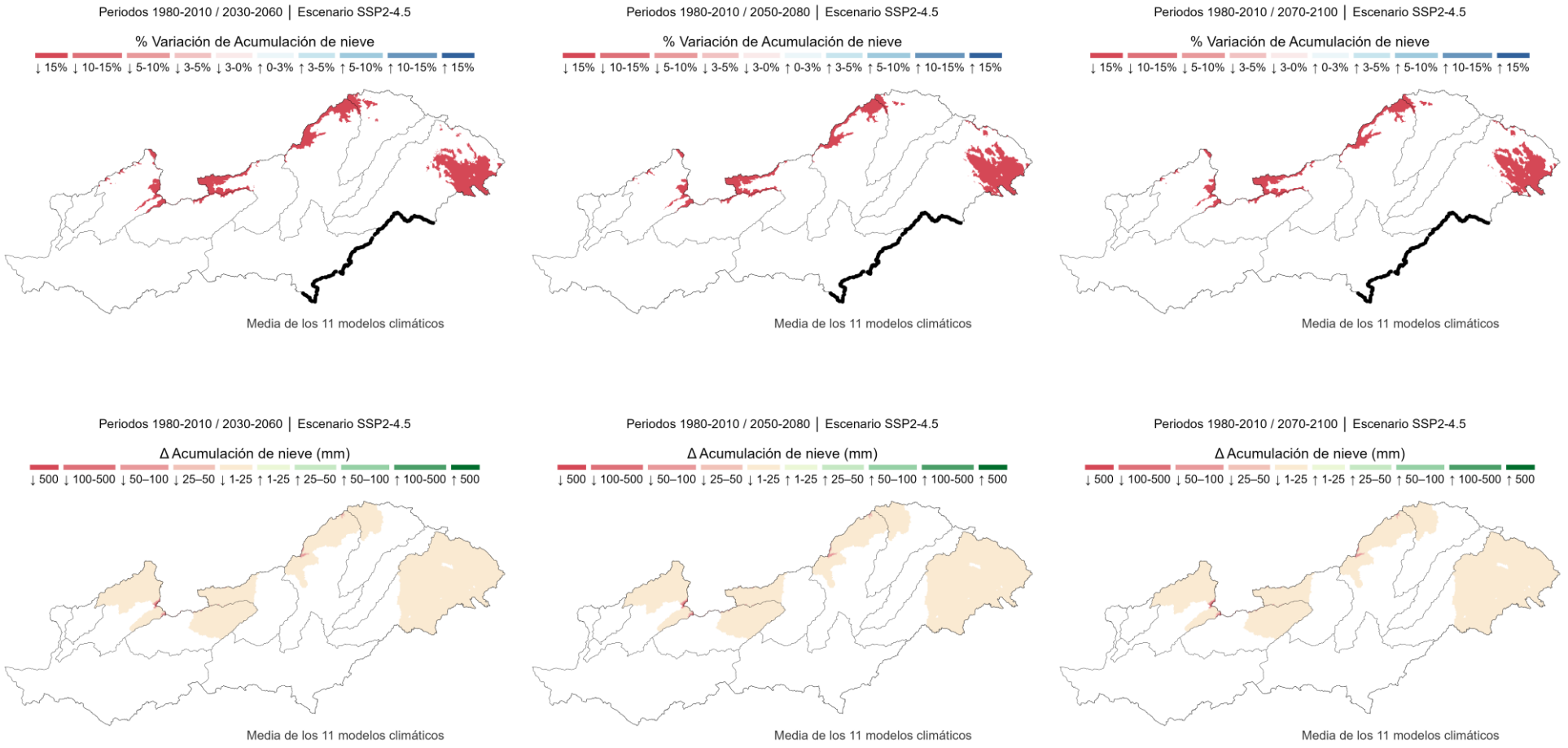


Figura 54. Variación del volumen de nieve almacenado proyectado bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de -20,3 hm³ (-76,3%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -21,4 hm³ (-80,3%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -21,9 hm³ (-82,1%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.15 Régimen nival - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

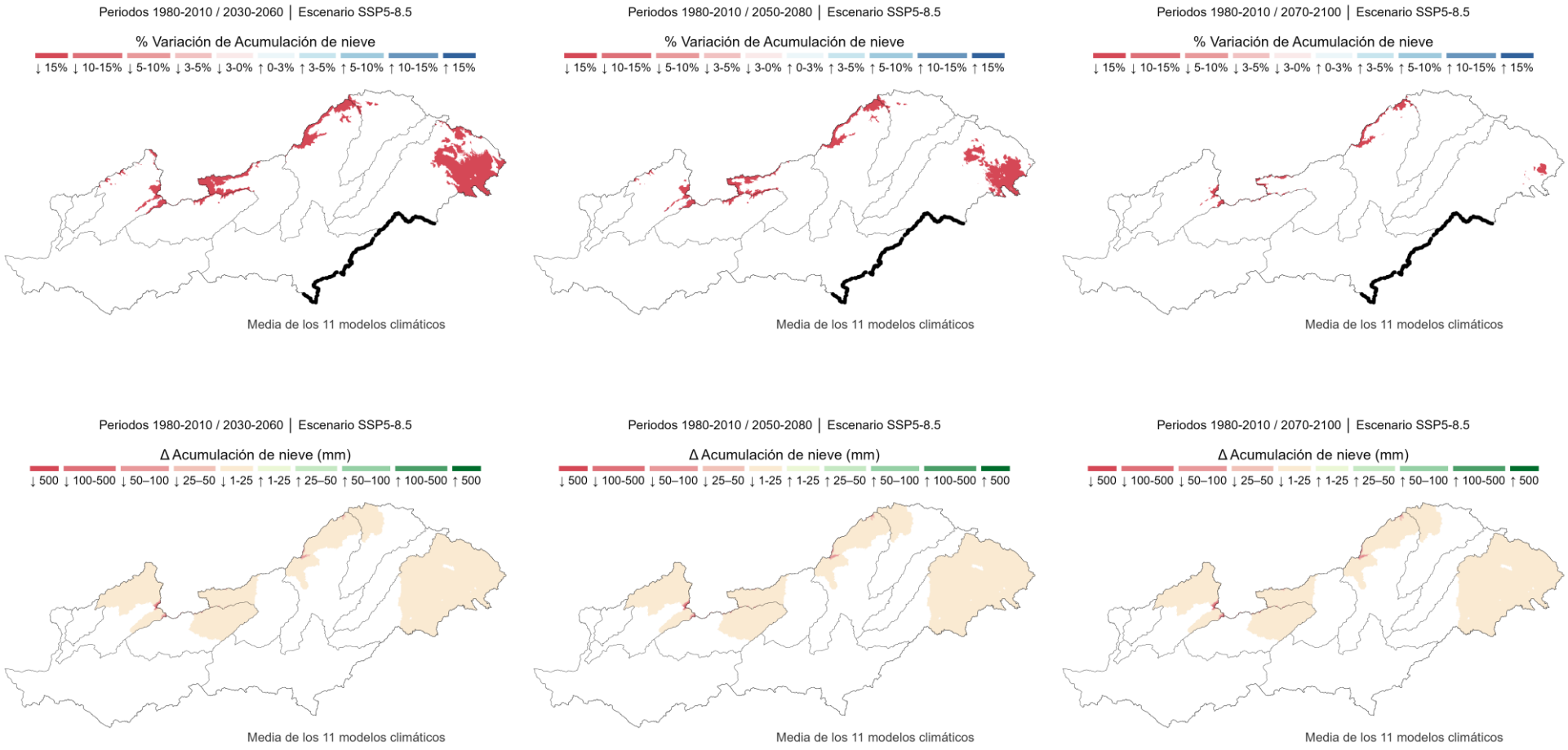


Figura 55. Variación del volumen de nieve almacenado proyectado bajo el escenario pesimista de emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de -20,9 hm³ (-78,5%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -24,2 hm³ (-90,9%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -26,2 hm³ (-98,1%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.16 Evapotranspiración real – escenario intermedio (SSP2-4.5)

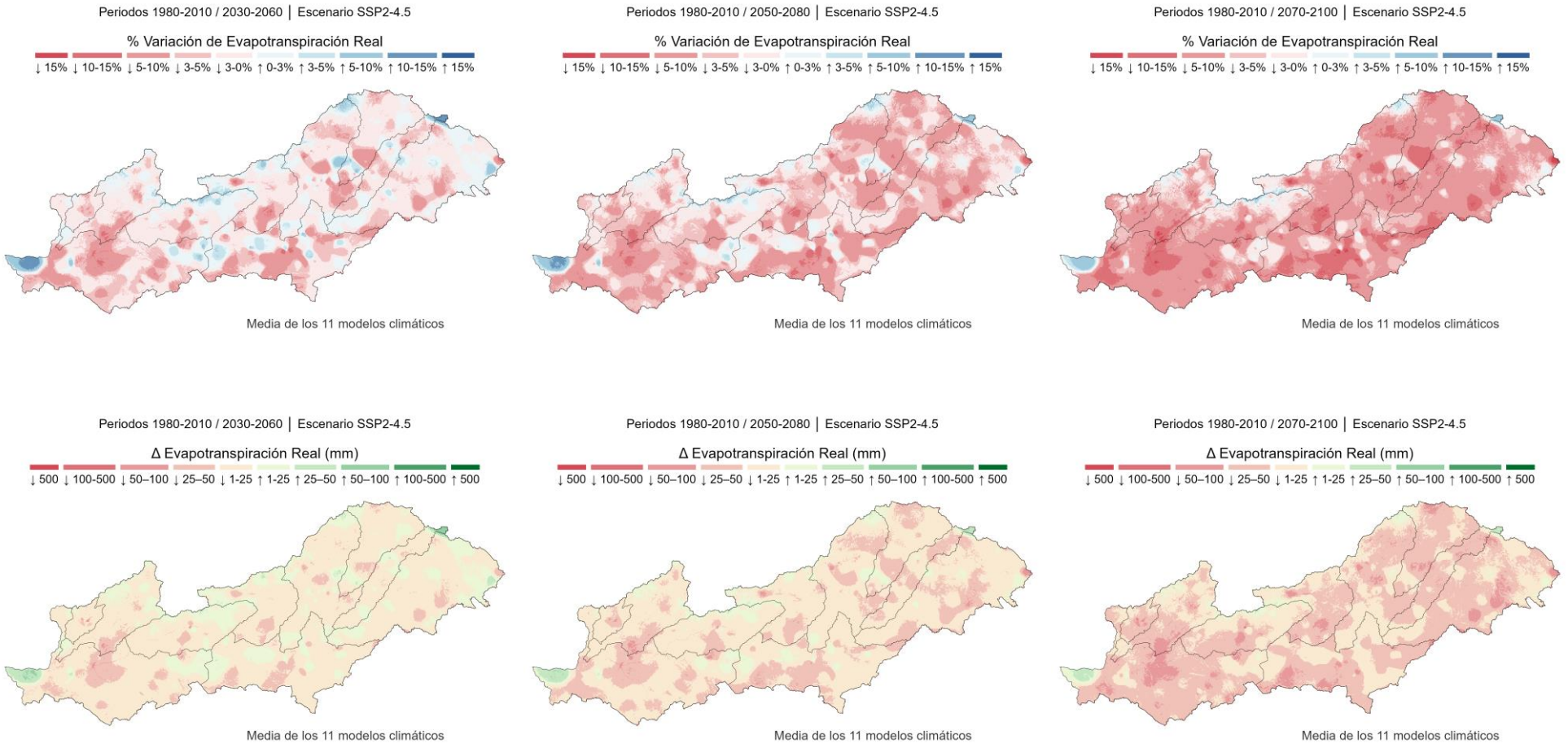


Figura 56. Variación de la evapotranspiración real proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de -447 hm³ (-1,8%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -938 hm³ (-3,8%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -1 563 hm³ (-6,3%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.17 Evapotranspiración real - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

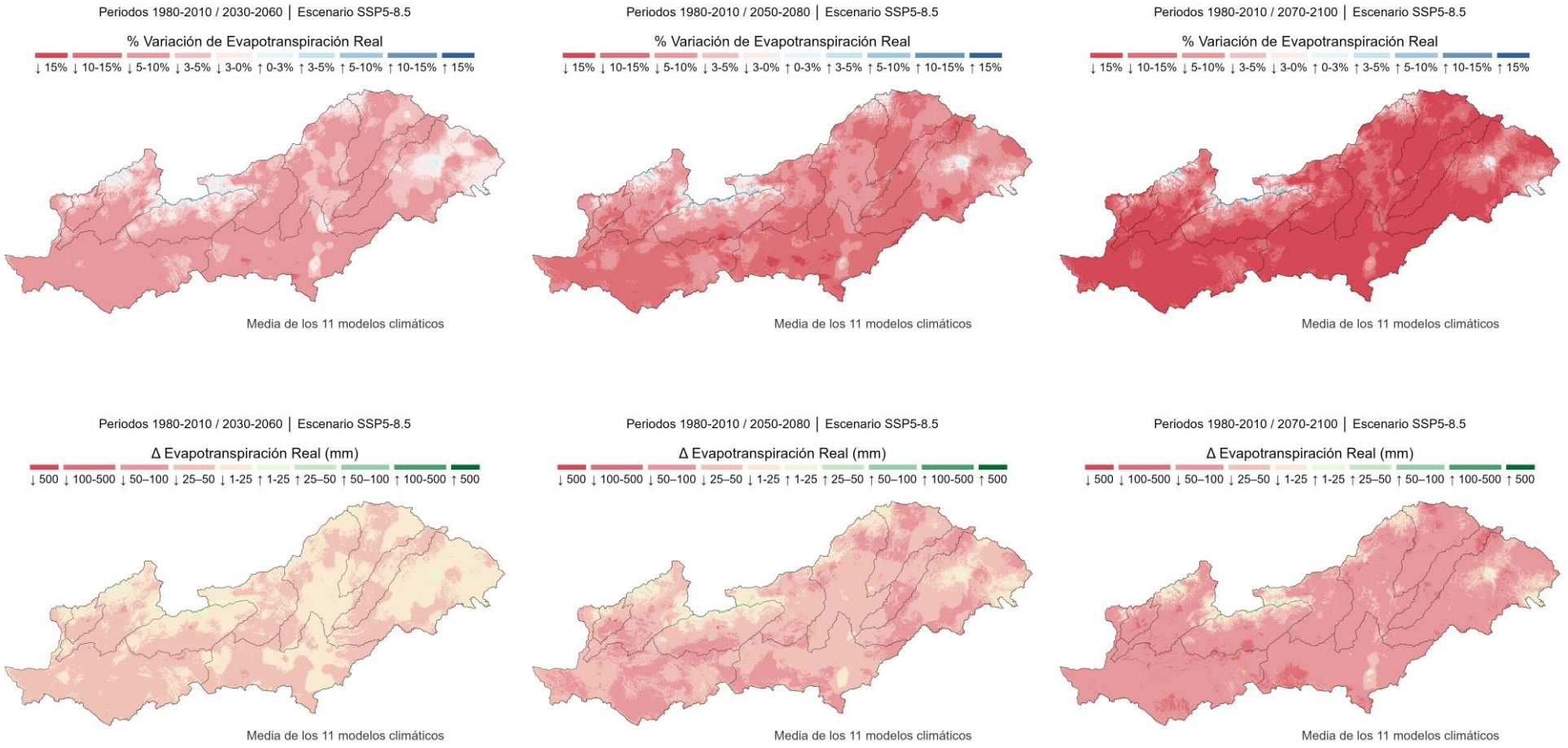


Figura 57. Variación de la evapotranspiración real proyectada bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de -1 368 hm³ (-5,5%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -2 334 hm³ (-9,4%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -3 902 hm³ (-15,7%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.18 Aportaciones totales – escenario intermedio (SSP2-4.5)

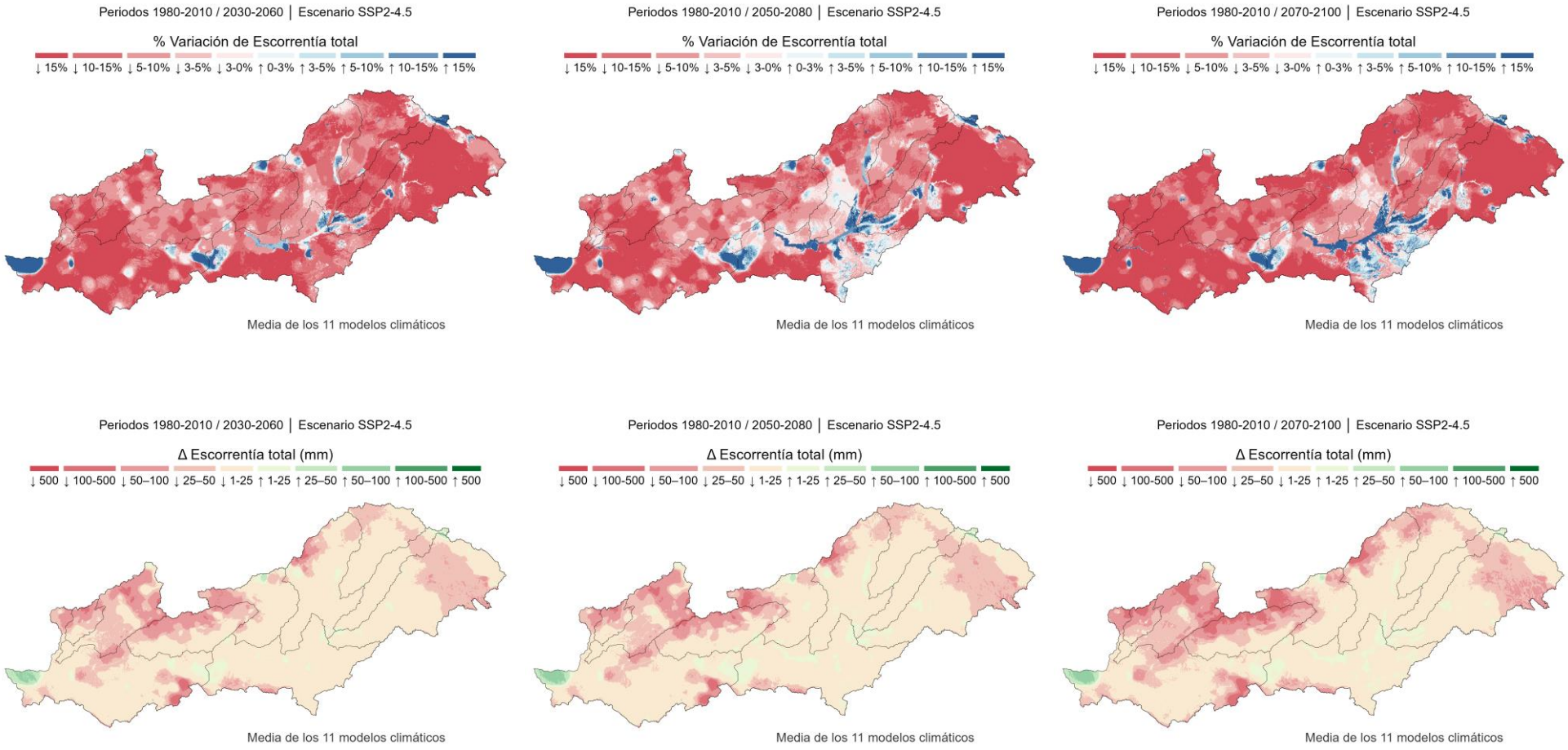


Figura 58. Variación de las aportaciones totales proyectadas bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de -1 041 hm³ (-12,1%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -999 hm³ (-11,7%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -1 364 hm³ (-15,9%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.19 Aportaciones totales - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

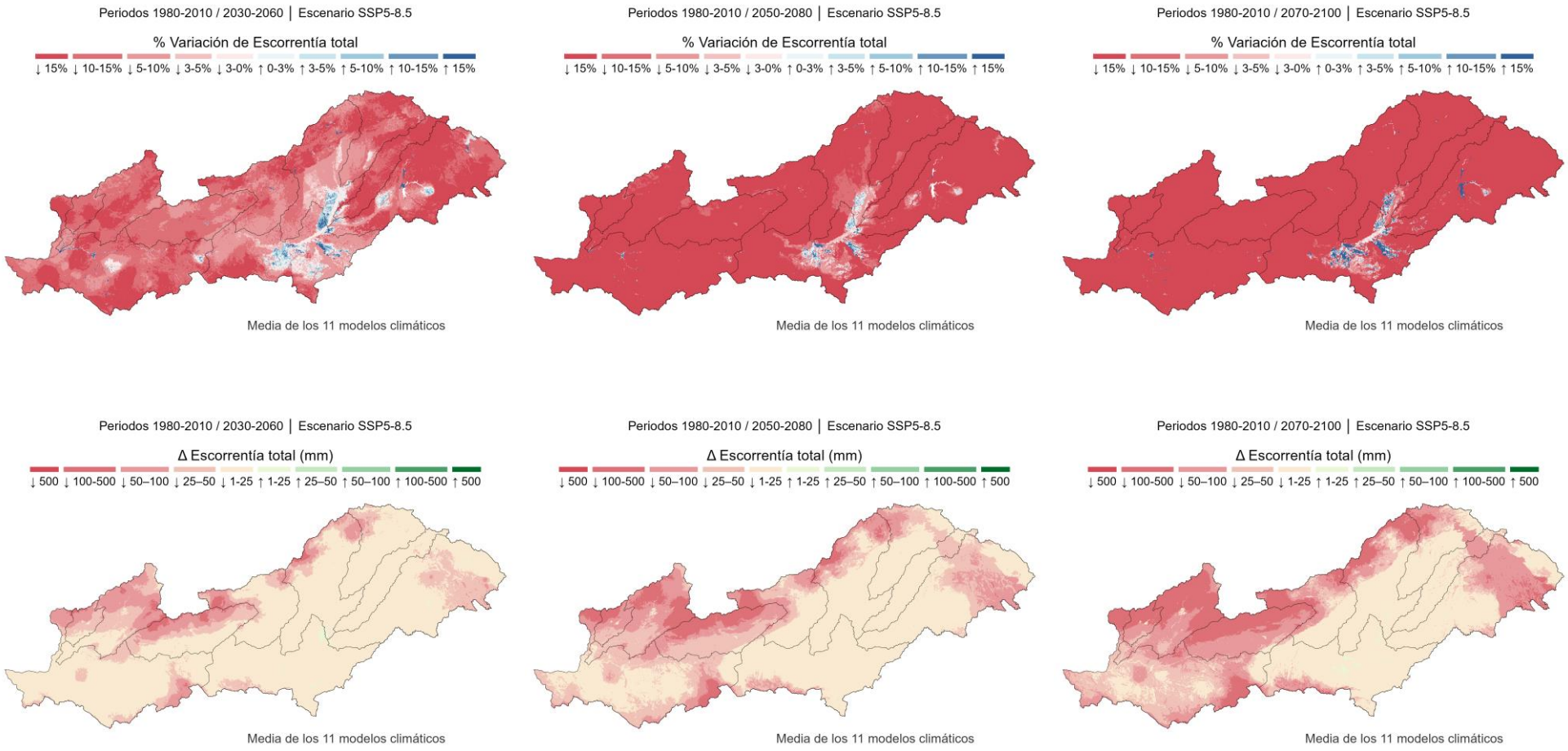


Figura 59. Variación de las aportaciones totales proyectadas bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de -1 116 hm³ (-13,0%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -1 930 hm³ (-22,5%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -3 039 hm³ (-35,5%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.20 Incertidumbres sobre la evolución futura de los máximos de precipitación[1]

La evidencia científica disponible indica que, en la región mediterránea, **no hay una tendencia observada clara en los extremos de precipitación diaria**. Mientras un enfoque estadístico de regionalización aplicado a CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6)[2] apunta a una ligera disminución de los máximos diarios y pluridiarios, el ajuste de sesgos con el método ISIMIPv3 sobre EURO-CORDEX[3] sugiere justamente lo contrario, un ascenso de esos extremos. Estas contradicciones se dan, en realidad, en meses concretos (como febrero y noviembre); sin embargo, tienen una influencia importante en la media anual resultante. A esto hay que sumar la gran complejidad que entraña trasladar la señal climática global y continental a escalas tan finas y a fenómenos tan localizados: cada método de regionalización captura de manera distinta los sesgos originales y reinterpreta la no-estacionariedad de las tormentas intensas. Por otra parte, la respuesta de los episodios convectivos mediterráneos –y en particular de las DANAs– es muy sensible tanto a la resolución como a la representación de la convección en los modelos, que no capturan bien estos procesos, amplificando las divergencias. Esa falta de consenso entre metodologías es, en sí misma, un indicador de la elevada incertidumbre asociada a los extremos de precipitación. Finalmente, la ausencia de señal robusta está corroborada por el IPCC AR6 y su Atlas Interactivo (https://interactive-atlas.ipcc.ch/).

Como contraste, la evidencia observacional **muestra un aumento claro de la frecuencia y la intensidad de episodios convectivos y precipitaciones torrenciales** (≥ 200 mm/día), así como cambios en su distribución interanual en un contexto de Mediterráneo más cálido (observaciones de alta resolución y estudios recopilados en el Informe CLIVAR-SPAIN). Una manera de gestionar esta diversidad de información es recurrir a "storylines" o narrativas de futuro: subconjuntos de modelos y evidencias que describen escenarios físicamente plausibles –por ejemplo, otoños con menos días de lluvia, pero mayor probabilidad de episodios torrenciales– para diseñar medidas de prevención y adaptación robustas frente a varios futuros posibles, haciendo explícitas las incertidumbres. En este sentido, el grupo de Escenarios del PNACC evaluará las nuevas generaciones CORDEX y DestinE, con mayores resoluciones y esquemas de convección mejorados, para acotar incertidumbres y disponer de proyecciones más útiles para la toma de decisiones a escala regional y local.

Por otra parte, la literatura científica reciente basada en observaciones muestra una **tendencia positiva significativa en los extremos de precipitación sub-diaria en España** y en otras zonas del Mediterráneo. Estas intensificaciones responden aproximadamente al coeficiente termodinámico de Clausius–Clapeyron (CC), según el cual la capacidad del aire para retener humedad aumenta con la temperatura, generando incrementos en las precipitaciones extremas sub-diarias de alrededor del 7 % por cada °C de calentamiento. Además, los primeros resultados procedentes de CPRCM (*Convection-Permitting Regional Climate Models*), con resoluciones espaciales del orden de 1–3 km que permiten resolver la convección explícitamente, sin parametrizarla, confirman esta diferenciación a futuro: los extremos diarios permanecen relativamente estables, mientras que los extremos sub-diarios se intensifican de forma acorde al factor de correción empírico de Clausius-Clapeyron (CC). En este contexto, una alternativa metodológica complementaria y prometedora consiste en aplicar técnicas de desagregación temporal estadística a proyecciones diarias previamente regionalizadas, con aplicación posterior del factor CC, derivado mediante regresión cuantílica, permitiendo reconstruir proyecciones sub-diarias coherentes con la física del calentamiento y con las señales observadas, concordante con los estudios más recientes sobre proyección de curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) en el Mediterráneo.

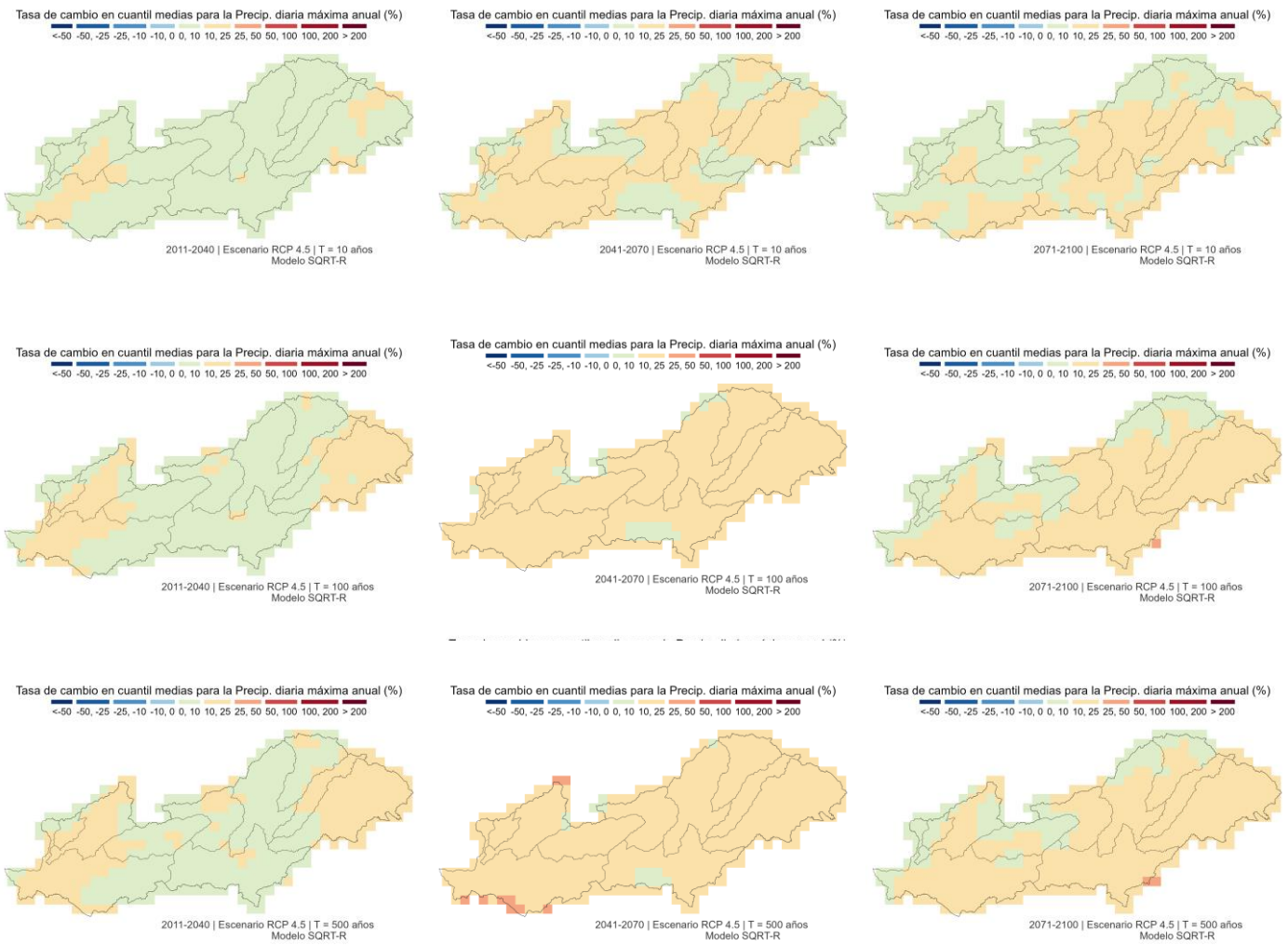
A la espera de que fructifiquen estas iniciativas, el presente EACC muestra, con carácter informativo y comparativo, las proyecciones disponibles: tasas de cambio en cuantil media del CEDEX (Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España: 2021, 2022, 2024) para escenario intermedio y de altas emisiones (secciones 3.21, 3.22) y de la lluvia máxima acumulada en la red fluvial (sección 3.23), así como las precipitaciones máximas en 24 horas de AdapteCCa (secciones 3.24 y 3.25). Sin embargo, no se utilizan estas proyecciones como base directa para cuantificar cambios en los extremos para la evaluación del riesgo futuro.

[1] Este texto se ha elaborado, fundamentalmente, a partir la advertencia sobre las proyecciones de precipitación extrema del visor AdapteCCa y de comunicaciones técnicas con personal investigador de AEMET. Las notas completas se incluyen como Anejo 3.

[2]) CMPIP6 es el gran experimento internacional de comparación de modelos climáticos globales. Reúne simulaciones de decenas de modelos de todo el mundo y proporciona la base de proyecciones usada, por ejemplo, en el IPCC AR6.

[3] EURO-CORDEX es la rama europea de la iniciativa CORDEX del World Climate Research Programme. Produce proyecciones climáticas regionales para Europa mediante modelos regionales de clima, normalmente a resoluciones de 50 km y 12,5 km, pensadas para estudios de impactos y adaptación.

3.21 Precipitación máxima diaria (CEDEX) – escenario intermedio (SSP2-4.5)



El informe técnico «Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España» (CEDEX, 2021) estima cómo podrían cambiar las lluvias máximas (precipitación diaria máxima anual asociada a distintos periodos de retorno) a partir de un conjunto de 15 modelos regionales EURO-CORDEX. La Adenda (2024) se publica para ampliar esos productos: incorpora resultados para un periodo de retorno adicional de 1.000 años y proporciona las capas que se han utilizado para generar la Figura 60 y la Figura 61, que representan los periodos de retorno 10, 100 y 500 años.

El indicador usado –la tasa de cambio en cuantil o cambio relativo del "valor de retorno"– es un buen estimador prospectivo porque se centra en la cola de la distribución (eventos raros pero críticos), directamente vinculada a escorrentías extremas e inundaciones; además, al trabajar con cambios relativos, parte del sesgo sistemático tiende a cancelarse.

Para el ajuste regional se emplea el método SQRT-R que estima parámetros a escala regional a partir del coeficiente de variación regional y obtiene los cuantiles locales escalando los cuantiles regionales por la media local de máximos anuales.

La significancia se evalúa con intervalos de confianza (90%) mediante simulaciones Monte Carlo, marcando como significativos los cambios fuera del intervalo del periodo de control.

Figura 60. Tasa de cambio de la precipitación diaria máxima anual proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5) para los horizontes temporales 2011 2040, 2041 2070 y 2071 2100, y para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, calculada respecto al periodo de control (1971-2000). Fuente: elaboración propia a partir de información del CEDEX.

3.22 Precipitación máxima diaria (CEDEX) - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

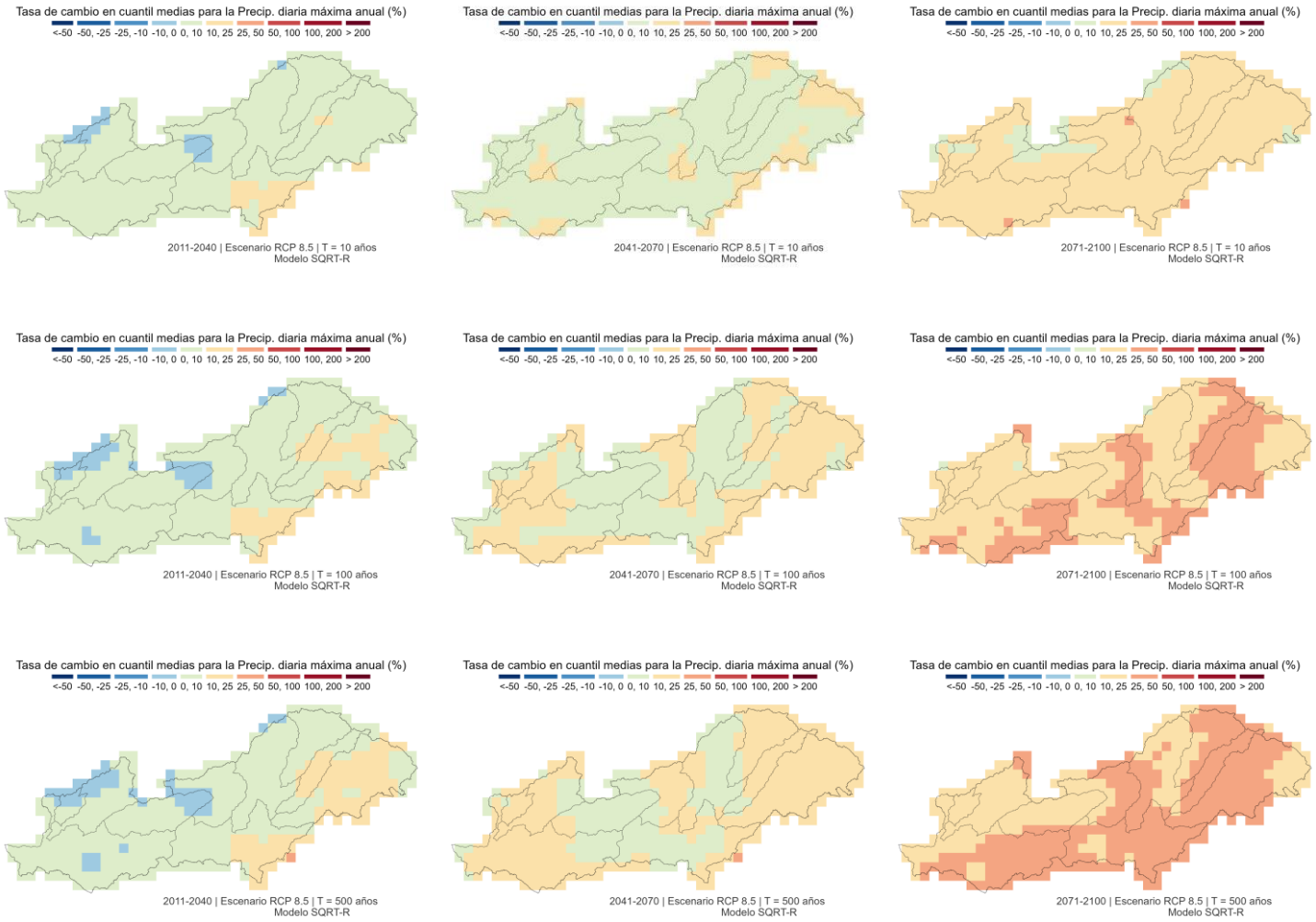


Figura 61. Tasa de cambio de la precipitación diaria máxima anual proyectada bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) (RCP 8.5) para los horizontes temporales 2011 2040, 2041 2070 y 2071 2100, y para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, calculada respecto al periodo de control (1971-2000). Fuente: elaboración propia a partir de información del CEDEX

A escala nacional (Península y Baleares), los resultados del CEDEX apuntan a un incremento progresivo de las lluvias máximas diarias estimadas mediante cuantiles para los distintos periodos de retorno, aunque con una incertidumbre apreciable entre modelos. En el escenario RCP4.5, las tasas medias de cambio respecto al periodo de control pasan, aproximadamente, de +5–7% en 2011-2040 a +8–13% en 2041-2070, alcanzando +10–15% en 2071-2100 (los extremos inferiores de los intervalos corresponden al T=10 y los más altos a T=1000 años).

En RCP8.5 el mensaje es similar hasta mitad de siglo (medias de +6–8% en 2011-2040 y +8–13% en 2041-2070), pero se intensifica claramente a final de siglo: en 2071-2100 las medias suben a +15–25%, con aumentos mayores cuanto más extremo es el evento.

La dispersión se refleja en los percentiles: en RCP4.5 el percentil 10 sigue siendo negativo incluso a final de siglo (5/-6% aproximadamente), mientras que en RCP8.5 el p10 se aproxima a cero o se vuelve ligeramente positivo para retornos altos; el p90 se aproxima al 37% en RCP4.5 y al 51% en RCP8.5 (T=1000, 2071-2100).

3.23 Precipitación máxima acumulada en la red fluvial

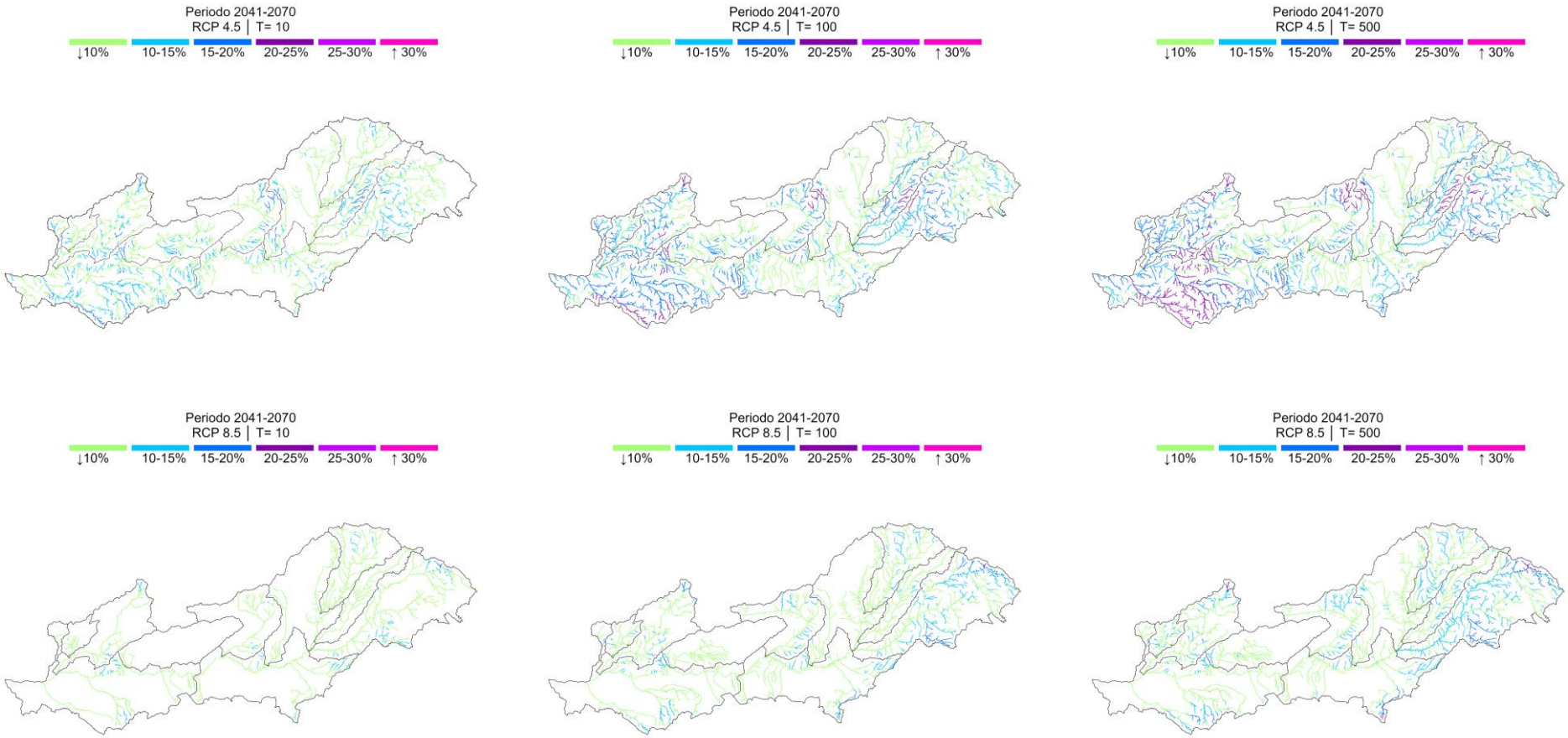


Figura 62. Tasa de cambio de la precipitación máxima acumulada en la red fluvial proyectada bajo los escenarios medio (RCP 4.5) y pesimista (RCP 8.5) de emisiones para el horizonte temporal 2041 2070, y para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, calculada respecto al periodo de control (1971-2000). Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX

La precipitación diaria máxima anual acumulada en red se calcula: (i) aplicando, celda a celda, las tasas de cambio en cuantil estimadas con SQRT-R para obtener un mapa raster de cuantiles futuros; y (ii) acumulando esos cuantiles aguas arriba sobre la red fluvial mediante un mapa de direcciones de drenaje, que identifica las celdas que aportan a cada tramo/cauce (agregación por cuenca drenante); al comparar el acumulado futuro frente al observado se derivan las tasas de cambio en cuantil de precipitación acumulada, plenamente consistentes con el análisis previo de lluvia máxima diaria (mismas tasas SQRT-R y mismos supuestos)

3.24 Precipitación máxima diaria (AdapteCCa) – escenario intermedio (SSP2-4.5)

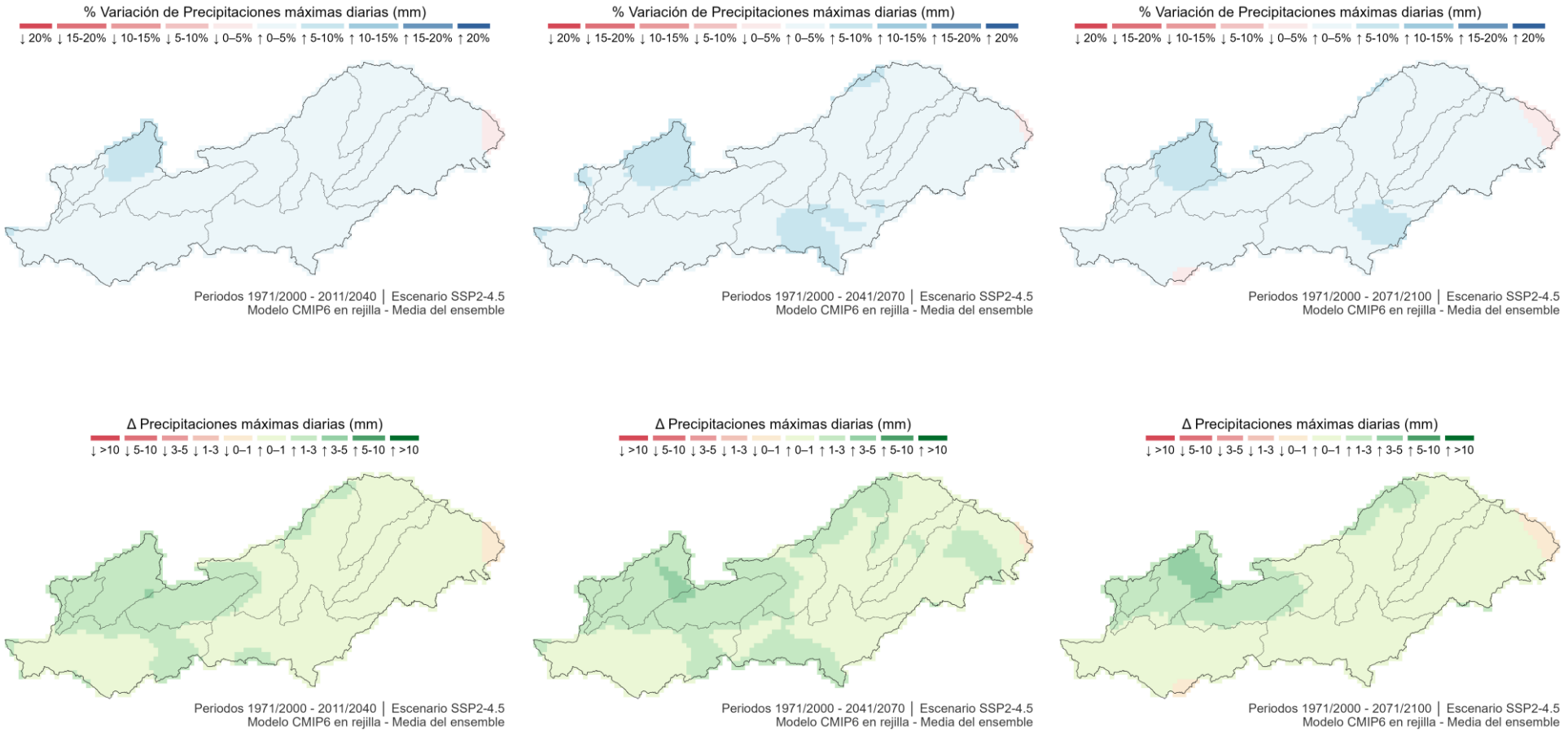


Figura 63. Variación de las precipitaciones máximas diarias proyectadas bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, en comparación con el periodo de control 1971-2000. Fuente: elaboración propia a partir de información de Adaptecca

Como se ha anticipado (sección 3.20), las señales de cambio son moderadas y poco claras. Los sistemas que registran mayores variaciones en las precipitaciones máximas diarias son Árrago, Alagón, Tiétar, Bajo Tajo, Alberche en la parte occidental, Jarama-Guadarrama al norte y regiones de Tajo izquierda y cabecera. En todos los casos se observan incrementos de entre 1 y 3 mm, algunas zonas de 3-5 mm y en la parte más oriental de la cuenca, en cabecera, y pequeñas zonas del sur de Bajo Tajo se describen descensos de la precipitación máxima diaria entre 0 y 1 mm, todo ello más acusado en horizontes temporales más lejanos.

3.25 Precipitación máxima diaria (AdapteCCa) - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

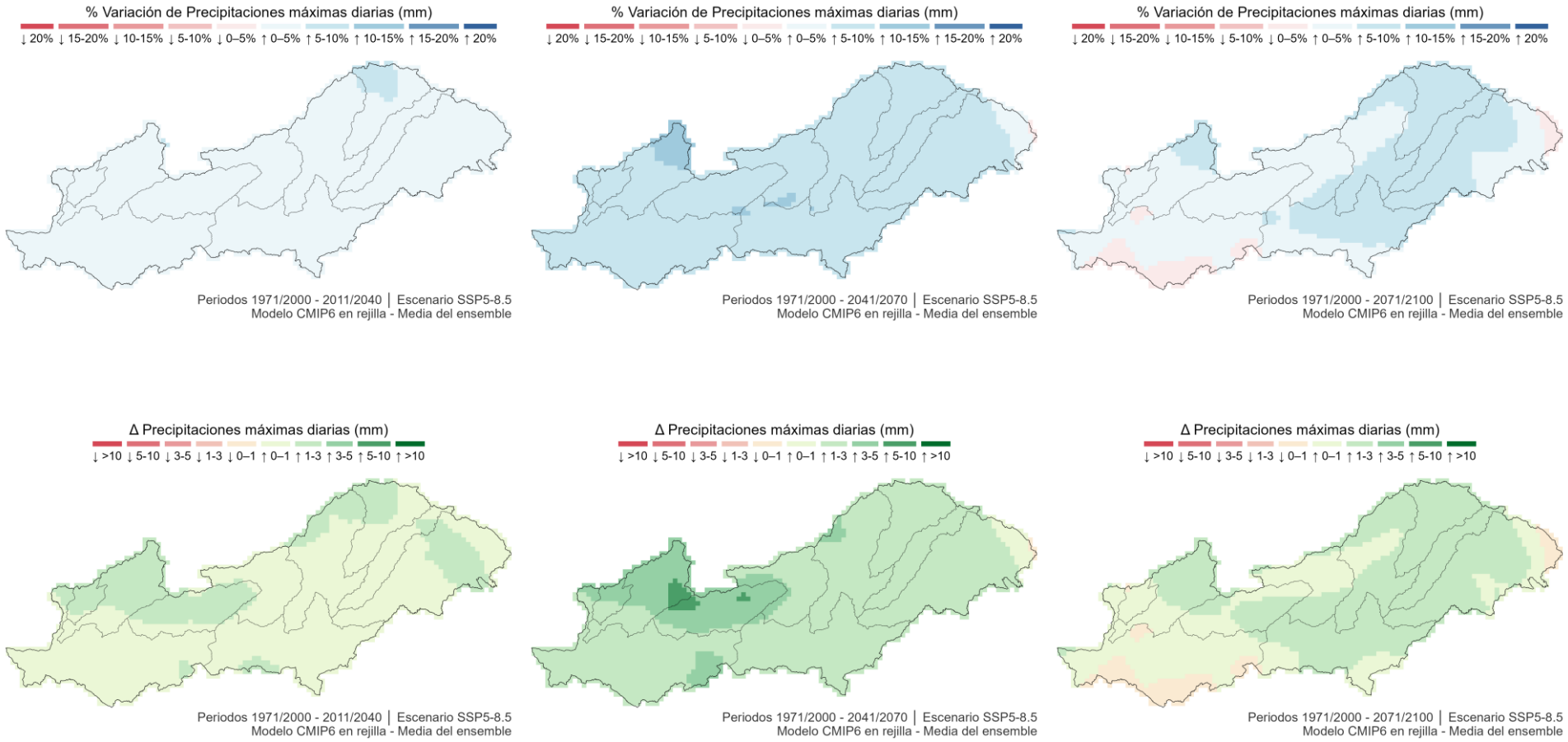


Figura 64. Variación de las precipitaciones máximas diarias proyectadas bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, en comparación con el periodo de control 1971-2000. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Adaptecca.

En el escenario de altas emisiones, las variaciones de precipitación máxima tienden a extenderse e intensificarse moderadamente, pero se mantienen moderadas. Se observa como los horizontes 2011-2040 y 2041-2070 siguen una distribución espacial de la precipitación máxima diaria similar al escenario de emisiones SSP2-4.5, pero más intensificada, mientras que el último horizonte, 2071-2100, revela un mayor incremento en valles del Tajuña y Henares y tramos medios del Jarama y el Tajo.

3.26 Cambio en la frecuencia y magnitud de las sequias

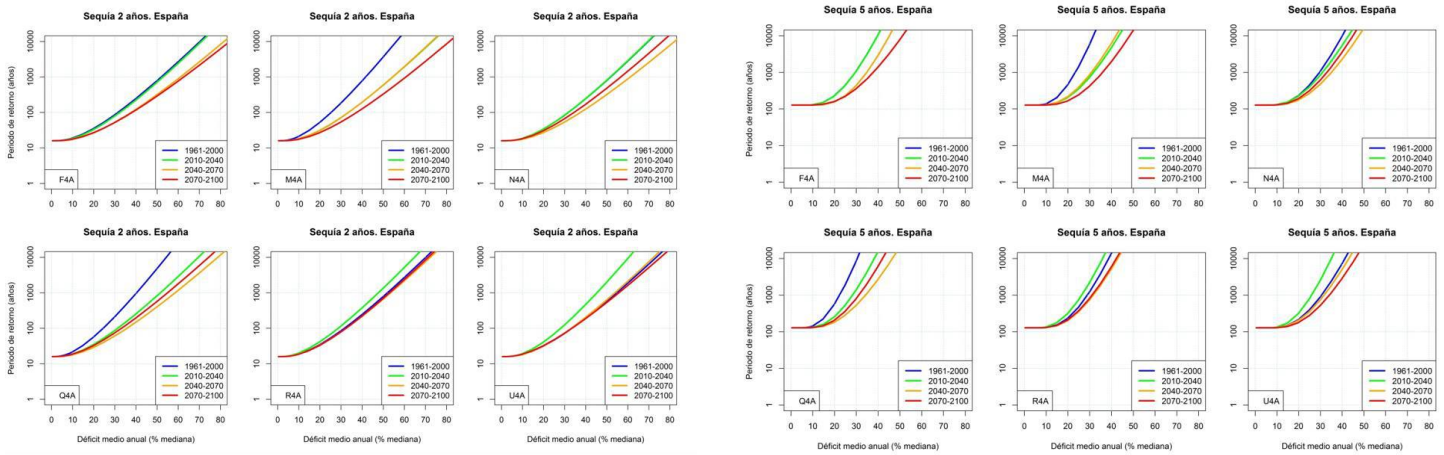


Figura 65. Periodo de retorno de sequías en España para diferentes déficits medios anuales y duración 2 años (izquierda) y 5 años (derecha) para el periodo de control (1961-200) y tres peridodos futuros (2010–2040, 2040–2070 y 2070–2100) con el escenario climático intermedio (RCP 4.5)

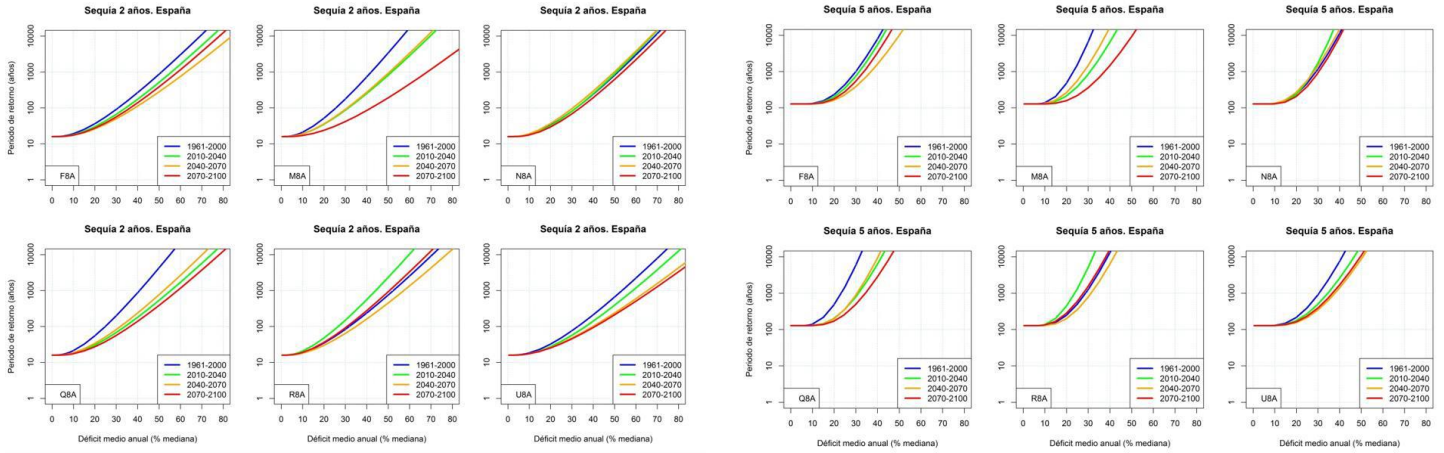


Figura 66. Periodo de retorno de sequías en España para diferentes déficits medios anuales y duración 2 años (izqierda) y 5 años (derecha) para el periodo de control (1961-200) y tres peridodos futuros (2010–2040, 2040–2070 y 2070–2100) con el escenario climático de altas emisisones (RCP 8.5)

El informe «Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España» (CEDEX 2017) evalúa el cambio en el régimen de sequías a partir de series de escorrentía en régimen natural simuladas con el modelo hidrológico SIMPA, forzado por un conjunto de proyecciones climáticas para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

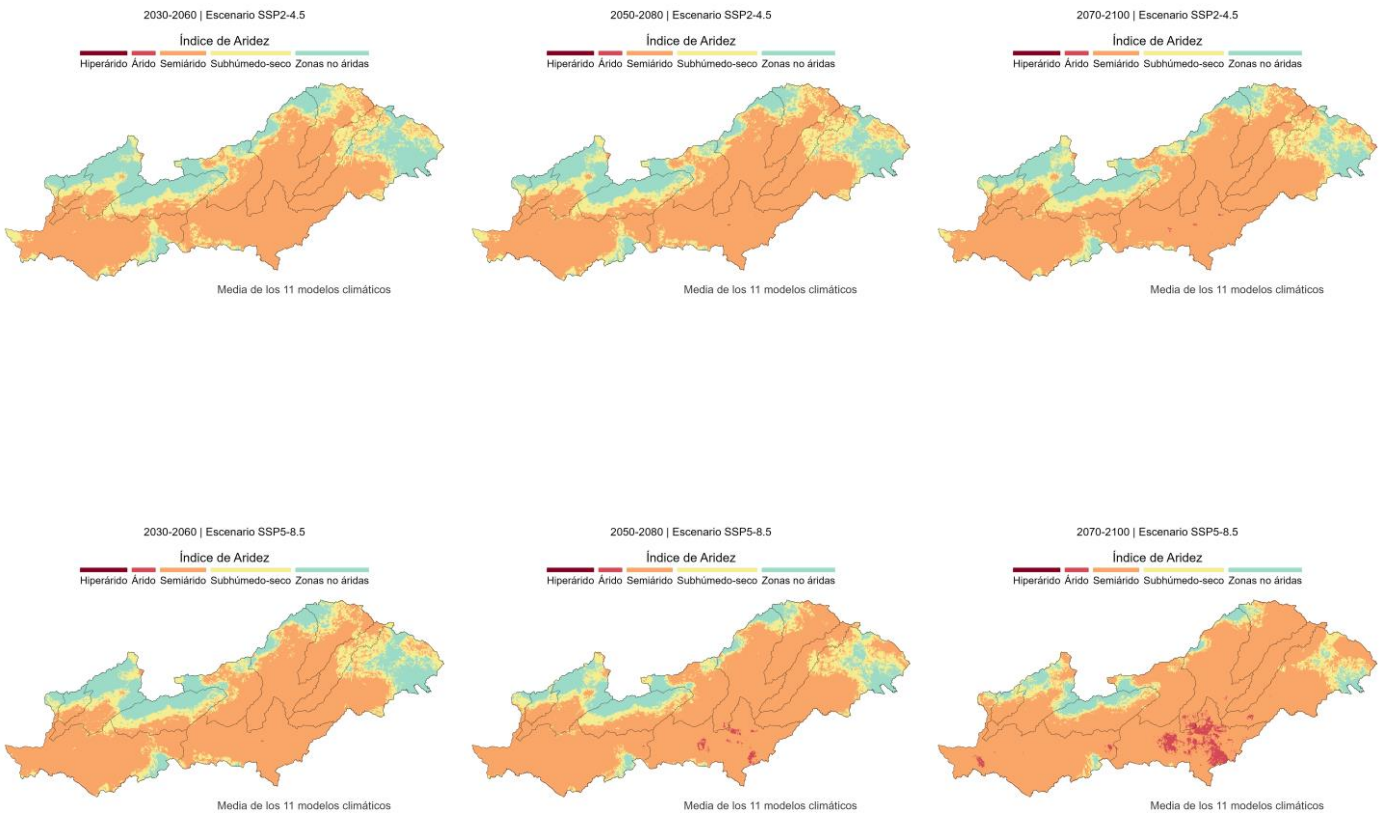
A escala de cada ámbito territorial, la escorrentía mensual se acumula / agrupa en valores anuales y se identifican las sequías como rachas de años consecutivos en las que la escorrentía cae por debajo de un umbral, adoptándose en este caso la mediana.

De cada episodio se caracterizan sus variables de interés: duración (años) y déficit (expresado como déficit acumulado / medio anual asociado al episodio). Con el conjunto de episodios se ajusta una distribución de probabilidad y se estima, para distintas duraciones (en particular 2 y 5 años) la relación entre déficit y periodo de retorno (T).

El contraste se realiza comparando el periodo de control 1961–2000 con tres periodos futuros de 30 años (2010–2040, 2040–2070 y 2070–2100).

La señal dominante es un aumento de la frecuencia de sequías (menor T para un mismo déficit) conforme avanza el siglo, sobre todo en 2040–2070 y 2070–2100, tanto para sequías de 2 como de 5 años. Las diferencias entre RCP4.5 y RCP8.5 son moderadas, aunque el 8.5 tiende a intensificar la frecuencia al final de siglo, con dispersión entre proyecciones.

3.27 Evolución de la aridez



Aunque sean conceptos diferentes, la evolución de la aridez es un indicador indirecto de cómo tenderá a evolucionar la sequía. La sequía es un episodio transitorio (una anomalía respecto a las precipitaciones normales) que puede ser meteorológica, agrícola o hidrológica; la aridez, en cambio, describe una condición climática de fondo (balance medio entre aportes y demanda atmosférica). Cuando el clima se vuelve más árido —por menos precipitación, más evapotranspiración potencial (mayor demanda evaporativa) o ambas— el sistema parte de un déficit hídrico estructural mayor: se reducen la humedad del suelo y los caudales "base", aumenta la sensibilidad a rachas secas y, por tanto, episodios de sequía de igual duración o precipitación anómala tienden a ser más frecuentes, más intensos o a propagarse más rápidamente hacia impactos agrícolas e hidrológicos.

Para representar esa condición de fondo se usa ampliamente el **Índice de Aridez** (IA = P/ETP), que permite clasificar el territorio en categorías comparables en el tiempo. En las ilustraciones adjuntas se muestran las transiciones de tipos de aridez en tres horizontes y dos escenarios: hiperárido, árido, semiárido, subhúmedo seco y no árido. Estos cambios de clase sintetizan, de forma visual, el desplazamiento del balance climático hacia condiciones que favorecen sequías más recurrentes y persistentes.

Figura 67. Variación del índice de aridez para diversos horizontes temporales y escenarios climáticos. Fuente: elaboración propia a partir de proyecciones SIMPA (CEDEX)

En la DH Tajo la previsión es que se acentúe un desplazamiento hacia tipos más áridos. El tipo semiárido se expande a costa del subhúmedo en el escenario SSP2-4.5, tendencia que se agudiza en el escenario de altas emisiones. El tipo árido pasaría a ser dominante en el horizonte más alejado y en el peor escenario en la zona de Toledo en especial en comarcas como La Sagra. Como zonas no áridas quedarían en este caso las asociadas a regiones de montaña y de mayor altitud enclavadas en los Sistemas Central e Ibérico y Montes de Toledo.

4. Impactos y riesgos asociados al cambio climático

Marco conceptual y metodológico

Marco conceptual para la consideración de peligros, riesgos e impactos

Marco metodológico para la evaluación de riesgos: el ciclo de adaptación en la planificación hidrológica

Distinción de peligros, riesgos e impactos

Peligros climáticos

Peligros climáticos y consecuencias para el ciclo hidrológico

Determinación de las amenazas climáticas clave

Riesgos e impactos

Catalogación de impactos y riesgos

Lista de impactos relevantes para la planificación hidrológica

Determinación de los impactos potenciales clave

4.1 Marco conceptual para la consideración de peligros, riesgos e impactos

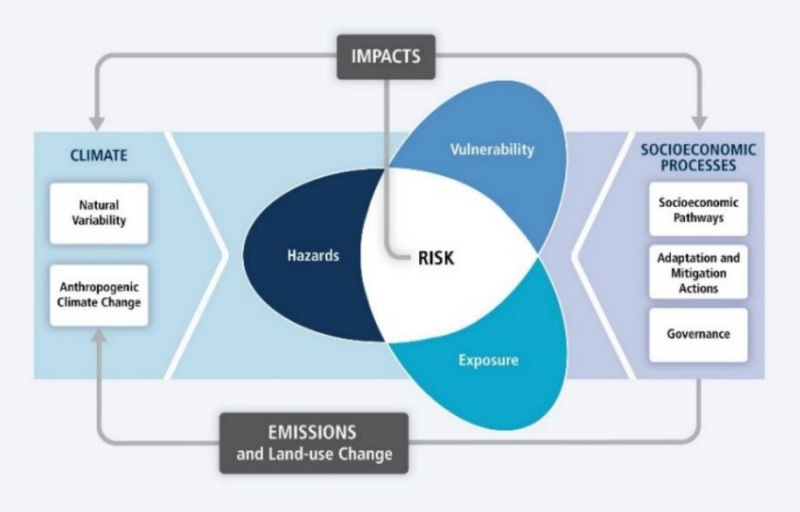


Figura 68. Marco conceptual para la evaluación del riesgo. (IPCC WGII AR5, 2014).

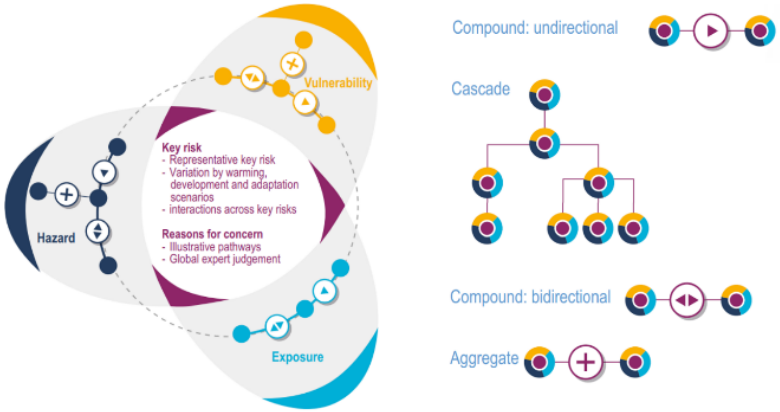


Figura 69. Marco conceptual del riesgo en el AR6. (IPCC WGII AR6, 2022).

El **marco conceptual de la evaluación de riesgos climáticos** aparece por primera vez en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5, 2014), que formaliza la definición de riesgo como una función de la probabilidad de ocurrencia de un peligro y de las consecuencias derivadas de la exposición y vulnerabilidad de los sistemas afectados, introduciendo un marco conceptual que integra estos tres componentes. Este marco se incorpora en el PNACC como base para la planificación y ejecución de las acciones de adaptación al cambio climático en España. El Sexto Informe de Evaluación (AR6, 2022) refina y amplía el modelo incorporando riesgos compuestos, en cascada y sistémicos, y la influencia de las respuestas de adaptación. En su glosario define cada una de las componentes:

- **Peligro o amenaza (Hazard)**: acaecimiento potencial de un suceso o tendencia física de origen natural o humano, o un impacto físico, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios y recursos ambientales.

Exposición: la presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructuras; o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.

- **Vulnerabilidad:** la propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la **sensibilidad** (grado en que un sistema o una especie se ve afectado, ya sea de manera adversa o favorable, por la variabilidad o el cambio climático) y la **capacidad adaptativa** (la capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos para ajustarse a los daños potenciales, aprovechar las oportunidades o responder a las consecuencias).
- **Riesgo:** la posibilidad de que se produzcan consecuencias adversas para los sistemas humanos o ecológicos, reconociendo la diversidad de valores y objetivos asociados a dichos sistemas. En el marco del EACC, los riesgos pueden derivarse de los impactos potenciales del cambio climático, así como de las respuestas humanas al mismo, y son el resultado de las interacciones dinámicas entre los peligros climáticos y la exposición y vulnerabilidad de los sistemas humanos o ecológicos a dichos peligros.
- **Impactos:** las consecuencias de los riesgos realizados sobre los sistemas naturales y humanos. Por lo general, los impactos se refieren a los efectos sobre las vidas, los medios de subsistencia, la salud y el bienestar, los ecosistemas y las especies, los conjuntos económicos, sociales y culturales, los servicios (incluidos los servicios ecosistémicos) y las infraestructuras. Los impactos pueden ser adversos o beneficiosos.

A efectos operativos, se trabajará con una única lista de “situaciones de riesgo / impacto”, entendidas como unidades integradas que combinan peligro, exposición, vulnerabilidad e impactos potenciales, cuya definición práctica y uso específico se desarrollan en detalle en la sección 4.3.

4.2 Marco metodológico para la evaluación de riesgos: el ciclo de adaptación en la planificación hidrológica

Figura 70. Los seis pasos del modelo RAST. Fuente: Climate-Adapt

El modelo RAST (Regional Adaptation Support Tool) de Climate-Adapt estructura el ciclo de adaptación al cambio climático en seis pasos: (1) preparar el terreno para la adaptación, (2) evaluar los riesgos y vulnerabilidades climáticas, (3) identificar opciones de adaptación, (4) evaluar estas opciones, (5) implementarlas y (6) hacer su seguimiento y revisión. Este esquema subraya el carácter iterativo del proceso y sitúa la evaluación de riesgos (Paso 2) como núcleo metodológico sobre el que se apoyan las decisiones posteriores de planificación y diseño de medidas.

El esquema propuesto por la Guía OECC 2023 (introducida en la sección 1.5) desarrolla el **Paso 2** desde la perspectiva del marco IPCC (expuesto en la sección 4.1) y propone una secuencia operativa aplicable a distintos sectores y niveles territoriales. Más específicamente, el diagrama de la Figura 71 propone partir de escenarios de peligros climáticos (olas de calor, sequías, inundaciones, etc.), caracterizar los elementos expuestos, factores de sensibilidad y capacidad de adaptación, y derivar niveles de riesgo comparables entre territorios y sectores, enfatizando la coherencia terminológica y metodológica entre ejercicios de evaluación.

Figura 71. Esquema para la evaluación de los riesgos climáticos. Fuente OECC 2023

El Paso 2 puede, a su vez, organizarse en sus cuatro fases, cuya integración en el EACC se detalla en los puntos siguientes:

- La **fase 2.1** –definir los elementos centrales de la evaluación (alcance, actores, amenazas climáticas, sistemas receptores, escalas y horizontes temporales)– combina la caracterización climática e hidrológica observada (capítulo 2) y los escenarios de cambio climático (capítulo 3), incluyendo escalas espaciales, horizontes temporales y variables climáticas e hidrológicas relevantes.
- La **fase 2.2** –identificar los riesgos combinando peligros, exposición y vulnerabilidad (PEV)– se concreta en la combinación de amenazas climáticas y sistemas receptores: la sección 4.4 sintetiza las consecuencias de los peligros climáticos sobre el ciclo hidrológico de la demarcación; la sección 4.6 identifica las amenazas climáticas clave para el agua; las secciones 4.7, 4.7 y 4.8 desarrollan, respectivamente, la catalogación de impactos y riesgos, la selección de impactos relevantes para la planificación hidrológica y la determinación de los impactos potenciales clave.
- La **fase 2.3** –evaluar dichos riesgos mediante indicadores, análisis cualitativos o modelos– se desarrolla en el capítulo 5.7, donde se aplican indicadores PEV, análisis cualitativos y modelos de análisis geoespacial para evaluar un conjunto reducido de riesgos seleccionados. Adicionalmente, el capítulo 5 reúne referencias nacionales de evaluación de riesgos climáticos (ERICC y otros estudios sectoriales), que sirven como guía para la elección de indicadores PEV y garantía de coherencia con los marcos estatales y europeos.
- En relación con la **fase 2.4** –priorizar los riesgos principales y derivar objetivos de adaptación específicos–, la priorización de riesgos puede considerarse subsumida en la fase 2.2 a través de la identificación operativa de impactos / riesgos, justificada en la sección 4.3; los objetivos de adaptación vienen determinados por el marco legal (art. 4bis del RPH) y estratégico (PNACC y ERICC). Sirve de base para establecer las medidas de adaptación (capítulo 7) cerrando el ciclo entre evaluación de riesgos y respuesta adaptativa.

4.3 Distinción de peligros, riesgos e impactos

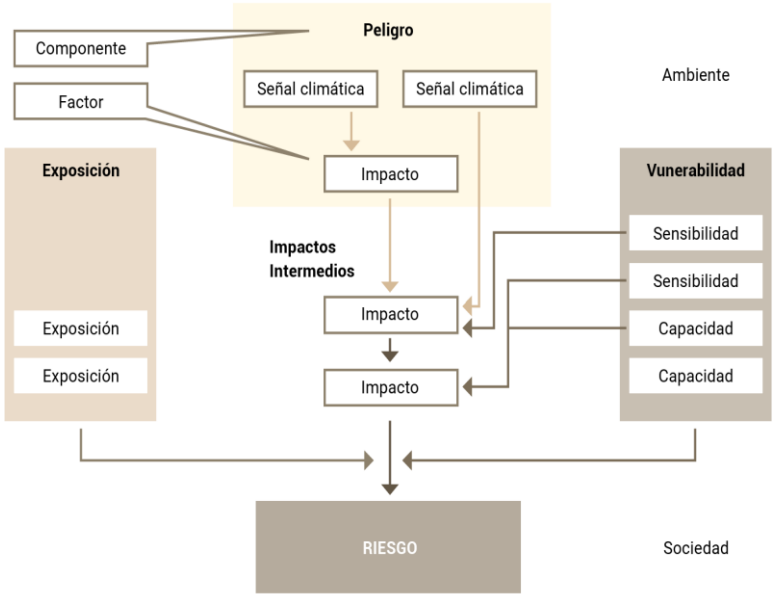


Figura 72. Esquema de componentes de los riesgos asociados al cambio climático (OECC 2023), adaptado de Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook (GIZ, 2017)

La aplicación práctica de la terminología utilizada en la literatura sobre adaptación no es uniforme, por lo que resulta necesario aclarar cómo se emplean aquí los conceptos de **peligro** (o amenaza), **riesgo** e **impacto**.

En el marco del IPCC, el riesgo climático se define como la posibilidad de consecuencias adversas, mientras que **los impactos** serían, en sentido estricto, **riesgos que se han materializado** en dichas consecuencias. La identificación de impactos está, por tanto, estrechamente vinculada a la de los riesgos, de modo que tienden, cuando menos, a solaparse.

La **frontera entre amenaza e impacto** no siempre es nítida. En función del nivel de análisis —físico, sectorial o territorial— una misma variable puede actuar como amenaza o como impacto. Algunas conceptualizaciones como la incluida en la Guía OECC 2023 (Figura 72) distingue entre unos **impactos de primer orden**, que derivan directamente de las señales climáticas, y otros impactos que derivan de los anteriores. Este enfoque introduce una forma habitual de conceptualizar los riesgos climáticos: las cadenas de impacto, que describen las relaciones causa-efecto entre los principales factores y procesos que conducen a un riesgo climático concreto. En ellas, cada factor se asocia con una de las tres componentes PEV del riesgo.

En el EACC, se consideran **amenazas climáticas** tanto las **señales atmosféricas primarias** (por ejemplo, incremento de temperatura, cambios en la precipitación o en la demanda evaporativa) como las **respuestas hidrológicas directamente inducidas por ellas** (por ejemplo, reducción del volumen de recursos superficiales, descenso piezométrico o alteraciones del régimen estacional).

Esta aproximación permite tratar como amenazas aquellos procesos físicos que actúan como mecanismos causales inmediatos sobre los impactos sectoriales, aunque su ubicación en la cadena causal sea posterior a la señal climática. Sobre esta base, y sin desarrollar en detalle todas las posibles cadenas de impacto, se establece una delimitación operativa clara: las amenazas climáticas se entienden como los principales mecanismos físicos mediante los cuales el cambio climático puede generar impactos significativos sobre los recursos hídricos y las actividades económicas y sociales que dependen de ellos.

En cuanto a la relación entre riesgos e impactos potenciales, este estudio adopta una solución práctica. Conceptualmente, riesgo e impacto no son lo mismo; sin embargo, en la práctica, ambos se refieren a las mismas situaciones físico-sectoriales que interesa analizar y gestionar. Por ello, y para facilitar la lectura y el enlace con la planificación hidrológica, **se trabaja con una única lista de situaciones de riesgo / impacto**, que agrupan en un mismo enunciado: (i) la amenaza climática relevante, (ii) los elementos expuestos, (iii) los principales factores de vulnerabilidad y (iv) las consecuencias esperadas. Estas situaciones pueden interpretarse tanto como impactos potenciales (cuando se enfatizan sus efectos y manifestaciones) como como riesgos climáticos (cuando se enfatiza su probabilidad, peligrosidad y grado de exposición y vulnerabilidad).

Esta asimilación es operativa y tipológica, no conceptual: el marco de referencia del IPCC se mantiene, ya que en los capítulos posteriores se descompone explícitamente cada situación de riesgo / impacto en sus componentes PEV, y se distinguen, cuando procede, los impactos ya observados de los riesgos proyectados bajo distintos horizontes temporales y escenarios climáticos. La definición práctica de estas situaciones de riesgo / impacto, así como su catalogación y selección para la planificación hidrológica, se desarrolla en las secciones 4.4 a 4.8.

4.4 Peligros climáticos y consecuencias para el ciclo hidrológico

Cód.	Proceso climático	Tipo	Descripción
A	Aumento de la temperatura del aire	Directa	Incremento sostenido de la temperatura media del aire y de los extremos térmicos a escala planetaria debido al forzamiento radiativo por gases de efecto invernadero.
B	Aumento de la temperatura oceánica	Directa	Calentamiento progresivo de la superficie y de la capa superior del océano como consecuencia de la absorción del exceso de energía del sistema climático.
C	Pérdida de masa de la criosfera	Directa	Reducción del volumen de glaciares, hielo marino y nieve estacional causada por el aumento de las temperaturas atmosféricas (A) y oceánicas (B).
D	Cambios en circulación atmosférica / patrones hidrometeorológicos	Indirecta	Alteraciones en los patrones de circulación general (chorro, Hadley, ENSO, NAO, etc.) debidas a la redistribución de energía y humedad en el sistema climático.

Figura 73. Respuestas físicas primarias del sistema climático. Fuente: elaboración propia

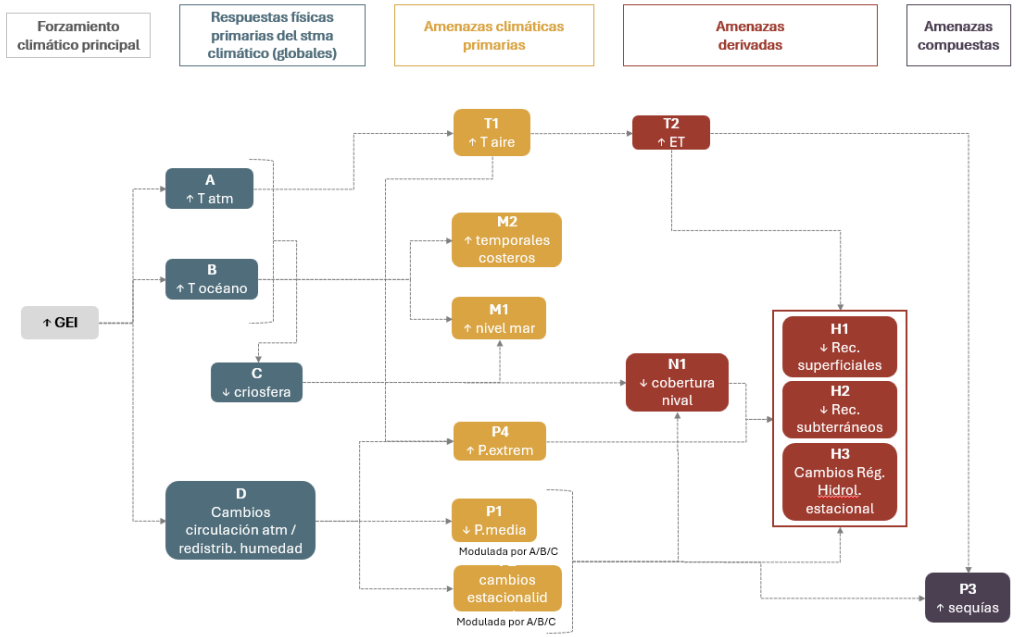


Figura 74. Relaciones funcionales entre los peligros climáticos. Fuente: elaboración propia

En los capítulos 2 y 3 se han descrito las principales señales de cambio climático previstas para la demarcación y su entorno, así como los escenarios de referencia. Sobre esta base, en este epígrafe se sintetiza cómo dichas señales se traducen en **peligros climáticos para la planificación hidrológica**, articulando un marco de análisis que permitirá, en secciones subsiguientes, analizar impactos y riesgos de forma homogénea.

A partir de las fuentes de referencia (IPCC AR6, Climate-Adapt, ERICC, informes de la AEMA, EUCRA y otros) se ha definido un conjunto operativo de amenazas climáticas adaptado al contexto de la planificación hidrológica en España. La clasificación propuesta pretende ofrecer una **visión estructurada y jerárquica del conjunto de peligros**, reflejando la **cadena de causalidad física** del sistema climático: desde los **forzamientos globales** (aumento de gases de efecto invernadero) y las **respuestas físicas primarias del sistema climático**, hasta las **respuestas hidrológicas observables** en el ámbito de cuenca, facilitando su integración posterior con los análisis de impactos y riesgos.

El esquema distingue tres tipos de peligros:

- **Primarios**: respuestas físicas fundamentales del sistema climático al forzamiento por gases de efecto invernadero, sin depender de otras amenazas.
- **Derivados**: efectos físicos directos de una o varias amenazas primarias sobre componentes específicos del sistema hidrológico, medibles individualmente.
- **Compuestos**: fenómenos emergentes que resultan de la combinación de múltiples amenazas primarias y/o derivadas, y que por sí mismos generan nuevos riesgos o impactos diferenciados.

El esquema muestra cómo las amenazas primarias actúan como impulsores físicos de las amenazas derivadas y compuestas. Las amenazas definidas no deben entenderse como fenómenos aislados, sino como procesos interdependientes dentro del sistema climático-hidrológico.

En términos operativos, se agrupan las amenazas en varios bloques de procesos: térmicos continentales, respuestas hidrometeorológicas regionales, respuestas hidrológicas regionales, procesos de fusión de la criosfera y procesos oceánicos-costeros.

En conjunto, este marco proporciona la base común para el análisis posterior de impactos y riesgos asociados al cambio climático en el ámbito de la planificación hidrológica.

4.5 Determinación de las amenazas climáticas clave

El Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH) identifica los riesgos asociados al cambio climático, en relación con el agua, los 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*; y *el incremento de la temperatura del agua*. Estos tres grupos constituyen el marco normativo de referencia para la identificación de amenazas climáticas clave en este estudio. En el caso de los fenómenos extremos, se diferenciarán explícitamente las **sequías** y las **inundaciones**.

A partir del marco de amenazas descrito en la sección 4.4 y de la **revisión de fuentes internacionales y nacionales** –perfil de país de Climate-Adapt, PNACC y ERICC, IPCC AR6 para la región mediterránea, informes de la AEMA sobre agua y cambio climático, tabla de amenazas climáticas EUCRA–, se ha realizado un ejercicio de síntesis para seleccionar aquellas amenazas climáticas que, por su relevancia para la planificación y gestión del agua en España, se consideran clave. El análisis de dichas fuentes muestra un alto grado de coincidencia en cuanto a las variables hidrometeorológicas dominantes y a la tendencia a la agudización de la mayoría de los peligros.

Por tanto, la selección de amenazas climáticas clave se ha basado en tres **criterios principales**: (i) **coherencia normativa** con las categorías del RPH, (ii) **robustez científica y consistencia entre fuentes** respecto a la dirección y magnitud del cambio esperado y (iii) **relevancia hidrológica y de gestión**, medida en términos de su potencial para generar impactos significativos sobre los recursos hídricos, los ecosistemas asociados y los usos del agua. El sistema de clasificación aplicado facilita la trazabilidad entre señales climáticas, amenazas e impactos, evita solapamientos o ambigüedades conceptuales, y favorece la comparabilidad y coherencia de los análisis entre demarcaciones.

Grupo	Cód.	Amenaza	Tipo	Proceso explicativo
Procesos térmicos continentales	**T1**	Incremento de la temperatura del aire	Primaria	El forzamiento radiativo por GEI aumenta el almacenamiento de energía → la atmósfera superficial se calienta → sube la temperatura media y se intensifican extremos (olas de calor).
	T2	Incremento de la evapotranspiración potencial	Derivada	Aire más cálido (T1) → mayor capacidad de retener vapor (ley de Clausius-Clapeyron) → mayor déficit de presión de vapor → sube la ETP/ET_o.
Respuestas hidrometeorológicas regionales	**P1**	Reducción de la precipitación media anual	Primaria	El cambio en patrones de circulación altera trayectorias de borrascas y transporte de humedad → menos precipitaciones medias en algunas regiones → déficit pluviométrico.
	P2	Cambios en la distribución estacional de la precipitación	Primaria	Cambios en los centros de acción atmosféricos y en la interacción océano-atmósfera → la lluvia se concentra en ciertas estaciones y escasea en otras.
	P3	Aumento frecuencia/intensidad de sequías meteorológicas	Compuesta	Menos lluvia (P1/P2) y más demanda evaporativa (T2) → más periodos en los que la disponibilidad hídrica es insuficiente → sequías meteorológicas más intensas y frecuentes.
	P4	Aumento de intensidad/frecuencia de precipitaciones extremas	Primaria	Una atmósfera más cálida retiene más vapor (T1), que al condensar se traduce en lluvias más intensas; si coinciden con patrones de circulación favorables (D), se disparan episodios extremos.
Respuestas hidrológicas regionales	**H1**	Reducción del volumen de recursos hídricos superficiales	Derivada	Una menor precipitación efectiva (P1/P2) combinada con una atmósfera más demandante (T2) reduce la generación de escorrentía y los caudales base. En cuencas nivales, la reducción del aporte de nieve (N1) intensifica la pérdida estival de recursos.
	H2	Descenso de niveles freáticos y agotamiento de manantiales	Derivada	Menor precipitación efectiva (P1/P2)y mayor ETP reducen la recarga natural. En sistemas conectados, el descenso de caudales fluyentes (H1) reduce la entrada hacia el acuífero. Niveles piezométricos más bajos pueden llevar al cese de surgencias.
	H3	Alteraciones del régimen hidrológico estacional	Derivada	Cambio en la estacionalidad de la lluvia (P2) se traslada al caudal. La pérdida de nieve (N1) adelanta y acorta las crecidas pluvionivales. La demanda evaporativa (T2) intensifica los estiajes. Los eventos extremos (P4) introducen irregularidad y picos súbitos.
Procesos de fusión de la criosfera	**N1**	Alteración del régimen nival (volumen de nieve y estacionalidad del deshielo)	Derivada	El calentamiento reduce la acumulación nival y adelanta el deshielo; además, menos precipitación sólida (P1/P2) implica menos nieve acumulada en invierno.

4.6 Catalogación de impactos y riesgos

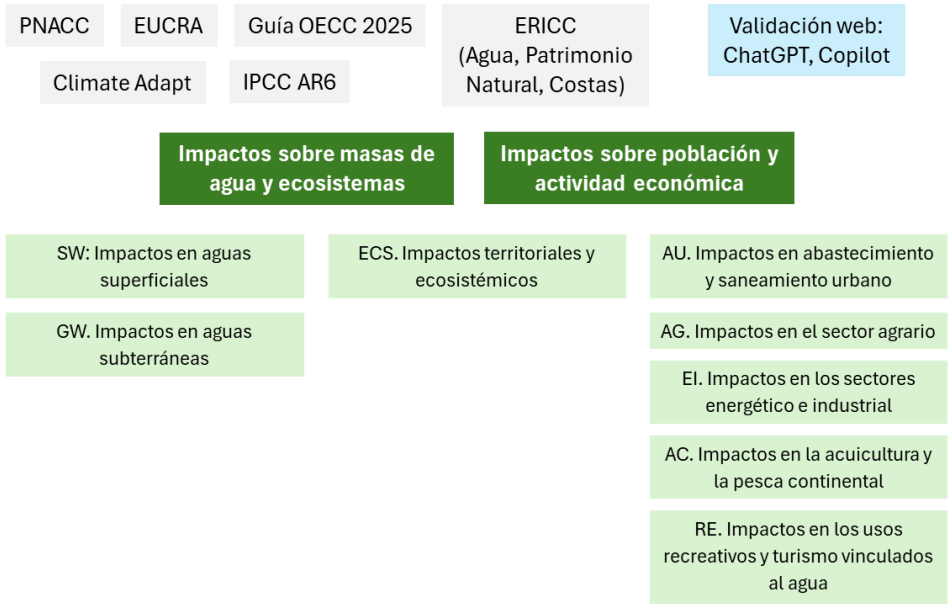


Figura 75. Catalogación de impactos potenciales

La catalogación de impactos y riesgos parte del mandato del RPH y de la Ley 7/2021, para la identificación de los principales impactos del cambio climático tanto sobre el estado de las masas de agua y los ecosistemas asociados como sobre las actividades socioeconómicas dependientes del agua. En particular, el TRLA (art. 60) y el RDPH (art. 49 bis) orientan la clasificación de las actividades económicas afectadas, mientras que el RPH hace hincapié en las afecciones al estado de las masas de agua y en los impactos derivados de la retención de sedimentos en embalses.

Tal y como se ha señalado en la sección 4.3, el EACC adopta un criterio operativo que trabaja con una única lista de "situaciones de impacto/riesgo", en la que los impactos potenciales (en el sentido de la Guía OECC y del IPCC) se tratan como categorías de riesgo a evaluar, sin perder de vista la distinción conceptual entre riesgo e impacto.

El catálogo se ha apoyado en múltiples referencias:

- Las listas de **impactos de la Guía OECC 2025** que distingue entre impactos sobre el estado de las masas de agua superficiales y subterráneas y sobre las actividades socioeconómicas (abastecimiento, regadío, energía, usos recreativos, acuicultura).
- Las cadenas de impacto y listas sectoriales desarrolladas en **ERICC** (en particular, los riesgos clave de los sectores Agua y recursos hídricos, Patrimonio Natural y Costas), que permiten incorporar efectos sistémicos y en cascada.
- Otras **fuentes nacionales e internacionales**.

A partir de estas fuentes se ha construido un catálogo homogéneo de situaciones de impacto / riesgo agrupadas en ocho grandes categorías (Figura 75). Cada situación de impacto / riesgo se documenta en las fichas del Anejo 4, donde se recoge su descripción, los componentes ambientales y sectores afectados, las amenazas climáticas asociadas, los impactos relacionados, o los elementos de calidad afectados (DMA).

El **listado de impactos relevantes para la planificación hidrológica** se presenta en la sección 4.7. Los criterios utilizados para la selección han sido: relevancia hidrológica y ecológica (impactos SW, GW y ECS); importancia socioeconómica (afección a servicios y actividades esenciales), representatividad de todos los sectores y/o afección global a la seguridad hídrica; correspondencia con las amenazas climáticas clave definidas en la sección 4.5 (cambios en el régimen de caudales, fenómenos extremos, incremento de temperatura); coherencia con las cadenas de impacto de ERICC, de modo que los impactos seleccionados permitan capturar tanto efectos directos como efectos sistémicos. Este catálogo no pretende ser exhaustivo, sino suficientemente representativo de los principales riesgos para los recursos hídricos y los usos dependientes del agua. Las cuestiones relacionadas con impactos agregados, acumulativos y en cascada, tratados conceptualmente en ERICC y resumidos en el capítulo 5, se abordan de forma exploratoria en las citadas fichas del Anejo 5.

Este conjunto de impactos constituye el universo de referencia para la evaluación de riesgos climáticos del capítulo 5.7 y para la identificación de necesidades de adaptación en el capítulo 7. En la sección 4.8 se aplicará un proceso de priorización cualitativa, basado en criterios como la severidad, la extensión geográfica, el carácter sistémico, la probabilidad futura y la urgencia temporal, que permitirá identificar un subconjunto de **impactos potenciales clave** sobre los que focalizar los análisis y las medidas de adaptación.

4.7 Lista de impactos relevantes para la planificación hidrológica

Código	Descripción
SW: Impactos en aguas superficiales	
SW1	Aumento de la intermitencia de ríos y arroyos
SW2	Aumento de la concentración de contaminantes por menor dilución
SW3	Alteraciones de parámetros fisicoquímicos (pH, salinidad)
SW4	Incremento de turbidez y sólidos en suspensión
SW5	Eutrofización de masas de agua lénticas
SW6	Contaminación difusa provocada por inundaciones
SW7	Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales (DMA)
GW. Impactos en aguas subterráneas	
GW1	Intrusión salina en acuíferos costeros
GW2	Merma de calidad química de las aguas subterráneas
GW3	Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA)
ECS. Impactos territoriales y ecosistémicos	
ECS1	Elevación de la temperatura del agua en ríos, lagos y embalses
ECS2	Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos
ECS3	Alteración de las comunidades biológicas (fauna y flora)
ECS4	Afección a especies emblemáticas y endémicas
ECS5	Degradación de ecosistemas ribereños y terrestres asociados
ECS6	Expansión de especies exóticas invasoras
ECS7	Proliferación de patógenos y contaminantes emergentes
ECS8	Incremento de la sedimentación en embalses y cauces
ECS9	Daños sistémicos (sociales, económicos, ambientales) por sequía prolongada
ECS10	Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales
ECS11	Daños sistémicos por inundaciones costeras y temporales marítimos
ECS12	Elevación del nivel freático y drenaje deficiente en llanuras litorales
ECS13	Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima
AU. Impactos en abastecimiento y saneamiento urbano	
AU1	Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento
AU2	Incremento de la demanda de agua potable

Código	Descripción
AU3	Deterioro de la calidad del agua bruta para potabilización
AU4	Estrés en las redes de saneamiento y drenaje urbano
AU5	Daños en los servicios del ciclo urbano del agua por inundaciones
AU6	Problemas de salud pública asociados al agua
AG. Impactos en el sector agrario	
AG1	Mayor estrés hídrico en cultivos de secano
AG2	Reducción de la garantía de suministro del regadío
AG3	Incremento de la demanda de riego
AG4	Cambios en la idoneidad de cultivos y en los calendarios agrícolas
AG5	Proliferación de plagas, malas hierbas y enfermedades
AG6	Impactos en la producción ganadera intensiva
AG7	Impactos en la producción ganadera extensiva
AG8	Daños agrícolas por eventos hidrometeorológicos extremos distintos de la sequía
AG9	Pérdida de fertilidad o erosión de suelos
EI. Impactos en los sectores energético e industrial	
EI1	Disminución de la producción hidroeléctrica
EI2	Limitaciones en la refrigeración de centrales térmicas e industriales
EI3	Daños en infraestructuras energéticas por eventos extremos
EI4	Afectación de la producción industrial por escasez de agua
EI5	Impacto en la bioenergía y nuevos sistemas energéticos
RE. Impactos en los usos recreativos y turismo vinculados al agua	
RE1	Deterioro de la calidad de aguas de baño y recreo
RE2	Reducción de caudales y niveles en ríos y embalses
RE3	Pérdida de atractivos naturales vinculados al agua (cascadas, lagunas…)
RE4	Alteraciones en la temporada turística por clima extremo
AC. Impactos en la acuicultura y la pesca continental	
AC1	Descenso del rendimiento de la acuicultura por condiciones adversas
AC2	Intrusión salina y cambios en estuarios que afectan cultivos marinos
AC3	Cambios en las poblaciones de peces continentales
AC4	Nuevas enfermedades y parásitos en sistemas de cría

4.8 Determinación de los impactos potenciales clave

El objetivo de asignar un nivel de prioridad a las situaciones de riesgo / impacto identificadas en la sección 4.7 no es producir un ranking estático, sino un marco transparente y trazable que ayude a focalizar el esfuerzo analítico y la definición de medidas de adaptación en los capítulos siguientes. El enfoque se inspira en el análisis multicriterio utilizado en la ERICC para seleccionar riesgos clave y en las recomendaciones de las Guías OECC, con escalas también consistentes con metodologías previas como las empleadas en el marco IPCC AR6. Este análisis se ha desarrollado a nivel nacional.

La tabla de la izquierda resume la lógica de los criterios de valoración empleados y la ponderación dada a cada criterio. El Anejo 5 incluye una explicación detallada de las escalas aplicadas para cada criterio (Alta / Media-alta / Media / Media-baja / Baja / Incierta).

Criterio	Peso	Descripción
Nivel de propagación / Efecto sistémico	0,20	Prioriza los impactos que detonan otros impactos, es decir, los situados en posiciones altas de las cadenas de impacto y que generan consecuencias en cascada en varios sectores, en línea con los *risk accelerators* del IPCC AR6.
Severidad / Magnitud	0,15	Mide el grado de daño potencial del impacto (económico, social y ambiental) y su posible irreversibilidad o duración, es decir, hasta qué punto compromete la viabilidad de los ecosistemas o la salud y el bienestar humanos.
Probabilidad futura (peligrosidad climática)	0,15	Evalúa el aumento esperado de la peligrosidad climática que desencadena el impacto y el nivel de confianza científica asociado, considerando la tendencia prevista del fenómeno (sequía, inundación, temperatura, nivel del mar, etc.) y su probabilidad de intensificación hacia 2050.
Extensión y exposición	0,15	Valora el alcance geográfico, poblacional y sectorial del impacto, diferenciando entre efectos amplios (muchas cuencas, personas y sectores afectados) y muy localizados, y capturando así la cantidad de elementos expuestos (población, infraestructuras, ecosistemas).
Vulnerabilidad actual	0,10	Indica en qué medida los sistemas naturales o humanos pueden gestionar el impacto con las capacidades actuales. Un impacto es más crítico cuando la capacidad adaptativa es baja o la sensibilidad es alta, combinando vulnerabilidad intrínseca y capacidad adaptativa presente.
Urgencia temporal	0,10	Refleja el horizonte de manifestación preocupante del impacto, priorizando aquellos ya observables o muy probables en el corto-medio plazo (hasta 2030) frente a los que se esperan sobre todo a finales de siglo, de acuerdo con el principio de precaución temporal.
Importancia estratégica	0,15	Relaciona el impacto con servicios esenciales y prioridades nacionales (por ejemplo, suministro de agua potable, seguridad alimentaria, protección civil) y con los ámbitos prioritarios del PNACC, considerando también su incidencia sobre compromisos legales como el buen estado de las aguas o los objetivos de las directivas europeas.

La tabla de la derecha presenta la metodología y los resultados de su aplicación. El Anejo 5 incluye también una justificación de las valoraciones adoptadas para cada criterio. Se muestran los impactos con puntuaciones más altas.

Cód.	Nombre	Punt.
SW7	Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales	5,0
GW3	Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas	5,0
ECS9	Daños sistémicos por sequía prolongada	5,0
AG9	Pérdida de fertilidad o erosión de suelos	5,0
AG2	Reducción de la garantía de suministro del regadío	4,9
ECS13	Incremento de incidencia de incendios forestales asociados al clima	4,9
ECS2	Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos	4,8
AG1	Mayor estrés hídrico en cultivos de secano	4,8
ECS11	Daños sistémicos por inundaciones costeras y temporales marítimos	4,8
AU1	Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento	4,8
ECS10	Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales	4,7
ECS5	Degradación de ecosistemas ribereños y terrestres asociados	4,7
ECS8	Incremento de la sedimentación en embalses y cauces	4,6
EI1	Disminución de la producción hidroeléctrica	4,6
ECS6	Expansión de especies exóticas invasoras	4,6
SW5	Eutrofización de masas de agua lénticas	4,5
GW1	Intrusión salina en acuíferos costeros	4,5
ECS4	Afección a especies emblemáticas y endémicas	4,5
AG7	Impactos en la producción ganadera extensiva	4,5
GW2	Merma de calidad química de las aguas subterráneas	4,3
ECS1	Elevación de la temperatura del agua en ríos, lagos y embalses	4,3
AG5	Proliferación de plagas, malas hierbas y enfermedades	4,3
AC3	Cambios en las poblaciones de peces continentales	4,3

...

5. Referencias nacionales de evaluación de impactos y riesgos del cambio climático

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España

(ERICC-2025): Riesgos clave vinculados al agua

ERICC. RC2.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración

ERICC. RC2.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales (sector agua y recursos hídricos)

ERICC. RC2.3. Reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad para usos y demandas

ERICC. RC3.2. Riesgo de declive poblacional y extinciones en ecosistemas acuáticos por alteraciones en variables climáticas

Cambio climático y biodiversidad

Estudios sobre el efecto del cambio climático en la biodiversidad terrestre

Estudios sobre el efecto del cambio climático en los ecosistemas acuáticos

Otros Estudios

Estrategia nacional de lucha contra la desertificación

Evaluación de los efectos del cambio climático sobre las demandas de agua en regadíos (ECLIMAR)

5.1 ERICC. RC2.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración

Embalse de San Juan durante la sequía de 2022. Fuente: Copernicus Sentinel, Unión Europea 2022.

Conforma uno de los nodos más sistémicos de ERICC (relacionado con múltiples riesgos). Describe cómo la intensificación y propagación de distintos tipos de sequía se traduce en impactos físicos, económicos y sociales de gran alcance en España. Este es uno de los riesgos que debe ser abordado en los EACC conforme al art. 4bis del RPH: *incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos*. Conecta con los impactos ECS9, AU1, AG2 y EI1.

Peligros. Los principales peligros climáticos del RC2.1 son los cambios en los patrones de distribución de la precipitación (incluida la nieve), la reducción de la precipitación total y el aumento de la temperatura del aire. Estos factores incrementan la aridez, la evaporación y modifican el reparto entre evaporación, infiltración y escorrentía, favoreciendo la aparición y propagación de distintos tipos de sequía. Las evidencias históricas muestran varios episodios de sequía extrema prolongada en España (1944–46, 1979–83, 1991–95, 2016–17, 2022–23).

Elementos expuestos. Se consideran expuestos la población, los ecosistemas acuáticos y terrestres dependientes del agua, los bienes agrícolas y ganaderos, las infraestructuras hidráulicas y energéticas, y el conjunto de actividades económicas vinculadas al recurso (agricultura, ganadería, industria, turismo, servicios). La cadena de impacto sitúa el riesgo de sequía en el centro del sistema agua, desde donde se proyectan los daños a otros sectores.

Factores de vulnerabilidad. La vulnerabilidad ambiental se asocia al estado cuantitativo y químico de las masas de agua y a la sobreexplotación de acuíferos. La degradación de suelos y la reducción de la capacidad de retención hídrica incrementan la sensibilidad. La vulnerabilidad social es mayor en territorios con elevado peso del empleo agrario, ganadero y turístico, y en colectivos con menos recursos para diversificar ingresos o afrontar pérdidas. A ello se suma una vulnerabilidad de gobernanza, ligada a la dificultad para coordinar políticas de sequía y escasez y para aplicar medidas preventivas de forma oportuna.

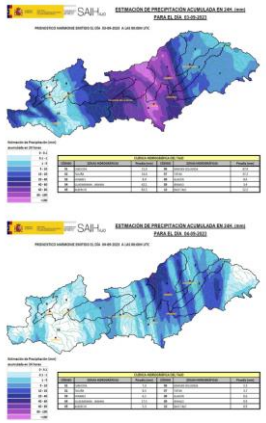
Factores subyacentes. Los modelos territoriales y productivos intensivos en agua, la expansión de la superficie regada y/o la intensificación del uso (mayor consumo efectivo del recurso), la elevada dependencia de recursos hídricos, y la contaminación difusa agrícola-ganadera y puntual urbana –que reduce la fracción de recurso realmente utilizable– generan dinámicas de bloqueo que aumentan la exposición y limitan la capacidad de ajuste ante sequías prolongadas.

Impactos y riesgos en cascada. La sequía meteorológica conduce a déficits de humedad del suelo y estrés hídrico de cultivos y vegetación (sequía agrícola), a descensos de caudales, volúmenes embalsados y niveles piezométricos (sequía hidrológica), y finalmente a restricciones para usos y pérdidas económicas (sequía socioeconómica). A partir de este nodo se generan riesgos en cascada sobre abastecimiento urbano, producción hidroeléctrica, industria, turismo, estado ecológico de masas de agua, bosques y biodiversidad, sistema financiero y, en última instancia, paz y cohesión social. El análisis de riesgos complejos asigna a RC2.1 un grado de salida muy elevado , subrayando su papel sistémico.

Análisis del riesgo de daños en distintos horizontes y escenarios. La ficha del riesgo sintetiza su evolución en función de horizontes temporales y niveles de calentamiento. En la situación actual, la severidad se clasifica ya como sustancial o crítica en muchas regiones, con importantes pérdidas económicas y ambientales en episodios recientes. A 1,5–2 °C de calentamiento, aumenta la frecuencia y duración de sequías plurianuales y se intensifican los impactos sobre recursos y sectores dependientes. En escenarios de 3–4 °C hacia final de siglo, el riesgo de daños se considera catastrófico, con potenciales pérdidas significativas del PIB y deterioro estructural de ecosistemas y sistemas productivos.

Otros aspectos. Entre los aspectos transversales destacan: (i) la fuerte desigualdad territorial del riesgo (mayor en noreste y sur peninsular, menor en el noroeste húmedo); (ii) la dimensión de justicia social y de género, dado que las sequías afectan más a medios de vida vulnerables; (iii) la interacción con otros riesgos (agricultura, energía, finanzas, ciudad), que refuerza el carácter sistémico de RC2.1; y (iv) la importancia de la gobernanza multiescalar, donde Planes Hidrológicos y Planes Especiales de Sequía son instrumentos clave.

5.2 ERICC. RC2.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales (sector agua y recursos hídricos)



Precipitaciones máximas en 24 h para los días 03 y 04 de septiembre de 2023 en la cuenca del Tajo bajo un episodio de DANA. Fuente: Informe del episodio de lluvias del 02 al 06 de septiembre de 2023, CHT.

Es riesgo clave por su recurrencia histórica, severidad actual y potencial de incremento bajo cambio climático. Responde al art. 4bis del RPH, en tanto que *incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos* como reverso del anterior (sequías). Conecta con los impactos ECS8 y ECS10.

Peligros. El riesgo se genera principalmente por lluvias torrenciales asociadas a precipitaciones convectivas y DANAs, muy vinculadas al calentamiento del mar Mediterráneo. El aumento de la temperatura superficial del mar incrementa la humedad y la inestabilidad atmosférica, multiplicando la probabilidad de extremos diarios de precipitación más intensos (a este respecto, ver también la sección 3.20). También influyen los cambios en la fusión nival y en la distribución de la precipitación, que modifican los caudales de crecida en grandes cuencas.

Elementos expuestos. Están expuestos: la población (especialmente asentamientos en llanuras de inundación y áreas urbanas y periurbanas), los bienes muebles e inmuebles, las infraestructuras críticas (energía, transporte, comunicaciones, saneamiento) y múltiples actividades económicas, con especial afección a la agricultura y a los núcleos urbanos e industriales próximos a cauces y ramblas.

Factores de vulnerabilidad. La vulnerabilidad ambiental viene condicionada por la orografía, la presencia de ramblas y barrancos y la hidrología nival en determinadas cuencas. La vulnerabilidad social se asocia a grupos de bajos ingresos, personas mayores o enfermas, con acceso limitado a servicios básicos y una cultura del riesgo reducida. En gobernanza, influyen déficits de coordinación entre administraciones y una ordenación del territorio que mantiene usos vulnerables en zonas inundables. La dimensión físico-tecnológica se agrava con suelos agrícolas desnudos o compactados, superficies urbanas impermeables, drenaje insuficiente y modificaciones de cauces y llanuras aluviales.

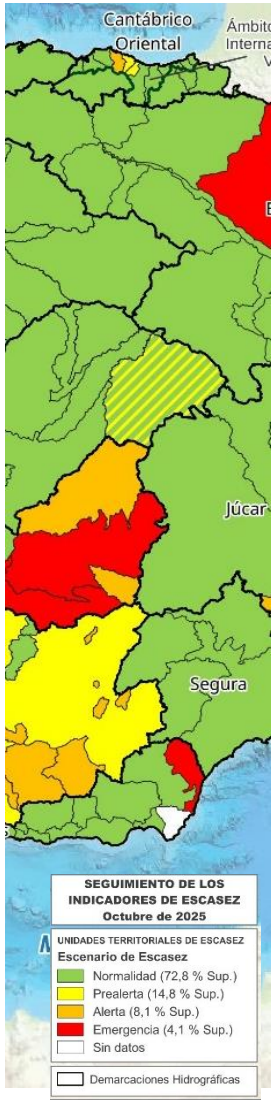
Factores subyacentes. Entre los factores de riesgo subyacentes destacan la expansión urbana y de infraestructuras sobre zonas inundables, determinadas prácticas agrarias que incrementan la escorrentía y la erosión, y la fuerte dependencia económica de actividades localizadas en valles fluviales y áreas litorales. A ello se suma la trayectoria histórica de una gestión muy basada en infraestructuras de contención, que ha favorecido la ocupación de zonas de riesgo y una percepción reducida del peligro.

Impactos y riesgos en cascada Las inundaciones han producido históricamente centenares de víctimas mortales y daños materiales muy elevados, con episodios recientes como las riadas mediterráneas de 2024 (232 fallecidos y pérdidas del orden de 17.000 M€). Los impactos directos incluyen mortalidad, lesiones y efectos sobre la salud física y mental, daños a viviendas, cultivos, infraestructuras y ecosistemas fluviales. En cascada, el riesgo se transmite al sistema financiero (indemnizaciones, presión sobre presupuestos públicos), a la cohesión social, al turismo y a otros sectores económicos, lo que explica el alto grado de salida del riesgo RC2.2 en el análisis de riesgos complejos.

Análisis del riesgo de daños en distintos horizontes y escenarios. La severidad actual del riesgo es crítica, con daños anuales por inundaciones fluviales estimados en torno al 0,04 % del PIB y una media de indemnizaciones por inundación superior a 170 M€/año en 1971-2023, sin contabilizar todos los daños pluviales. En los horizontes 2021-2040 (≈1,5 °C), 2041-2060 (≈2 °C) y 2081-2100 (3-4 °C), el riesgo pasa a ser catastrófico, con aumento del peligro y de la exposición. Se estima una población expuesta de unos 1,5 millones de personas a medio plazo y 2,7 millones a largo plazo para eventos con periodo de retorno de 500 años, especialmente en cuencas como Ebro, alto Guadiana, bajo Segura o tramos mediterráneos.

Otros aspectos. Las inundaciones pueden generar efectos transfronterizos al dañar cadenas de suministro, transporte y mercados, con repercusiones financieras. El riesgo se concentra en cuencas mediterráneas y llanuras aluviales, aunque puede darse en todo el país, y afecta sobre todo a grupos vulnerables, con especial vulnerabilidad de género por el acceso a recursos y carga de cuidados. Se han documentado casos de mala adaptación cuando defensas estructurales han aumentado la exposición y los daños. Existen umbrales críticos ligados a periodos de retorno (10, 50, 100 y 500 años) que delimitan zonas inundables y escalones de daño. El enfoque basado en defensas rígidas genera riesgos de bloqueo (lock-in) y dificulta cambios de estrategia. La gobernanza del riesgo se apoya en la DMA y la DI, la protección civil y los sistemas de alerta temprana, con una apuesta creciente por SbN y por integrar este riesgo en las políticas de adaptación y descarbonización.

5.3 ERICC. RC2.3. Reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad para usos y demandas



Mapa indicadores escasez a fecha 31/10/2025. Fuente: MITECO

Es un riesgo de escasez estructural, resultado de la combinación de cambio climático y de un modelo de uso del agua muy intensivo, distinto, pero estrechamente relacionado con la sequía extrema (RC2.1). Se corresponde con las *variaciones en los regímenes hidrológicos y en los recursos disponibles de los acuíferos* a los que alude el art. 4bis del RPH como contenido obligatorio de los EACC. Conecta con los impactos AU1, AG2 y EI1.

Peligros. Los principales peligros climáticos son la reducción de la precipitación anual, los cambios en su distribución (incluida la nieve y sus aportes por fusión) y el aumento de la temperatura del aire, suelo, vegetación y agua, que incrementa la demanda evaporativa y reduce caudales y recarga de acuíferos. El calentamiento del agua favorece la proliferación de patógenos, floraciones de cianobacterias y compuestos como geosmina o MIB, complicando la potabilización. Las lluvias intensas añaden nutrientes y sedimentos a embalses y lagos, deteriorando también la calidad del recurso.

Elementos expuestos. Ante la escasez, se exponen: la población, por posibles restricciones o cortes de suministro, especialmente en pequeñas y medianas poblaciones dependientes de acuíferos o de una única fuente; los ecosistemas acuáticos y asociados (ríos, humedales, ecosistemas dependientes de aguas subterráneas) por reducción de caudales; las infraestructuras de abastecimiento, regadío, depuración, desalación y producción de energía; las actividades económicas ligadas al agua: agricultura y ganadería (sobre todo regadío), industria, servicios y turismo.

Factores de vulnerabilidad. La vulnerabilidad ambiental depende del estado de las masas de agua y de las condiciones hidromorfológicas. La vulnerabilidad social deriva de una cultura del riesgo limitada, concentración de empleo en agricultura y servicios, y presencia de grupos sociales vulnerables. En el plano de gobernanza, pesa la insuficiente coordinación entre administraciones incapaz de frenar el crecimiento de usos intensivos en zonas ya tensionadas. La vulnerabilidad físico-tecnológica incluye redes de distribución con pérdidas, suelos agrícolas desnudos o compactados y suelos contaminados, junto con la limitada y desigual disponibilidad de recursos no convencionales. La vulnerabilidad económica es mayor cuando la estructura productiva depende fuertemente del agua (agricultura intensiva, turismo).

Factores subyacentes. Entre los factores de riesgo subyacentes destacan el desarrollo en grandes núcleos urbanos y corredores industriales, la expansión e intensificación del regadío en determinados ámbitos, la impermeabilización del suelo que reduce la infiltración, la sobreexplotación de acuíferos y, en algunos casos, la existencia de captaciones no autorizadas o no registradas, el aumento de la demanda energética y el peso del turismo en zonas con déficit hídrico. Todo ello se traduce en índices de explotación muy elevados y poco margen de gestión ante sequías y escasez.

Impactos y riesgos en cascada. Los impactos directos son restricciones al uso del agua (abastecimiento, regadío, industria, servicios y energía); pérdidas de cosechas; inestabilidad del sector agrario y de la seguridad alimentaria; caída de la producción hidroeléctrica y problemas de refrigeración en centrales térmicas; descenso freático, intrusión salina y posible subsidencia; y deterioro de ríos, humedales y ecosistemas dependientes. En cascada, aparecen pérdida de empleo en sectores sensibles, aumentos de precios, indemnizaciones, conflictos entre sectores y territorios (especialmente en cuencas con trasvases) y riesgos para la cohesión social y la seguridad cuando la escasez compromete el suministro básico o los medios de vida.

Análisis del riesgo de daños en distintos horizontes y escenarios. La severidad actual del riesgo se clasifica como crítica, aun con pérdidas económicas agregadas inferiores al 0,1 % del PIB, pero con impactos sociales y territoriales relevantes. En el corto plazo (2021-2040, ≈1,5 °C) el riesgo sigue siendo crítico, aunque intensificado por los episodios de sequía y escasez. En el medio y largo plazo (2041-2060, 2 °C, y 2081-2100, 3-4 °C) la severidad pasa a catastrófica, pudiendo llegar afectar a alrededor de dos tercios de la población y multiplicar el impacto económico en sectores como agricultura, turismo y energía. El riesgo es nacional, más intenso en cuencas con altos índices de explotación (Baleares, Segura, Júcar, Guadalquivir, Ebro, Guadiana).

Otros aspectos. El riesgo tiene dimensión transfronteriza en cuencas compartidas con Portugal, y puede propagarse mediante comercio, finanzas, cadenas de suministro y migraciones. Territorialmente se concentra en áreas con déficit hídrico y peor calidad del agua (confluencia de actividades económicas dependientes del agua y servicios ecosistémicos). Socialmente impacta más en comunidades cuyo empleo depende del agua y en grupos vulnerables. Los PES definen umbrales críticos (normalidad, prealerta, alerta, emergencia) según el volumen de recursos en cada UTE, que activan medidas y restricciones. Se refieren, además, riesgos de lock-in: mejoras de eficiencia en regadío, grandes embalses o recursos alternativos que, si no van acompañados de una gestión orientada a reducir presiones y restaurar ecosistemas, pueden consolidar un modelo de demanda insostenible.

5.4 ERICC. RC3.2. Riesgo de declive poblacional y extinciones en ecosistemas acuáticos por alteraciones en variables climáticas

Este riesgo-clave alude a la afección a los ecosistemas acuáticos continentales debido a cambios en temperatura del agua, régimen de precipitaciones y extremos hidrológicos. Es un riesgo ya presente que se agrava al combinarse con presiones antrópicas muy intensas y con un alto grado de endemicidad en la biota de aguas continentales ibéricas y los archipiélagos. Si bien tiene un objeto más amplio, incorpora *el incremento de la temperatura del agua*, incluido en el art. 4bis del RPH como objeto de los EACC. Conecta con los impactos SW7 y GW3.

Peligros. En efecto, el peligro principal es el aumento de la temperatura del agua, que reduce el oxígeno disuelto, altera la fisiología, el metabolismo y la reproducción de especies sensibles y favorece a especies más tolerantes, a menudo invasoras. Se suman las olas de calor, la modificación de los patrones de precipitación (menos nieve, cambios en estacionalidad y en caudales), el aumento de sequías prolongadas y de episodios de lluvias extremas, que alteran la disponibilidad y calidad del hábitat.

Elementos expuestos. Afecta a todos los ecosistemas acuáticos continentales y su biota (peces, anfibios, invertebrados, macrófitas), incluidos muchos espacios protegidos (Red Natura 2000, reservas de la biosfera y otros). Se subraya la especial relevancia de especies endémicas de peces y otros grupos, recogidas en el IEPNB y en la Lista Roja UICN para España, donde una proporción muy elevada de peces continentales y anfibios figura como amenazada.

Riío Gallo en Barranco de la Hoz. Fuente: CHT.

Factores de vulnerabilidad. La vulnerabilidad es alta por la estrecha tolerancia ecológica de muchas especies (estanotermia, dependencia de rangos muy concretos de nutrientes y caudales), su baja capacidad de dispersión (especialmente en lagos aislados y cabeceras de cuenca) y la fuerte fragmentación de hábitats. La endemicidad incrementa el riesgo de extinción local. La escasa representación de ecosistemas de agua dulce en redes de protección diseñadas con criterios terrestres también aumenta la vulnerabilidad.

Factores subyacentes. El riesgo se ve amplificado por presiones no climáticas: sobreexplotación de recursos (sobrepesca, extracción intensiva de agua), contaminación y deposición atmosférica de nutrientes, ocupación del espacio fluvial, presas y barreras que alteran el régimen de caudales y bloquean migraciones, la introducción de especies exóticas invasoras y la transformación de hábitats por agricultura, ganadería e infraestructuras.

Impactos y riesgos en cascada. Los impactos directos incluyen declive de poblaciones y extinciones locales, cambios en la composición de comunidades (pérdida de especies frías y especializadas, expansión de oportunistas e invasoras) y degradación de procesos ecológicos (ciclos de nutrientes, regulación de la calidad del agua). En cascada, se afectan pesquerías continentales, servicios de depuración y regulación hidrológica, valores culturales y recreativos, y potencialmente la salud pública por la pérdida de depredadores de especies problemáticas.

Análisis del riesgo de daños en distintos horizontes y escenarios. El riesgo actual se califica como sustancial, con evidencias ya claras de cambios de distribución y declives en grupos clave y un elevado porcentaje de especies amenazadas. Para el corto y medio plazo (1,5–2 °C) el riesgo pasa a crítico, con aumento de extinciones locales y reducción del hábitat adecuado, especialmente para especies frías y endémicas. A final de siglo (3–4 °C) pasa a catastrófico, con pérdidas irreversibles de biodiversidad y fuerte erosión funcional de los ecosistemas, aun con incertidumbres ligadas a umbrales ecológicos y a la interacción entre múltiples presiones.

Otros aspectos. El riesgo se intensifica en el sur y sureste peninsular y en islas y zonas de montaña con alta endemicidad, y tiene dimensión transfronteriza en cuencas compartidas y especies migratorias, en el marco de las principales políticas europeas y estatales de biodiversidad, agua y adaptación. Socialmente afecta sobre todo a comunidades vinculadas a usos primarios y al ecoturismo.

Se advierte de posibles malas adaptaciones cuando las medidas no consideran bien los procesos ecológicos. La complejidad de los sistemas dificulta definir umbrales críticos, aunque existen curvas de tolerancia para algunas especies; superarlos obliga a pasar de ajustes incrementales a restauración ecológica profunda. Se señalan, además, riesgos de lock-in por concesiones e infraestructuras que limitan la restauración y de fracaso migratorio cuando el desajuste entre señales climáticas y ciclos biológicos impide completar migraciones.

5.5 Estudios sobre el efecto del cambio climático en la biodiversidad terrestre

Entre 2009 y 2011 el MITECO abordó una primera evaluación del impacto previsible del cambio climático sobre la biodiversidad en España, proyecto que contó con los expertos del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) y de la Universidad de Extremadura. Los trabajos conformaron dos volúmenes: el primero dedicado a flora y vegetación (Felicísimo et al., 2011) y el segundo a la fauna de vertebrados (Araújo et al., 2011).

La información de distribución real de las especies (cuadrículas UTM de 10×10 km) procedente del Inventario Nacional de Biodiversidad y de distintos atlas y bases de datos especializados se ponía en relación con el clima reciente (periodo 1961–1990) a partir de mapas generados por AEMET, lo que permite delimitar el "nicho climático" de cada especie.

Una vez calibrado ese nicho, se proyectaba sobre varios escenarios climáticos futuros combinando tres modelos globales (CGCM2, ECHAM4, HadCM3H) y dos escenarios de emisiones del IPCC (entonces, A2 y B2), para tres horizontes: 2011–2040, 2041–2070 y 2071–2100.

En flora se emplea MAXENT, muy adecuado cuando solo se dispone de presencias y el número de registros es limitado. En fauna se da un paso más usando un enfoque de ensemble: cada especie se modeliza con varias familias de algoritmos (GLM, GAM, Random Forest, MaxEnt, GARP, redes neuronales, etc.), combinando diferentes parametrizaciones y escenarios.

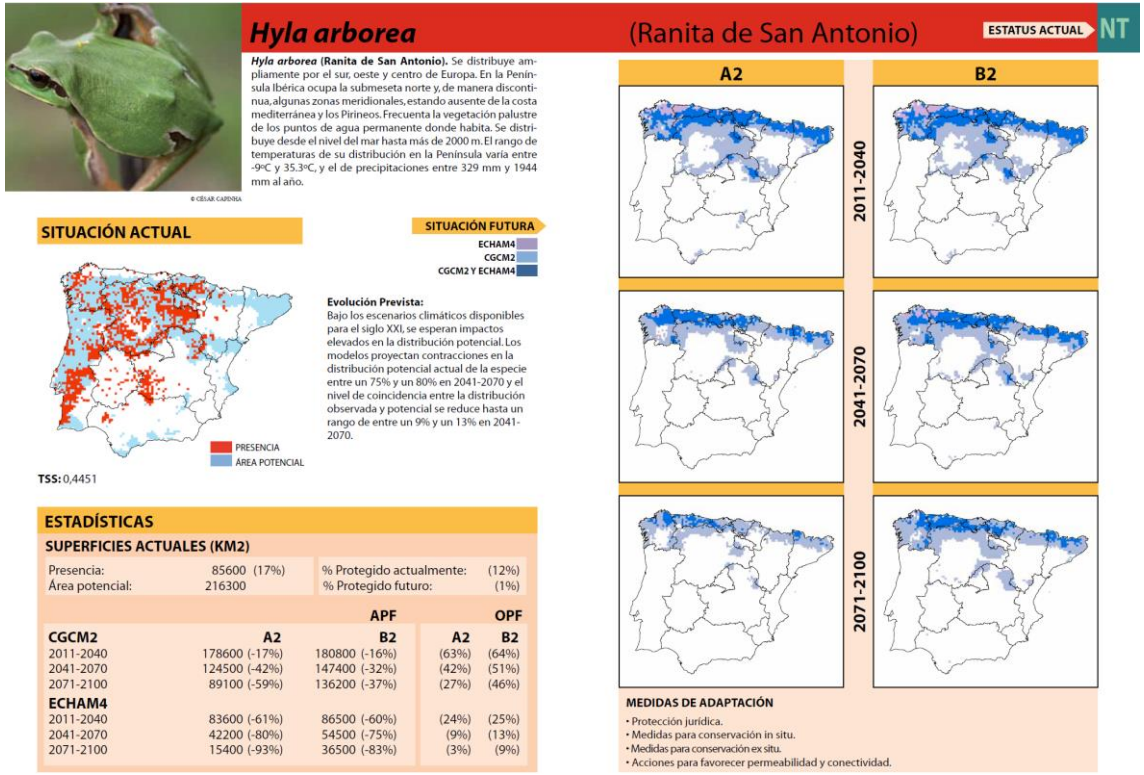


Figura 76. Ejemplo de ficha de distribución actual y bajo escenarios de cambio climático (*Hyla arborea*)

El resultado son mapas consenso de distribución potencial actual y futura donde una cuadrícula se considera climáticamente adecuada solo si coincide un porcentaje mínimo de modelos. En ambos casos, los valores continuos de idoneidad se convierten en mapas "apto/no apto" mediante umbrales objetivos. Sobre estos mapas se calculan indicadores de impacto: cambios en el área climáticamente adecuada, solapamiento entre distribuciones actuales y futuras, desplazamientos hacia el norte o a mayores altitudes, y variaciones de riqueza de especies. Así se clasifican los taxones en categorías de vulnerabilidad (de crítica a baja) o como "ganadores", "perdedores" o "estables", y se elaboran mapas de vulnerabilidad espacialmente explícitos.

Los resultados coinciden en un mensaje preocupante: se prevé una reducción generalizada de la superficie climáticamente adecuada para muchos bosques (abetales, encinares, robledales atlánticos, alcornocales) y para numerosos vertebrados, con especial riesgo para anfibios y especies de montaña, muy dependientes de condiciones frías y húmedas. Se observa un desplazamiento de la riqueza potencial hacia regiones más norteñas y elevadas, y se detecta que algunos espacios protegidos podrían perder idoneidad para ciertos grupos, lo que obliga a repensar su diseño y conectividad.

Ambos atlas incluyen fichas por especie con mapas de distribución actual y futura, diagnóstico de impacto y propuestas de adaptación (Figura 76).

5.6 Estudios sobre el efecto del cambio climático en los ecosistemas acuáticos

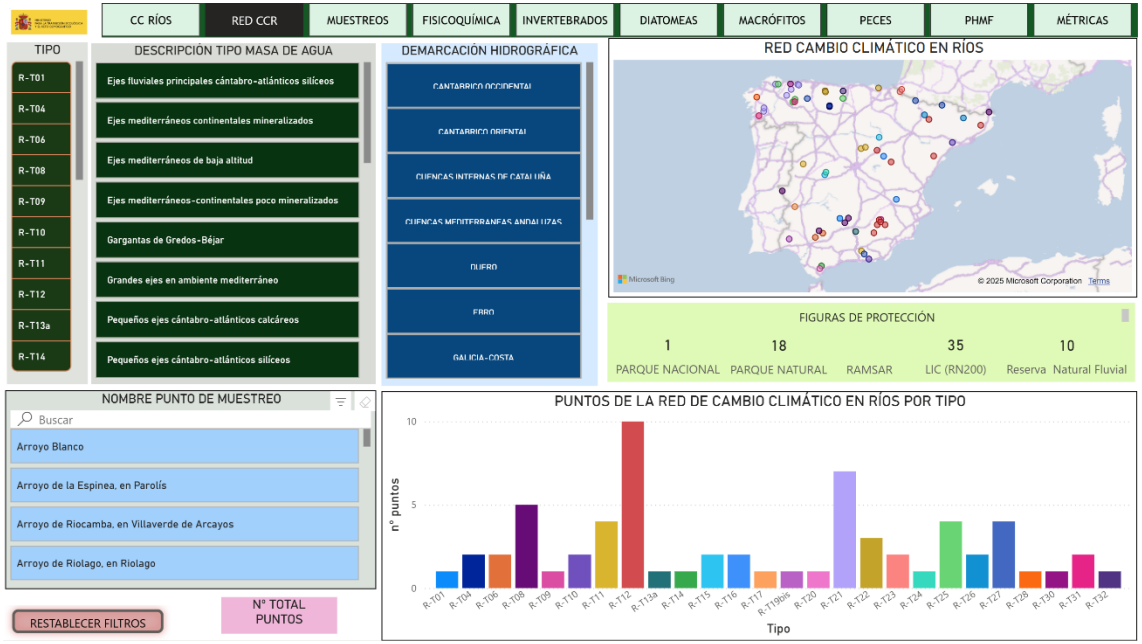


Figura 77. Visor de resultados de la red de seguimiento del efecto del cambio climático en ríos (CCR)

El estudio pionero sobre cambio climático y sistemas acuáticos españoles es el informe del CEDEX Efecto del cambio climático sobre el estado ecológico de las masas de agua (2012), que enlaza directamente proyecciones climáticas e hidrológicas con la evaluación del estado ecológico según la DMA.

Metodológicamente, parte de escenarios climáticos (más temperatura, menos precipitación, cambios en extremos) que se incorporan a modelos hidrológicos para obtener caudales y temperaturas futuras. Estos resultados alimentan modelos de calidad ecológica basados en los mismos indicadores que la planificación hidrológica: índices de macroinvertebrados, peces, fitobentos, macrófitos, etc. El informe estima la probabilidad de que las masas de agua mantengan o pierdan el buen estado ecológico, analiza cómo el cambio climático puede modificar las tipologías (por ejemplo, ríos fríos que pasan a comportarse como tramos mediterráneos) e identifica tipos y tramos más sensibles.

El informe Impacto del cambio climático en los ecosistemas acuáticos epicontinentales: selección de marcadores y de estaciones de seguimiento (MITERD–Tragsatec, 2023) tiene como objetivo el diseño de una red de vigilancia específica en ríos y lagos españoles, apoyada en la red de referencia (REFCON) y estaciones poco alteradas.

Este informe caracteriza primero los impactos previstos sobre el medio físico (temperatura del agua, régimen hidrológico, nutrientes, oxígeno) y sobre los elementos de calidad biológica (peces, macroinvertebrados, diatomeas, macrófitos, etc.). A partir de una revisión de literatura y de las bases de datos de seguimiento, identifica "marcadores" sensibles al cambio climático: rasgos de las comunidades (p. ej. riqueza de EPT en macroinvertebrados, proporción de especies frías/cálidas en peces), especies indicadoras y métricas que responden a cambios de temperatura, caudal, salinidad o duración de los periodos secos.

Para seleccionar estaciones de seguimiento, se emplean herramientas de planificación sistemática (como Marxan) para cubrir, con el menor número de puntos, el máximo de taxones y rasgos vulnerables, penalizando la presencia de invasoras. El resultado es una red de ríos y lagos de referencia para el seguimiento a largo plazo la respuesta de peces, macroinvertebrados y vegetación acuática a los cambios climáticos y, en su caso, ajustar condiciones de referencia y umbrales de estado ecológico (Figura 77).

En paralelo, la investigación académica sobre macroinvertebrados y peces ibéricos usa modelos de distribución de especies, rasgos funcionales y análisis de refugios climáticos. Estos trabajos coinciden en señalar la alta sensibilidad de sistemas de montaña, ríos temporales mediterráneos y especies endémicas de rango estrecho frente a la combinación de calentamiento, reducción de caudales y eventos extremos, y refuerzan el papel de los macroinvertebrados como bioindicadores del cambio climático.

5.7 Estrategia nacional de lucha contra la desertificación

La Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación (ENLD) constituye el marco estatal de referencia para prevenir y revertir procesos de degradación de tierras en España. Su Actualización y Plan de Implementación para el periodo 2025-2027 fueron aprobados mediante Orden TED/776/2025, de 8 de julio. Su despliegue se articula mediante planes trienales de implementación, siendo el primero el ya citado para el periodo 2025–2027.

La ENLD es relevante para el EACC porque aborda factores estructurales que amplifican los riesgos climáticos: pérdida de suelo fértil, disminución de infiltración y recarga, aumento de escorrentía y erosión, y deterioro de funciones ecosistémicas. En ese sentido, actúa como una estrategia habilitadora de la adaptación, reforzando la resiliencia territorial y la base biofísica sobre la que descansan muchas medidas del plan hidrológico (gestión de la demanda, restauración, SbN, control de riesgos).

La ENLD organiza su marco de acciones en tres ejes y catorce líneas de actuación. Desde el punto de vista de la planificación hidrológica, destacan:

- **Eje 1. Territorio** (prevención / reducción de desertificación y restauración de zonas degradadas), que incluye líneas específicas para impulsar la restauración y mejorar herramientas para el análisis del riesgo y la toma de decisiones.
- **Eje 2. Capacitación institucional y gobernanza**, orientado a reforzar coordinación interadministrativa e integración sectorial.
- **Eje 3. Conocimiento y sociedad**, centrado en conocimiento, transferencia y participación.

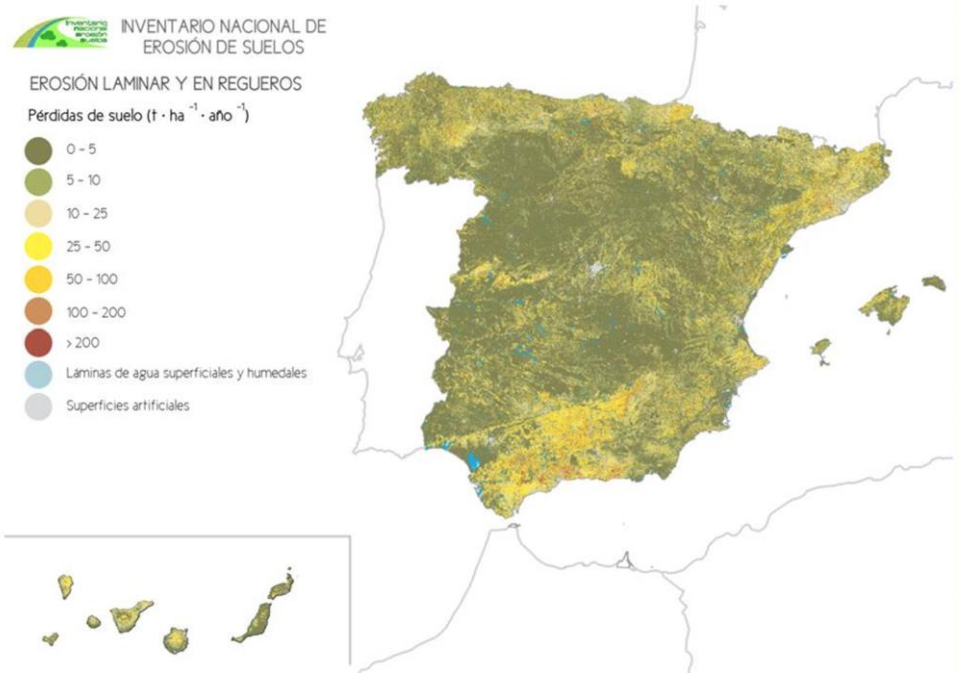


Figura 78. Distribución espacial de los niveles de erosión hídrica (INES, 2019) como factor clave en la degradación del suelo y en la presión sobre el ciclo hidrológico (escorrentía, recarga, sedimentos y calidad del agua)

El Plan de Implementación 2025–2027 concreta este enfoque con prioridades ejecutivas como gobernanza y coordinación, investigación, seguimiento y evaluación, difusión de buenas prácticas, planificación y ejecución de acciones/proyectos, y comunicación y sensibilización. Las sinergias con el EACC son especialmente claras con: 1) las acciones para aumentar la retención natural de agua, reducir erosión y reforzar resiliencia frente a extremos (suelo, escorrentía, infiltración, conectividad hidrológica); 2) la gestión forestal sensible para evitar degradación del suelo y pérdida de funcionalidad hidrológica en cabeceras y reducir erosión post-incendio; 3) la restauración de riberas y mejora de conectividad lateral, que reduce vulnerabilidad térmica/ecológica, mejora la estabilidad de márgenes y atenúa picos de caudales sólidos; y 4) la gestión agraria compatible con la conservación del suelo (coberturas, manejo conservacionista, setos/fajas vegetadas), con beneficios sobre erosión y potencial reducción de presiones difusas, mejorando la "fracción utilizable" del recurso. Como elemento adicional de coherencia, la ENLD identifica como amenaza la intensificación agrícola (incluida la expansión de regadíos y cultivos leñosos en zonas marginales si no se acompaña de manejo sostenible), conectando con riesgos de presión estructural y bloqueo que el EACC busca evitar.

En conjunto, la ENLD refuerza el EACC al proporcionar: priorización territorial (zonas vulnerables a degradación / desertificación como focos preferentes de medidas); un marco para la coherencia intersectorial (agua–agricultura–forestal–biodiversidad); herramientas para el seguimiento y evaluación (indicadores e informes periódicos), alineadas con la gestión adaptativa. Esto permite que las medidas hidrológicas no se limiten a responder a déficits coyunturales, sino que actúen también sobre causas estructurales del riesgo (degradación de suelo, pérdida de capacidad de retención/infiltración y deterioro de cabeceras y riberas), mejorando la eficacia y la permanencia de los resultados de adaptación.

5.8 Evaluación de los efectos del cambio climático sobre las demandas de agua en regadíos (ECLIMAR)

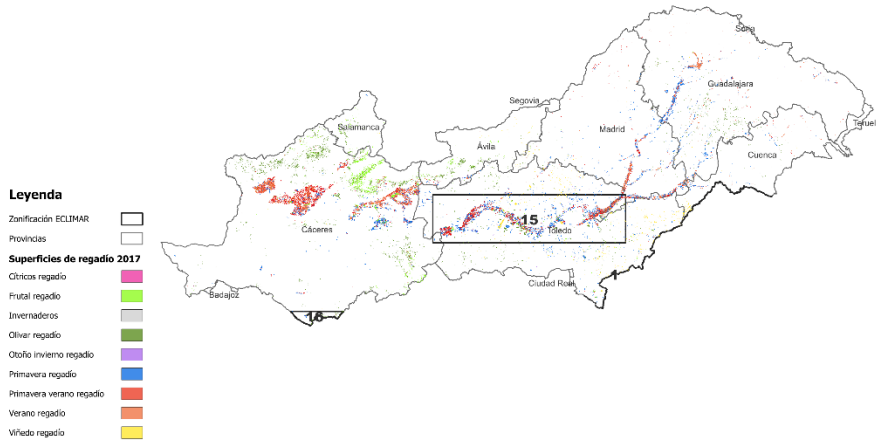


Figura 79. Zonas de estudio del proyecto ECLIMAR

El proyecto ECLIMAR evalúa los efectos del cambio climático sobre las demandas de agua de riego en la España peninsular. Ha sido desarrollado por el Grupo de Teledetección y SIG de la Universidad de Castilla -La Mancha, en colaboración con AEMET, la OECC y el MAPA. Se estima la evolución de la demanda hídrica de los principales cultivos de regadío para 2021-2050, 2041-2070 y 2071-2100, respecto a 1981-2010, utilizando 11 modelos climáticos CMIP6 regionalizados por AEMET bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

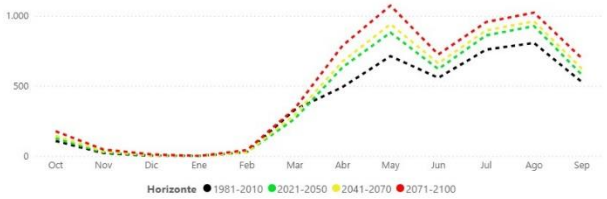
La metodología se basa en un modelo de balance diario de agua en el suelo (FAO-56, coeficiente dual Kc–ETo) asistido por teledetección, integrando coeficientes basales de cultivo derivados de series NDVI, sobre 20 grandes zonas regables representativas.

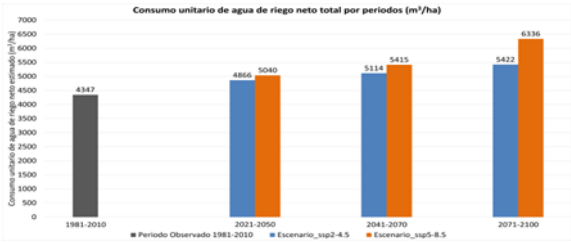
Los resultados nacionales apuntan a un aumento generalizado de la demanda neta de riego, aunque con diferencias importantes entre zonas y cultivos. En términos agregados, se estima un incremento del volumen neto de riego del orden de un 10–15 % en 2021-2050, 17–23 % en 2041-2070 y hasta en torno al 20–40 % en 2071-2100, según escenario y zona, siendo el principal motor el aumento de la demanda evaporativa más que una disminución sistemática de la precipitación.

El proyecto explora también mecanismos de adaptación (mejora de eficiencias, riego localizado, cambios en la estructura de cultivos, limitación de dotaciones) y sugiere que, al menos en algunos contextos y horizontes, los ahorros potenciales podrían compensar parcialmente los incrementos debidos al clima, aunque subraya la necesidad de más análisis socioeconómicos para traducir estos potenciales en estrategias reales.

La DH del Tajo, alberga 1 de las 20 zonas estudiadas –la zona 15: Toledo– agrupando un total de 47 266 hectáreas regables. Los principales cultivos considerados en esta zona son el cereal de primavera (21,4%), olivo (19,02%) y otros cultivos de primavera (17,32%). El conjunto de estas zonas regables se caracterizaría en el periodo de referencia por una dotación neta de 4 347 m^3/ha.año

Los incrementos de dotación y de volumen neto de demanda de riego, bajo el supuesto de que se mantuvieran las extensiones y alternativas de cultivo actuales, se sitúan en los siguientes intervalos: 11,95–15,95 % en 2021-2050, 17,64–24,57% en 2041-2070 y hasta 24,74–45,76 % en 2071-2100.





6. Evaluación de riesgos asociados al cambio climático

Metodología

Adecuación de los impactos potenciales clave a las obligaciones normativas y al marco ERICC

Esquema operativo general para la evaluación de riesgos

Limitaciones metodológicas

Fuentes de datos para la evaluación de riesgos

Masas de agua

SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales (DMA)

SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales - Escenario intermedio (SSP2-4.5)

SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales – Análisis por sistema de explotación

GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA)

GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA) - Escenario intermedio (SSP2-4.5)

GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA) - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA) – Análisis por sistema de explotación

Territoriales y ecosistémicos

ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos

ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Pérdida de hábitat para especies de aguas frías

ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Reducción de oxígeno

ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Afección a macroinvertebrados

ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Análisis por sistema de explotación: Pérdida de hábitat para especies de aguas frías

ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Reducción de oxígeno

ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Afección a macroinvertebradosECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Afección a macroinvertebrados

ECS8. Incremento de la sedimentación en embalses y cauces

ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada

ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada – Escenario intermedio (SSP2-4.5)

ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada – Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada – Análisis por sistema de explotación

ECS10 / ECS11. La evaluación del riesgo de inundación en España

ECS10. Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales: población y actividad económica

ECS10. Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales: áreas ambientales y puntos de especial importancia

ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima

ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima – Escenario intermedio (SSP2-4.5)

ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima – Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima - Análisis por sistema de explotación

Usos y actividades económicas

AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento

AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento – Escenario intermedio (SSP2-4.5)

AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento - Análisis por sistema de explotación

AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío

AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío - Escenario Intermedio (SSP2-4.5)

AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío - Análisis por sistema de explotación

EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica

EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica - Escenario intermedio (SSP2-4.5)

EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica - Análisis por sistema de explotación

6.1 Adecuación de los impactos potenciales clave a las obligaciones normativas y al marco ERICC

El portafolio de riesgos evaluados en este capítulo se ha construido siguiendo la metodología expuesta en capítulos anteriores, pero, llegados a este punto, conviene apuntalar su **encaje con las obligaciones legales** de la Ley 7/2021, de 20 de mayo (art. 19) y del RPH (art. 4 bis), y su **alineamiento con el diagnóstico de riesgos del ERICC**. La tabla adjunta establece la correspondencia entre riesgos-clave de ERICC, obligaciones legales derivada del RPH e impactos potenciales determinados con prioridad **alta** en la sección 4.8. La correspondencia con los RC de ERICC facilita su consideración como referencia para la definición de PEV para cada impacto potencial en el resto de las secciones de este capítulo.

Riesgos clave ERICC		Correspondencia con los riesgos art.4bis.3.h	Impactos potenciales EACC
RC2.1	Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración	incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos	ECS9
RC2.2	Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival	incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos	ECS10, ECS8
RC2.3	Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes	variaciones en los regímenes hidrológicos y en los recursos disponibles de los acuíferos	AG2, AU1, EI1, GW3
RC3.2	Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas	incremento de la temperatura del agua	SW7
RC6.1	Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo	ascenso del nivel de mar	ECS11

Debe asegurarse adicionalmente que estén consideradas adecuadamente las **afecciones a los ecosistemas dependientes del agua y actividades socioeconómicas**. Si bien es cierto que los impactos en los ecosistemas acuáticos pueden parecer infrarrepresentados frente a los económicos, su integración se asegura mediante la evaluación del empeoramiento del estado de las masas de agua (SW7 y GW3). Por otra parte, la evaluación de riesgos derivados de fenómenos extremos, se considera la afección ambiental mediante las áreas RN2000 como elemento de exposición a las sequías sistémicas (ECS9) o áreas de importancia ambiental en el SNCZI, a los efectos de evaluación del riesgo de inundación fluvial y costera (ECS10 y ECS11, respectivamente).

Así, aunque no se desarrollan evaluaciones específicas para otros impactos ecosistémicos de alta prioridad (ECS2 Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos, ECS5 Degradación de ecosistemas ribereños y terrestres asociados y ECS6 Expansión de especies exóticas invasoras) pueden considerarse, al menos parcialmente, “embebidos” en el riesgo de deterioro del estado con la consecuente merma en la provisión de servicios ecosistémicos. También conviene tener en cuenta que será en la actualización y revisión de los planes o instrumentos de gestión de los Espacios Naturales Protegidos y espacios de la red Natura 2000, donde deba incluirse un apartado sobre adaptación de los mismos al cambio climático con, al menos, un diagnóstico que incluya un listado de especies y hábitats especialmente vulnerables, objetivos, acciones e indicadores de progreso y cumplimiento, tal como se establece en el artículo 24.4 de la *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*.

Fuera de una correspondencia estricta con los RC de ERICC y RPH, sí se ha procedido a evaluar el riesgo ECS13 Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima, que, si bien combina peligros no climáticos, tiene también efectos de amplio espectro en el ciclo hidrológico. Por el contrario, no se han evaluado específicamente otros impactos potenciales de prioridad alta –en concreto, AG9 Pérdida de fertilidad o erosión de suelos y AG1 Mayor estrés hídrico en cultivos de secano– si bien se ha trabajado con indicadores de peligro climático (déficit hídrico) o vulnerabilidad (pérdidas de suelo) que facilitan una aproximación parcial y anticipan su inclusión en futuros estudios.

El art. art. 19.2.2 de la Ley 7/2021, de 20 de mayo (art. 19) hace mención explícita a *las necesidades de agua para refrigeración de centrales térmicas y nucleares y demás usos del agua*. En aplicación del modelo multicriterio (sección 4.8), el posicionamiento de este impacto potencial es relativamente bajo (en la frontera de prioridad media / media baja), se reconoce el mandato legal por lo que se planifica el abordaje de un análisis específico, avanzando hacia un inventario integrado de demandas de refrigeración industrial y energética, incluyendo infraestructuras emergentes como los centros de datos.

6.2 Fuentes de datos para la evaluación de riesgos

Un número creciente de fuentes aportan información de indicadores y variables que permiten caracterizar con definición espacial elementos y variables de amenaza / peligro, exposición, vulnerabilidad, sensibilidad, capacidad adaptativa o incluso riesgo e impacto.

En el **contexto nacional**:

- El catálogo de metadatos de MITECO que ofrece un acceso rápido a las conjuntos y series de datos oficiales con representación espacial organizados por áreas de actividad, temas y carácter prioritario INSPIRE, y organización proveedora de los datos.
- La plataforma AdapteCCa para intercambio de información sobre adaptación al cambio climático, impulsada por la OECC. Reúne escenarios climáticos regionalizados (coherentes con el PNACC y el IPCC), indicadores de cambio climático, visores cartográficos, fichas sectoriales, catálogos de impactos y medidas de adaptación, así como guías y documentación técnica.

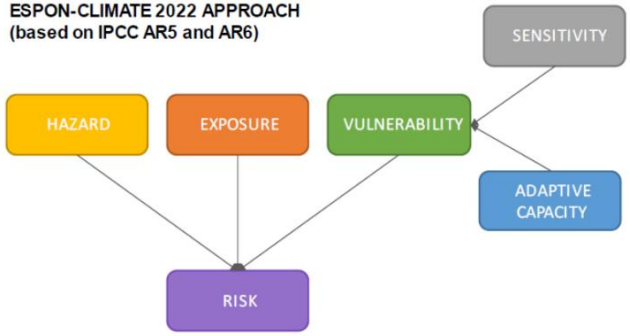
- El Atlas de distribución de renta de los hogares del INE ofrece información desagregada de renta a nivel municipal e indicadores de riqueza, desigualdad y vulnerabilidad socioeconómica.
- Otras iniciativas destacadas como SIDAMUN (Observatorio para el Reto Demográfico), el Atlas de vulnerabilidad urbana del MITMA o el Atlas de la Desertificación de la Universidad de Alicante.

También se cuenta con múltiples **fuentes europeas** de datos espaciales e indicadores de riesgo, entre las que cabe destacar:

- El catálogo de datos espaciales de la Agencia Europea de Medio Ambiente y su visor geoespacial.
- La plataforma Climate-Adapt , su panel de indicadores regionales y su explorador de datos climáticos.
- El catálogo de servicios generales y climáticos del Programa Copernicus de Observación de la Tierra de la Unión Europea y, en particular su "tienda" de datos climáticos.
- El nodo de datos de riesgo del European Joint Research Centre, especialmente el Atlas y módulos de vulnerabilidad.
- El proyecto ESPON que ofrece indicadores y tipologías de vulnerabilidad y riesgo climático a escala regional y urbana.
- El proyecto CLIMAAX que proporciona un marco metodológico armonizado y una toolbox con datos, modelos y guía técnica.
- El Climate Risk STAC que ofrece un catálogo de metadatos de conjuntos de datos geoespaciales de acceso público para la evaluación del riesgo.
- Herramientas globales de evaluación de los riesgos vinculados al agua: Aqueduct Water Risk Atlas y WWF Water Risk Filter

6.3 Esquema operativo general para la evaluación de riesgos

La metodología empleada sigue el enfoque general propuesto en la OECC, basado en el marco conceptual del IPCC (AR5–AR6), alineado con la propuesta de ESPON-CLIMATE. El análisis se estructura en tres componentes: **Peligro** (P), **Exposición** (E) y **Vulnerabilidad** (V), valoradas mediante un indicador o un conjunto de indicadores representativos**.** En el caso de la vulnerabilidad, puede utilizarse un indicador capaz de integrar simultáneamente la sensibilidad y la capacidad adaptativa o una combinación de ambas dimensiones.



El objetivo es disponer de información geográfica continua, homogénea y comparable para los tres componentes del riesgo. Para ello se han integrado diversas fuentes de información, originalmente heterogéneas en formato, escala y resolución, que se transforman posteriormente a una malla común. El proceso se ha desarrollado en las fases que se describen a continuación, mientras que un análisis metodológico más detallado se presenta en el Anejo 6:

1. **Armonización espacial**: se realiza la conversión de todos los datos a ETRS89 / UTM 30N, la **rasterización** de capas vectoriales y la unificación de la **resolución espacial**. La resolución final adoptada ha sido la del ráster de P, con el fin de (1) evitar la generación de una falsa granularidad espacial a partir de datos que no la poseen; (2) minimizar la propagación de errores al elevar o reducir resoluciones; y (3) optimizar el coste computacional. Esta elección asegura, además, preservar la fidelidad de la componente climática principal del estudio.
2. **Reclasificación:** dado que P, V y E presentan unidades y rangos diferentes, todas las capas se reclasifican en **cinco categorías ordinales** (1-Muy Bajo, 2-Bajo, 3-Medio, 4-Alto y 5-Muy Alto), siguiendo la clasificación recomendadas en la guía Assessing Climate Change Risks and Vulnerabilities (Mission Adaptation, 2023). Los umbrales de corte se asignan, generalmente, a cuantiles del 20 %, para combinar variables heterogéneas en un índice común sin que ninguna domine por su escala original.
3. **Cálculo del Riesgo total:** el riesgo total se ha definido como una combinación ponderada de las tres componentes: [$\mathbf{R = P * CP_P * NC_P + E * CP_E * NC_E + V * CP_V * NCV}$]. Los **coeficientes de ponderación** (CP) asignan la importancia relativa de cada componente. Cuando no existe un criterio específico, se aplica un reparto equilibrado (1/3 cada una), pudiendo ajustarse en función de la relevancia teórica, la evidencia empírica o el juicio experto.

   Para reforzar la transparencia del índice, se incorpora un **Nivel de Confianza** (NC) que modula la contribución de cada componente según la calidad de los datos, su resolución espacial, la cobertura espacial, su consistencia temporal y la incertidumbre de la proyección climática. El NC se obtiene mediante una suma ponderada de estos criterios, con valores entre 0 (baja confianza) y 1 (máxima confianza).

Criterio	Descripción	Peso
Cobertura espacial	Grado en que los datos cubren homogéneamente el área de estudio	0.25
Calidad de la fuente	Nivel de fiabilidad y oficialidad de la fuente (validada, modelada…)	0.25
Resolución espacial	Adecuación de la resolución original a la del ráster de peligro	0.15
Consistencia temporal	Longitud, continuidad y coherencia temporal de las series de datos	0.10
Incertidumbre de la proyección	Considera el horizonte temporal, reflejando la fiabilidad relativa	0.25

   A partir de los NC individuales se obtiene un **NC total del riesgo**, tanto mediante una media ponderada como mediante una aproximación conservadora basada en la propagación de incertidumbres (RMS). En este sentido, aunque sería posible reducir el NC del P en los horizontes futuros para reflejar la creciente incertidumbre climática, dicha opción disminuiría de forma artificial el riesgo combinado. Por ello, se ha optado por mantener constante el nivel de incertidumbre asociado a la proyección climática en el NC del P.
4. **Reclasificación final:** Las capas resultantes de P, E, V y del riesgo total se clasifican en cinco niveles ordinales, facilitando la interpretación comparativa del fenómeno. Esta estructura metodológica permite generar mapas consistentes del riesgo actual y evaluar de manera robusta su evolución bajo distintos escenarios de cambio climático.
5. **Riesgo futuro:** Finalmente, y partiendo del riesgo actual, se estima el riesgo futuro. Para cada combinación de escenario de emisiones (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) y horizonte temporal (2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100) se recalcula únicamente el cambio en el peligro, manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual. Este enfoque garantiza la comparabilidad temporal y permite identificar de forma coherente la intensificación o reducción del riesgo proyectado.

6.4 Limitaciones metodológicas

Defensa general del esquema operativo. La metodología aplicada representa un avance relevante al operacionalizar el marco conceptual de riesgo del IPCC AR6, guías de la OECC y PNACC, incorporando de forma explícita los componentes PEV, así como niveles de confianza asociados a las distintas piezas de información empleadas. El uso intensivo de información geoespacial, apoyado en la Infraestructura de Datos Espaciales y en productos como los escenarios de AdapteCCa y las simulaciones hidrológicas (SIMPA), permite una caracterización territorial detallada del riesgo y sienta una base sólida para su integración en la planificación hidrológica. Se trata, además, de un modelo con elevado potencial de crecimiento, en la medida en que se incremente progresivamente el número y la calidad de las variables características consideradas.

Limitaciones. Ahora bien, el enfoque presenta limitaciones importantes que deben ser tenidas en cuenta. En primer lugar, las proyecciones climáticas se tratan como escenarios condicionados y no como distribuciones de probabilidad formal, lo que dificulta la aplicación estricta de algunos marcos teóricos basados en riesgo probabilístico. La robustez de los resultados depende de la calidad de los modelos hidrológicos, de los ejercicios de regionalización climática y de su calibración, y persiste una incertidumbre estructural significativa debida a las diferencias entre modelos globales y regionales, así como entre métodos de corrección de sesgos.

En segundo lugar, el modelo simplifica de forma inevitable la complejidad del sistema: se trabaja con un conjunto reducido de variables de peligro, elementos de exposición y factores de vulnerabilidad que no capturan toda la diversidad de procesos relevantes. Las interrelaciones entre riesgos se abordan solo de forma básica, sin desarrollar y trasladar a los ejercicios de evaluación la dinámica de riesgos compuestos o en cascada. A ello se suma la dificultad de asignar roles nítidos a ciertos indicadores dentro de los componentes del riesgo (por ejemplo, el estado de las masas de agua, simultáneamente expresión de vulnerabilidad –fragilidad y capacidad de recuperación– e indicador de impacto). También resultan difíciles de integrar de forma sistemática algunos peligros no climáticos y factores subyacentes –como la interfaz urbano-forestal como determinante del riesgo de incendios o determinadas presiones sobre el estado de las masas de agua–, mientras que la hipótesis de estacionariedad territorial (uso del suelo, condiciones de exposición, gestión del agua, factores socioeconómicos) supone una simplificación que puede ser poco realista a medio y largo plazo. Finalmente, la escasez y heterogeneidad de la información de impactos observados limita la validación cuantitativa. En sucesivas actualizaciones se revisarán los indicadores con el objetivo de aumentar su representatividad; también se profundizará en el análisis de los aspectos requeridos en el art. 4bis.2.del RPH, en particular en su apartado c), relativo a la posible deriva en los parámetros definitorios de las tipologías de las masas de agua superficial y sus condiciones de referencia.

Figura 80. Río Tajo a su paso por Talavera de la Reina. A la izquierda imagen del vuelo americano (1956-1957) y a la derecha ortofoto del PNOA 2023 observando la expansión urbanística. Fuente: IGN.

6.5 SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales (DMA)

Figura 81. Riesgo SW7. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad

El riesgo del **empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales** se ha evaluado mediante:

- **Peligros (P):** estimado por la combinación de reducción de aportaciones (60%), precipitación máxima (20%) y temperatura máxima (20%), en las subcuencas vertientes a las masas de agua. Periodo 1980-2023, obtenidos del modelo SIMPA (CEDEX), y Adaptecca, resampleados a una resolución espacial de 500 x 500 m.
- **Masas de agua superficiales (E):** información correspondiente las masas de agua del tercer ciclo, procedente del Catálogo de metadatos, rasterizado a una resolución de 500 x 500 m.
- **Estado de las masas de agua (V)** [4]**:** información correspondiente a las masas de agua del tercer ciclo, procedente de PHWeb, rasterizado a una resolución de 500 m x 500 m.

Todos los datos se han transformado a una malla común y se han reclasificado mediante cuantiles para obtener **cinco categorías comparables** (Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto).

Componente	CP	NC					
		Cobertura	Fuente	Resolución	Temporal	Proyección	NC total
Peligro	0.33	0.25	0.25	0.10	0.08	0.25	0.93
Exposición	0.33	0.25	0.25	0.15	0.10	0.25	1.00
Vulnerabilidad	0.33	0.25	0.25	0.15	0.10	0.25	1.00

NC Riesgo actual: 0.977

Figura 82. Riesgo SW7: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)

[4] Se asigna vulnerabilidad muy alta (5) a las masas de agua con estado ecológico y químico peor que bueno, alta (4) para aquellas con estado ecológico peor que bueno, media (3) cuando el estado químico es peor que bueno, baja (2) en las que cuentan con estado ecológico bueno y muy baja (1) para las que tienen estado ecológico es muy bueno.

6.6 SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales - Escenario intermedio (SSP2-4.5)

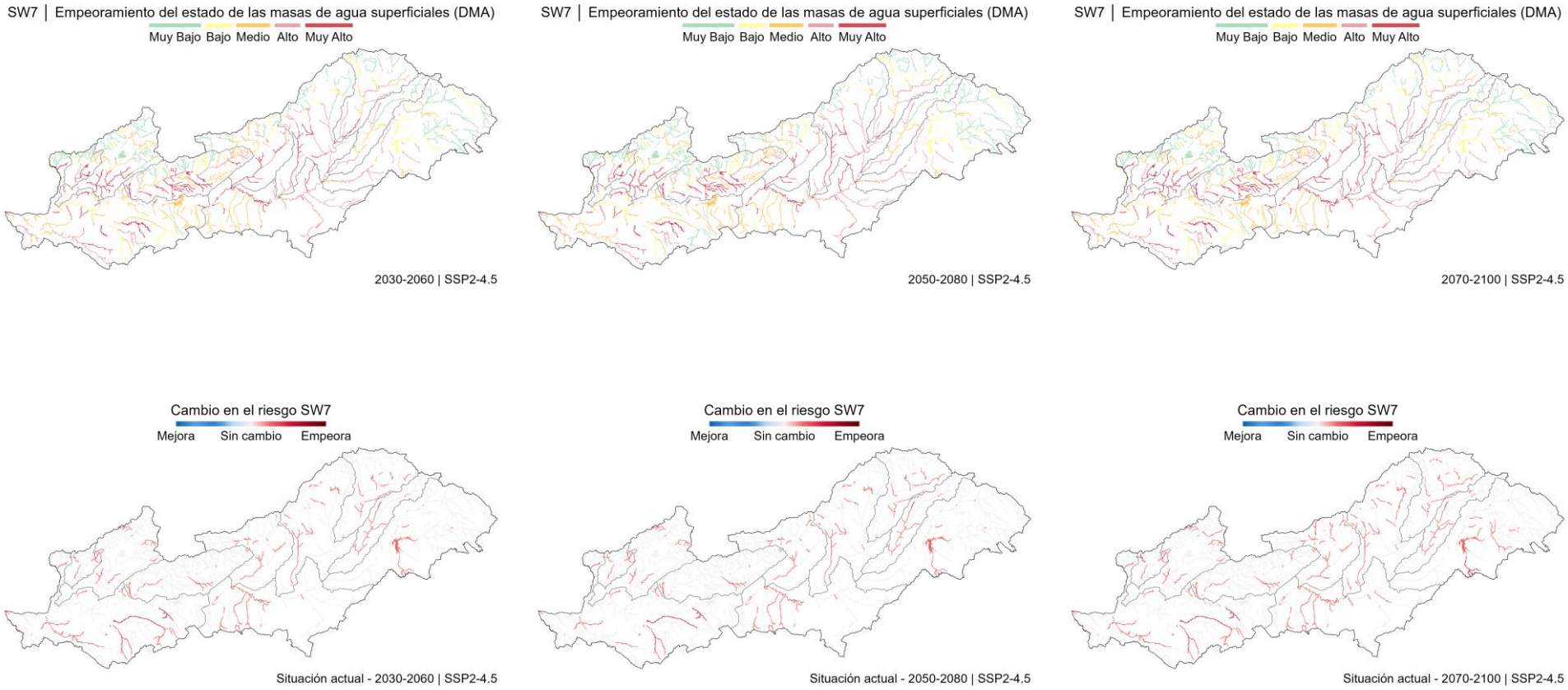


Figura 83. Evaluación del riesgo SW7 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP2-4.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro,** manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.7 SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

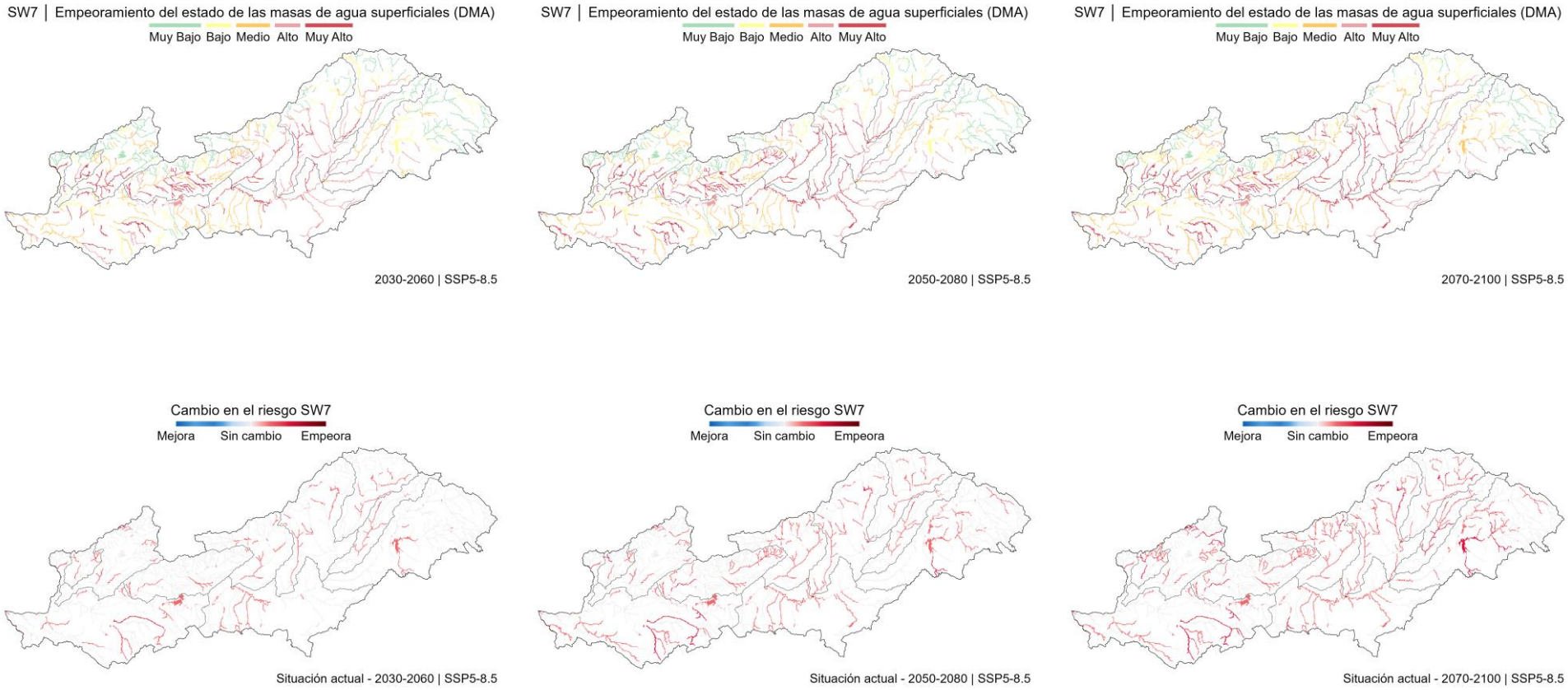


Figura 84. Evaluación del riesgo SW7 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP5-8.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro,** manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.8 SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales – Análisis por sistema de explotación

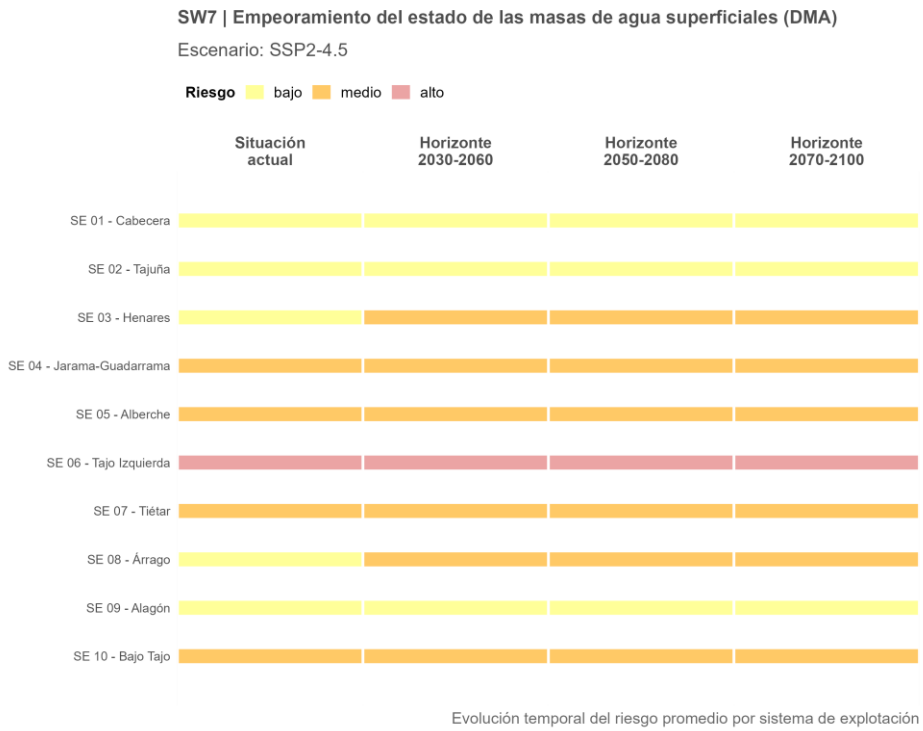


Figura 85. Trayectoria temporal del riesgo SW7 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario intermedio** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en algunos horizontes analizados. Los incrementos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación Henares y Árrago, donde las variaciones son especialmente significativas. En contraste, los sistemas Cabecera, Tajuña y Alagón no experimentan cambios. Tajo Izquierda se mantiene en riesgo alto en todos los horizontes.

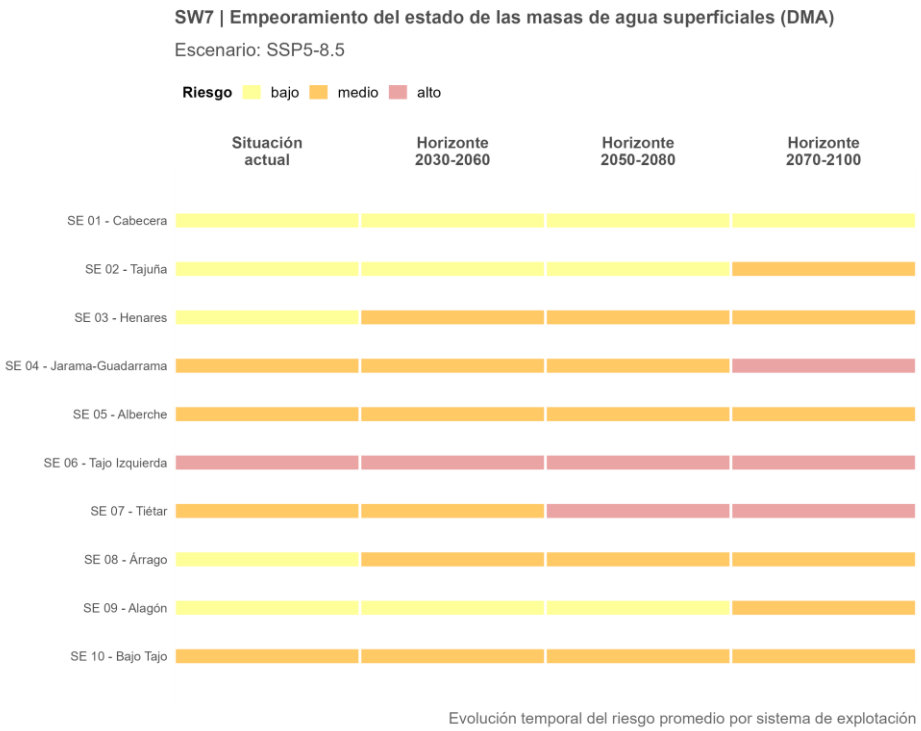


Figura 86. Trayectoria temporal del riesgo SW7 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario de altas emisiones** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en algunos horizontes analizados. Los incrementos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación Tajuña, Henares, Jarama-Guadarrama, Tiétar, Árrago y Alagón, donde las variaciones son especialmente significativas. En contraste, los sistemas Alberche, Bajo Tajo y Cabecera no experimentan cambios.

6.9 GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA)

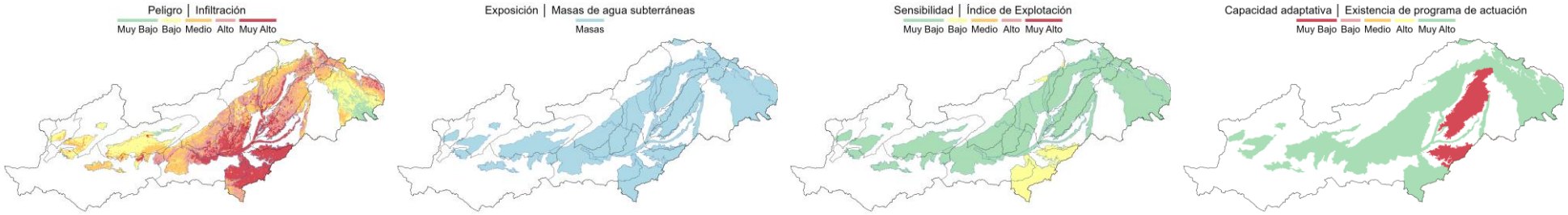


Figura 87. Riesgo GW3. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad adaptativa)

El riesgo de **empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas** se ha evaluado mediante:

- **Infiltración (P):** periodo 1980-2023, obtenidos del modelo SIMPA (CEDEX), con resolución espacial de 500 x 500 m.
- **Masas de agua subterráneas (E):** información correspondiente las masas de agua del tercer ciclo, procedente del Catálogo de metadatos, rasterizado a una resolución de 500 x 500 m.
- **Sensibilidad y Capacidad adaptativa (V)**[5]**:** información correspondiente a las masas de agua del tercer ciclo, procedente de los planes hidrológicos, rasterizado a una resolución de 500 m x 500 m.

Todos los datos se han transformado a una malla común y se han reclasificado mediante cuantiles para obtener **cinco categorías comparables** (Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto).

Componente	CP	NC					
		Cobertura	Fuente	Resolución	Temporal	Proyección	NC total
Peligro	0.33	0.25	0.25	0.15	0.10	0.25	1.00
Exposición	0.33	0.25	0.25	0.10	0.10	0.25	0.95
Vulnerabilidad	0.33	0.25	0.25	0.10	0.10	0.25	0.95

NC Riesgo actual: 0.967

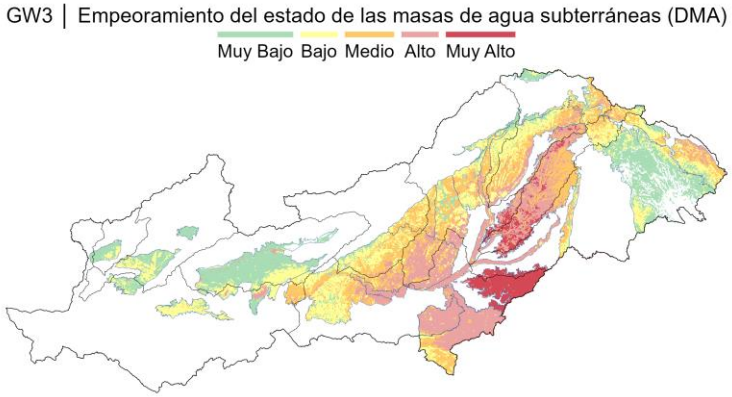


Figura 88. Riesgo GW3: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)

[5] La vulnerabilidad se evalúa combinando la sensibilidad (índice de explotación), y la capacidad adaptativa (existencia y grado de implementación de programas de actuación). Ambos indicadores se han ponderado al 50%. Para determinar la capacidad adaptativa se asigna el valor máximo (5) cuando la masa está en buen estado. Si la masa se ha declarado en riesgo y cuenta con un plan de actuación implementado se asigna el valor de 4 y un valor 3 cuando el plan está pendiente de implementación. En las masas declaradas en riesgo que no cuentan con un plan de actuación se asigna un valor de 2 y la menor capacidad adaptativa (1) se reserva para aquellas en mal estado que no han sido declaradas en riesgo.

6.10 GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA) - Escenario intermedio (SSP2-4.5)

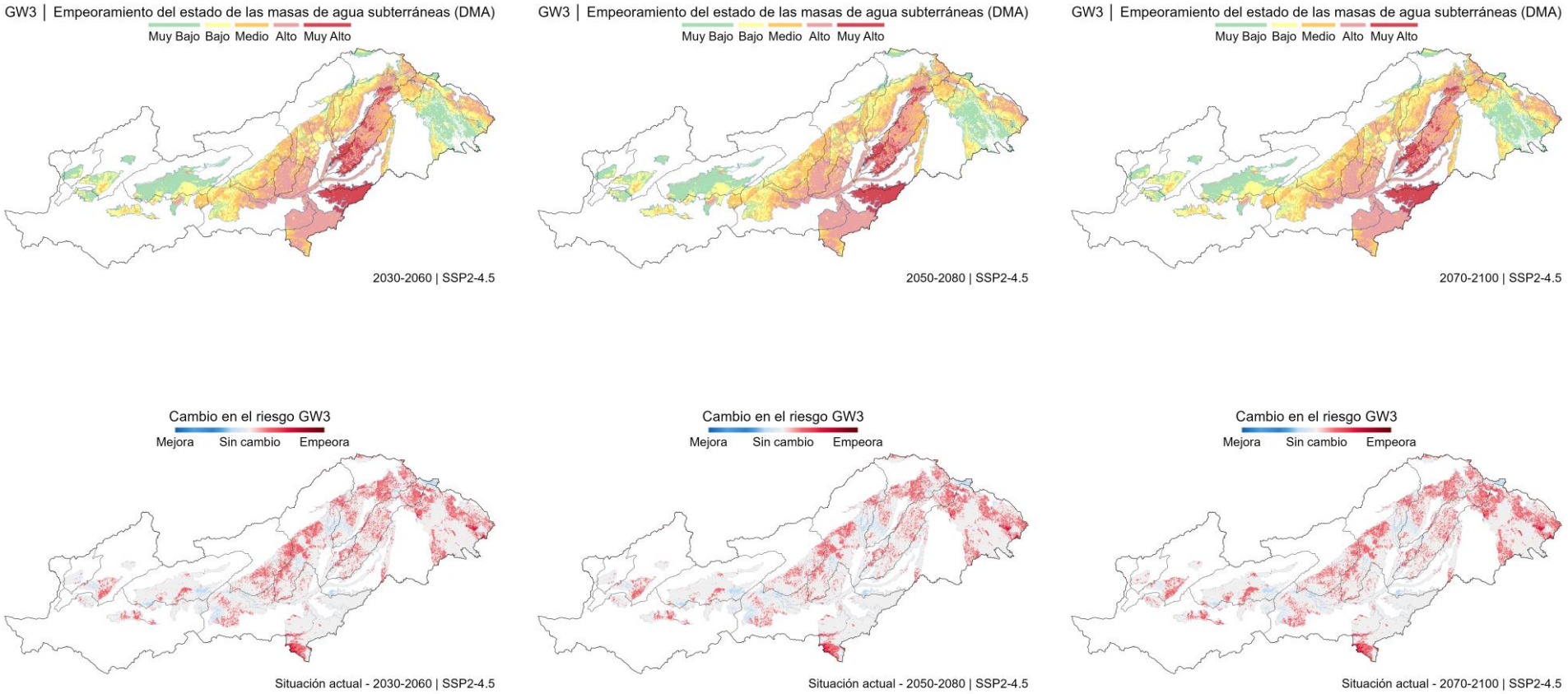


Figura 89. Evaluación del riesgo GW3 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP2-4.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro,** manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.11 GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA) - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

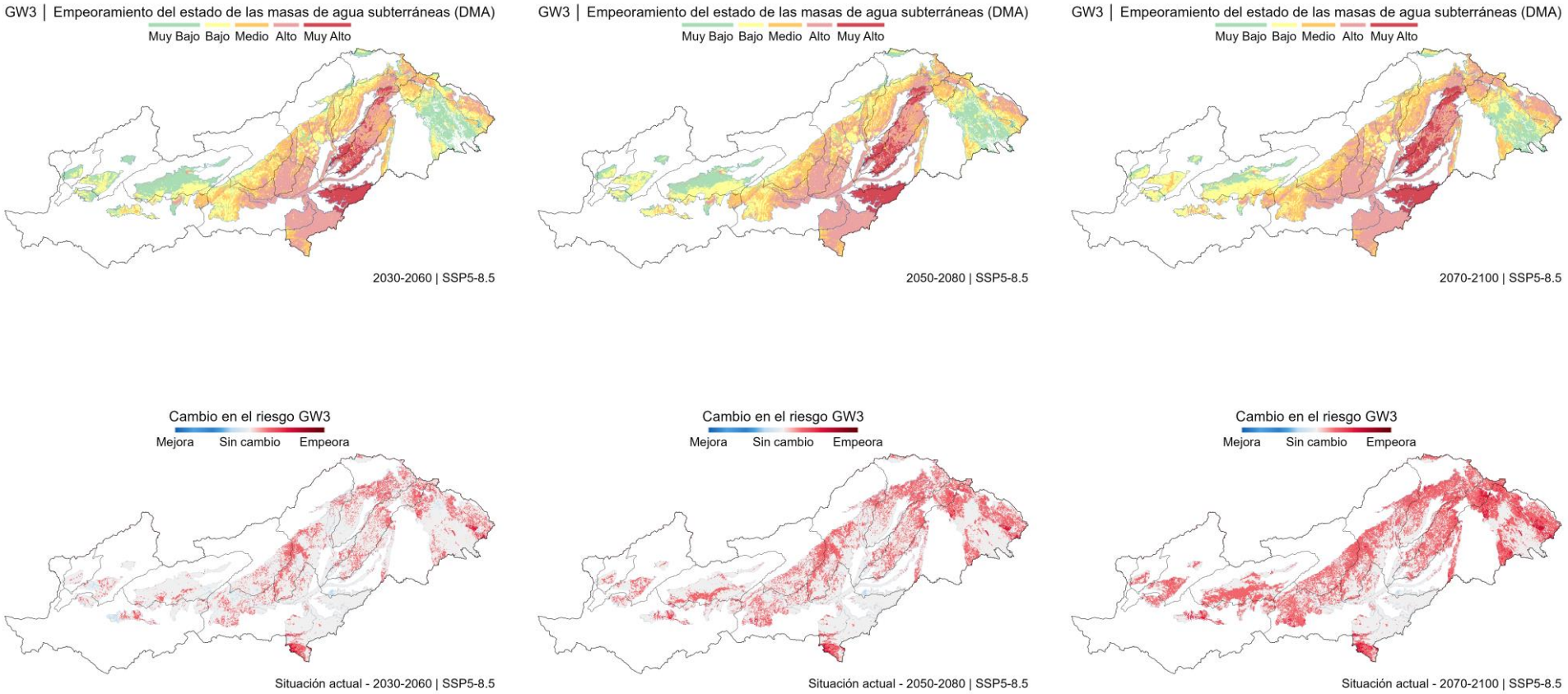


Figura 90. Evaluación del riesgo GW3 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP5-8.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro,** manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.12 GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA) – Análisis por sistema de explotación

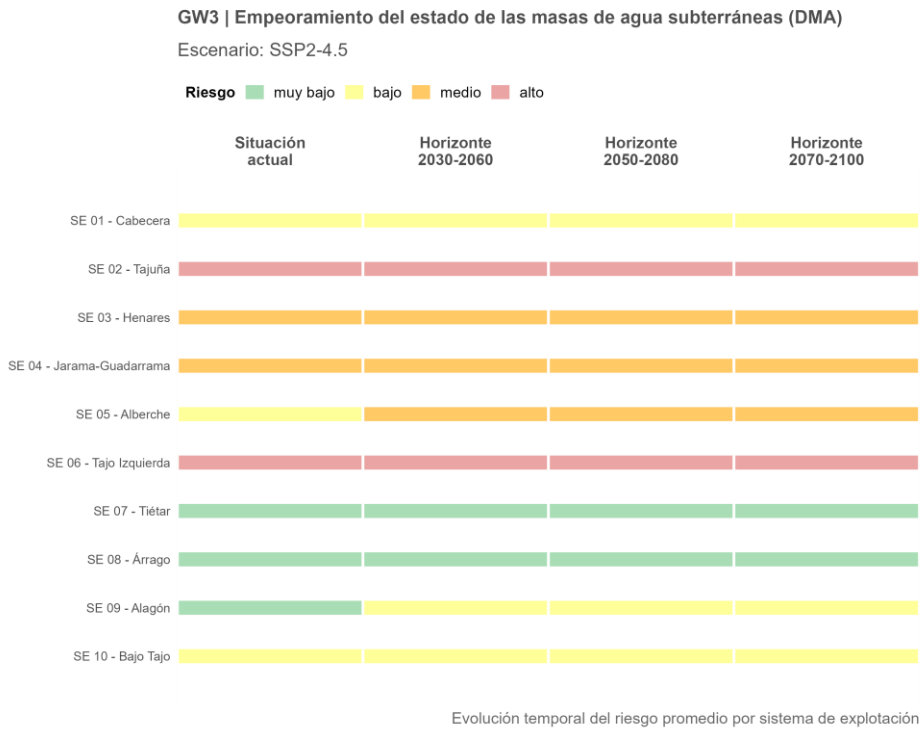


Figura 91. Trayectoria temporal del riesgo GW3 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario intermedio** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en algunos horizontes analizados. Los incrementos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación Alberche y Alagón, donde las variaciones son especialmente significativas. En contraste, los demás sistemas no experimentan cambios, hallándose Tajuña y Tajo Izquierda en un nivel alto de riesgo.

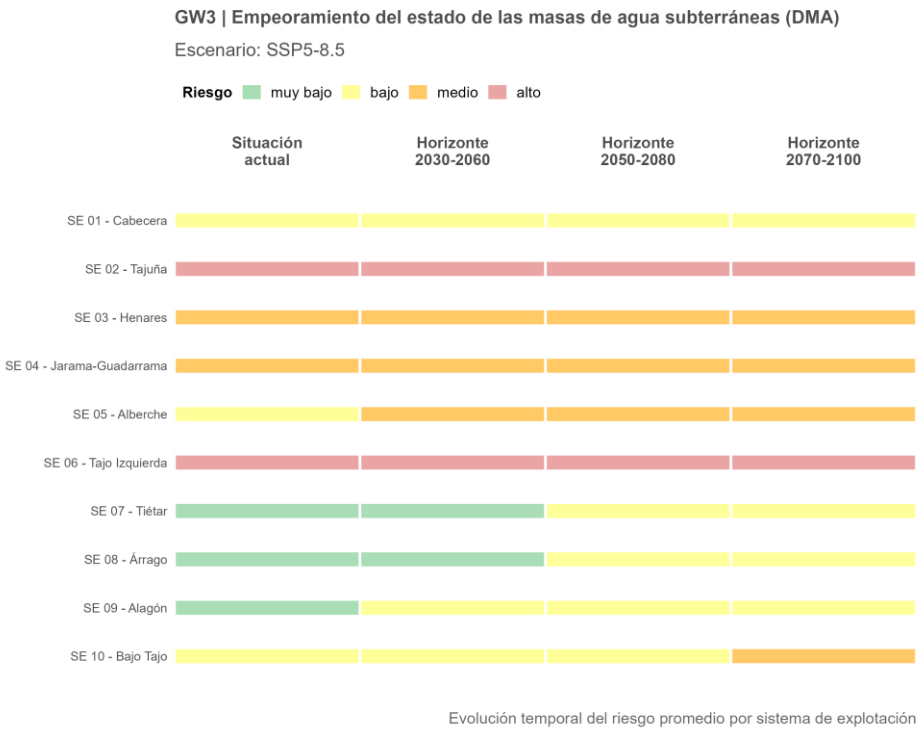


Figura 92. Trayectoria temporal del riesgo GW3 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario de altas emisiones** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en algunos horizontes analizados. Los incrementos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación Alberche, Tiétar, Árrago, Alagón y Bajo Tajo, donde las variaciones son especialmente significativas. En contraste, los demás sistemas no experimentan cambios, hallándose Tajuña y Tajo Izquierda en un nivel alto de riesgo.

6.13 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos

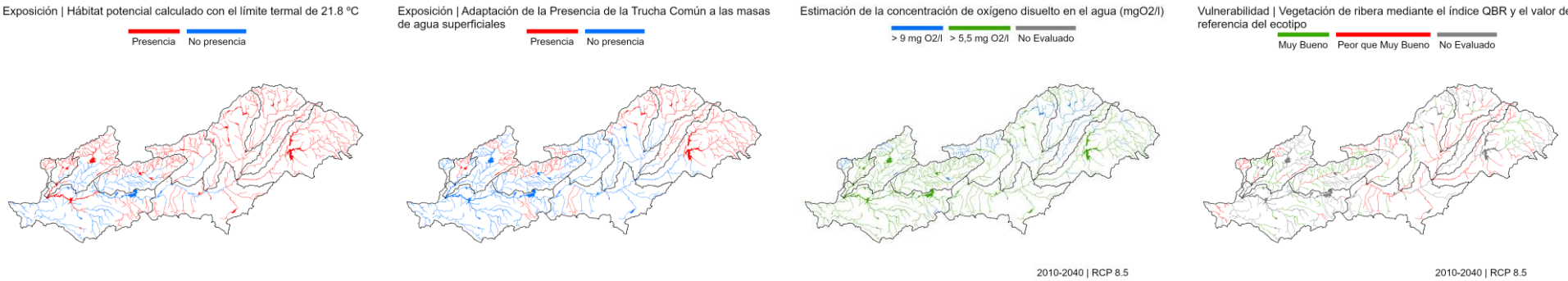


Figura 93. Riesgo ECS2. Mapas de Exposición: hábitat potencial calculado con el límite termal de 21.8 ºC y adaptación de la presencia de la Trucha común a las masas de agua superficiales (Atlas y Libro Rojo de los Peces, MMA, 2001). Mapa de la estimación de la concentración de oxígeno disuelto en agua (mgO2/l) calculada en función de la temperatura y la altitud en el mes de agosto. Mapa de Vulnerabilidad en base a la vegetación de ribera mediante el índice QBR y el valor de referencia del ecotipo.

El riesgo del **deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos** no se ha evaluado aplicando el algoritmo PEV + NC. Se adoptan directamente los mapas de riesgo desarrollados en el trabajo "Determinación de los mapas de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo asociados al Cambio Climático en España" (UPV 2020). Más específicamente se consideran tres riesgos vinculados al aumento de la temperatura del agua: pérdida de hábitat para especies de aguas frías (Trucha común); reducción de oxígeno disuelto; afección a macroinvertebrados.

Se aplica como indicador de multi-afección: número de modelos con riesgo Alto o Muy alto (0–3)

Qué modela cada componente:

1) **Aguas frías (Trucha)**: impacto térmico por cambio de aptitud del hábitat: umbral "barrera termal" en agosto) + vulnerabilidad ligada a ribera (QBR).
2) **Oxígeno disuelto**: concentración estimada de O_2 en función de temperatura y altitud, contrastado con observaciones (Nabia), y evaluado frente a umbrales de "buenas condiciones".
3) **Macroinvertebrados**: afección creciente con la temperatura, expresada sobre IBMWP y porcentajes de individuos afectados (umbrales de impacto alto/muy alto).

Nota sobre escenarios / horizontes. UPV 2020 proporciona proyecciones RCP4.5 / RCP8.5 y ventanas 2010–2040, 2040–2070 y 2070–2100, que deberán ser actualizados en futuro EACC.

Detalle metodológico. La formulación completa (modelos, umbrales, calibraciones y validaciones) se remite al Anexo 6.

6.14 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Pérdida de hábitat para especies de aguas frías

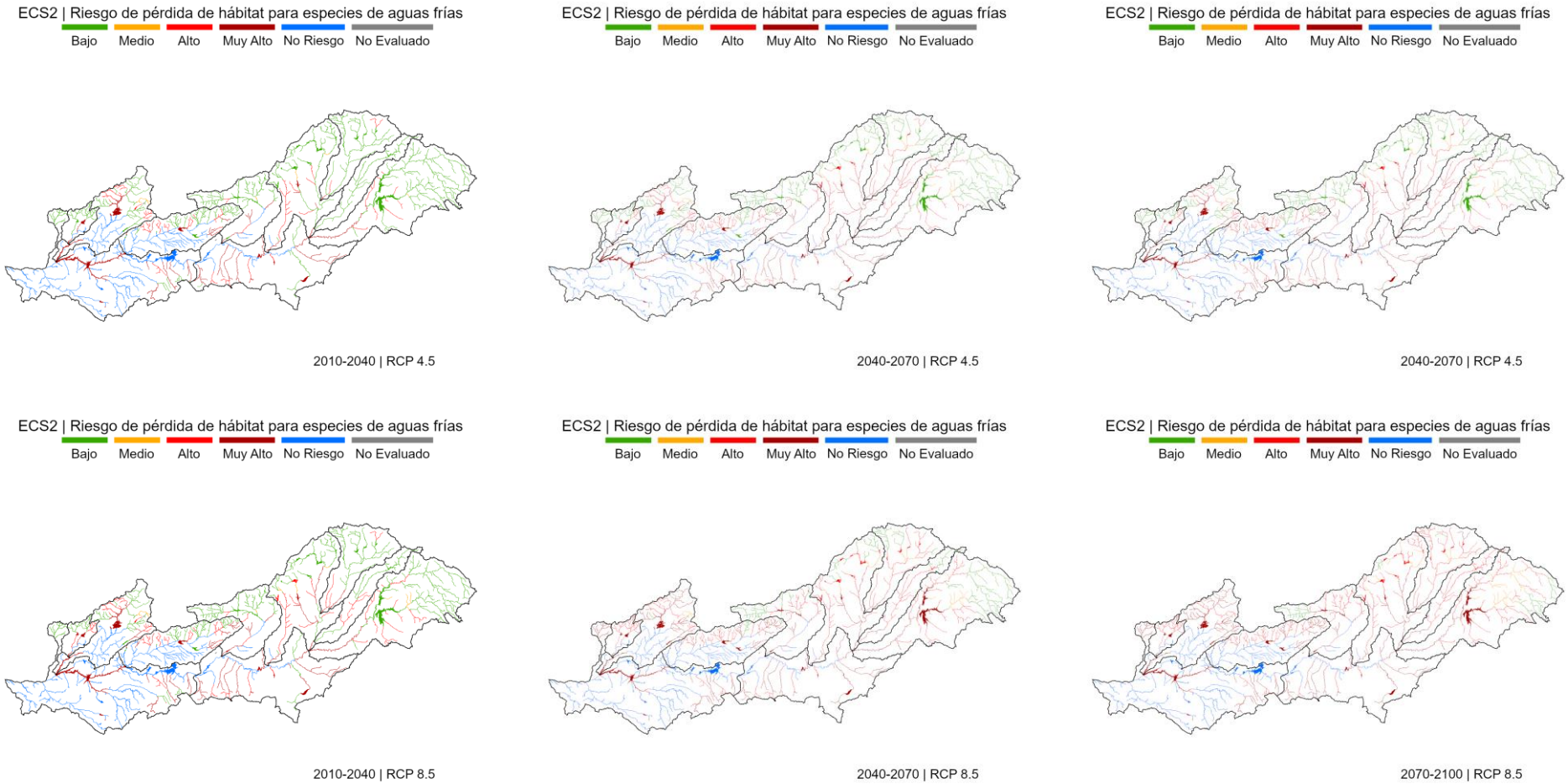


Figura 94. Evaluación del riesgo ECS2 proyectado bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, para los horizontes temporales 2010-2040, 2040-2070 y 2070/2100. Riesgo de pérdida de hábitat para especies de aguas frías.

6.15 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Reducción de oxígeno

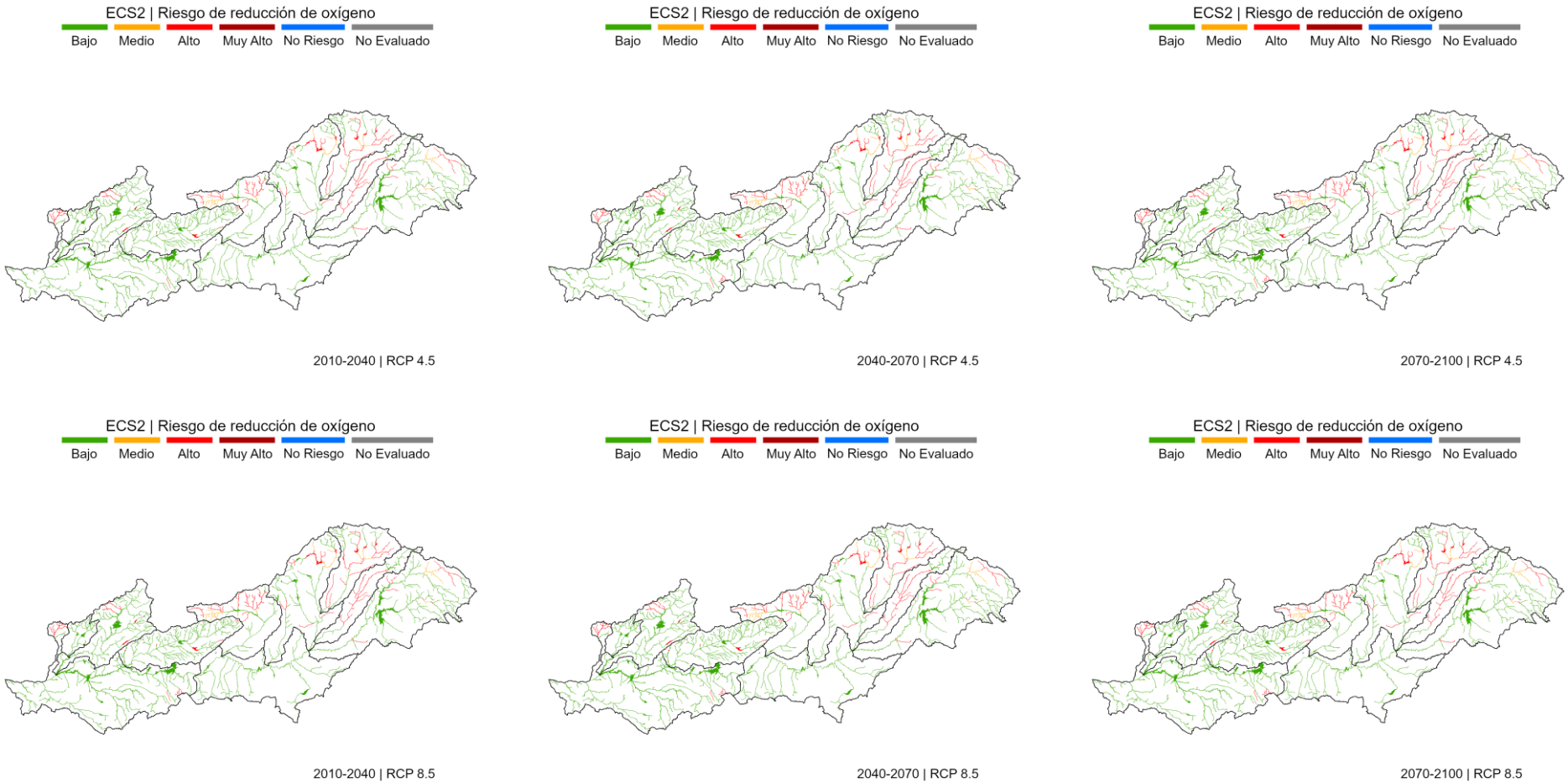


Figura 95. Evaluación del riesgo ECS2 proyectado bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, para los horizontes temporales 2010-2040, 2040-2070 y 2070/2100. Riesgo de reducción de oxígeno.

6.16 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Afección a macroinvertebrados

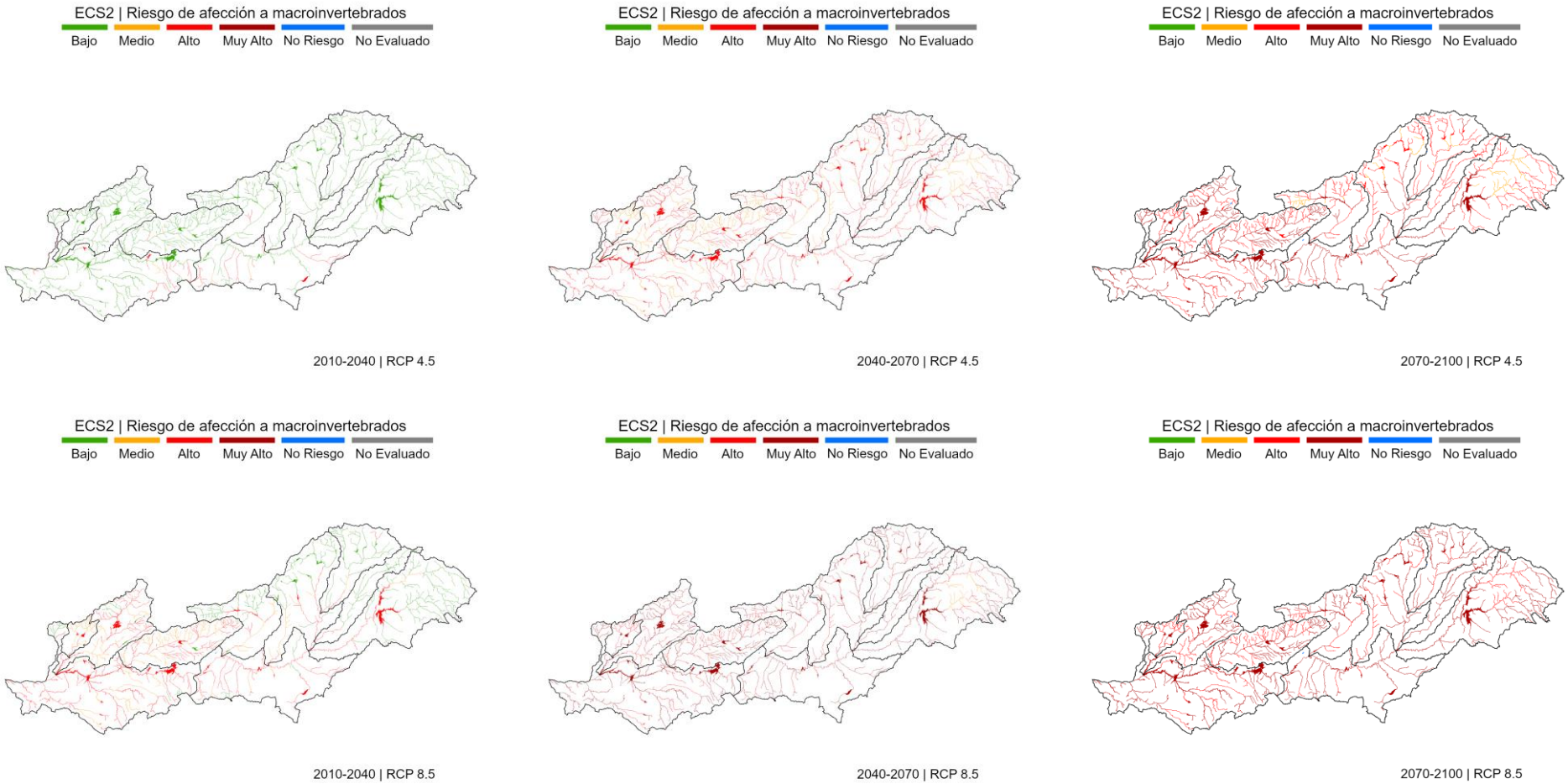


Figura 96. Evaluación del riesgo ECS2 proyectado bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, para los horizontes temporales 2010-2040, 2040-2070 y 2070/2100. Riesgo de afección a macroinvertebrados.

6.17 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Análisis por sistema de explotación: Pérdida de hábitat para especies de aguas frías

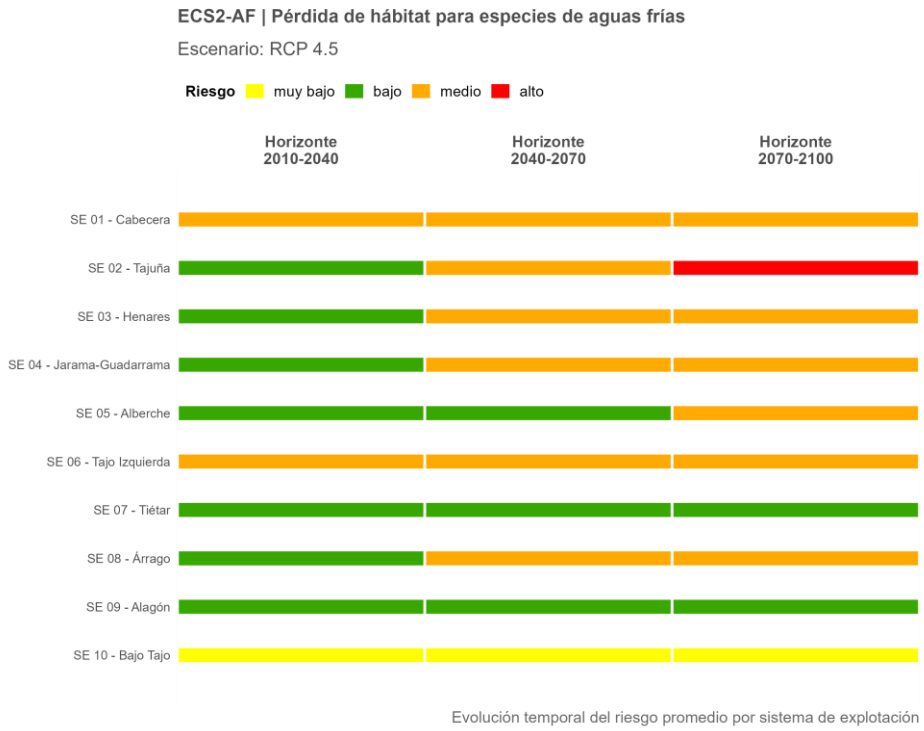


Figura 97. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-AF promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (RCP 4.5).

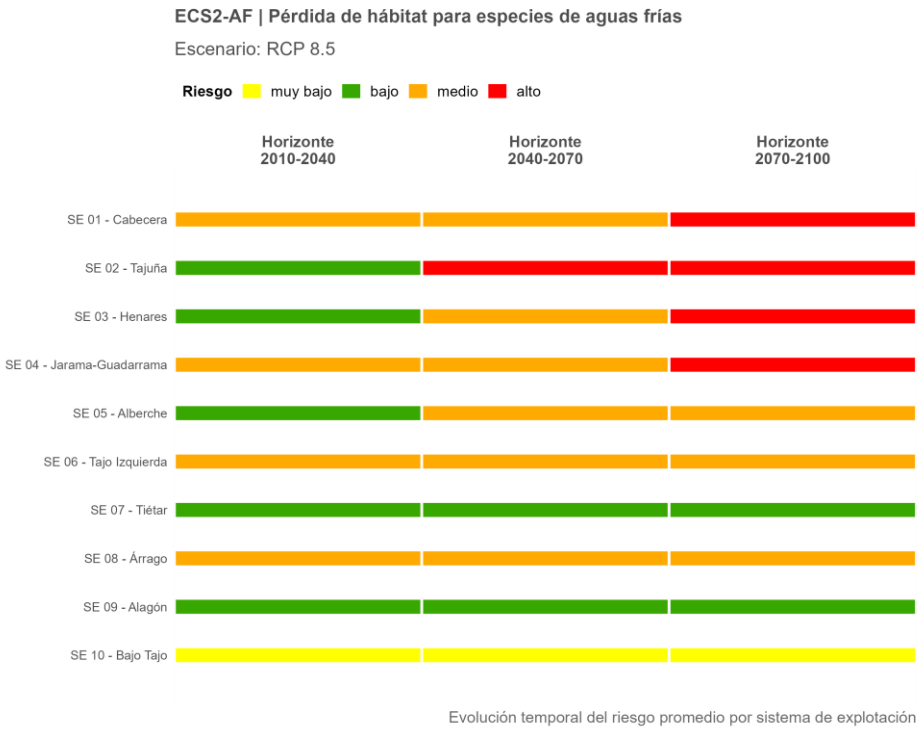


Figura 98. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-AF promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (RCP 8.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario intermedio** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en algunos horizontes analizados. Los incrementos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación Tajuña, Henares, Jarama-Guadarrama, Alberche y Árrago, donde las variaciones son especialmente significativas. En contraste, los demás sistemas no experimentan cambios.

El cambio en el riesgo asociado al **escenario de altas emisiones** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en todos los horizontes analizados. Los incrementos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación Cabecera, Tajuña, Henares, Jarama-Guadarrama y Alberche, donde las variaciones son especialmente significativas. En contraste, los demás sistemas no experimentan cambios.

Pese a que los mapas de riesgo desarrollados en el contexto de los trabajos de la UPV 2020 solo se consideran 4 clases de riesgo (bajo, medio, alto, muy alto), para el cálculo del riesgo promedio por sistema de explotación se han considerado las 5 clases de riesgo utilizadas de manera generalizada en el presente estudio. De esta forma, considerando que sin riesgo = 0, riesgo bajo = 2, riesgo medio = 3, riesgo alto = 4 y riesgo muy alto = 5, pueden darse promedios de riesgo muy bajo = 1, que no aparecían en los mapas de riesgo.

6.18 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Análisis por sistema de explotación: Reducción en la concentración de oxígeno disuelto

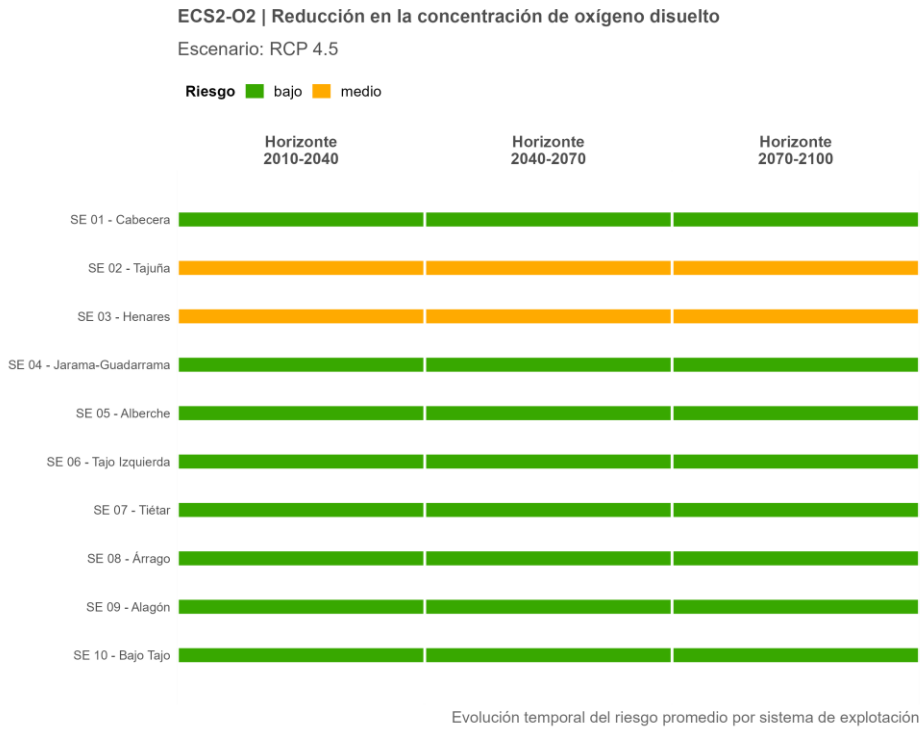


Figura 99. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-O2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (RCP 4.5)

No se observa cambio en el riesgo asociado al **escenario intermedio.** Los Sistemas Tajuña y Henares se mantienen en riesgo medio mientras que los demás en nivel bajo.

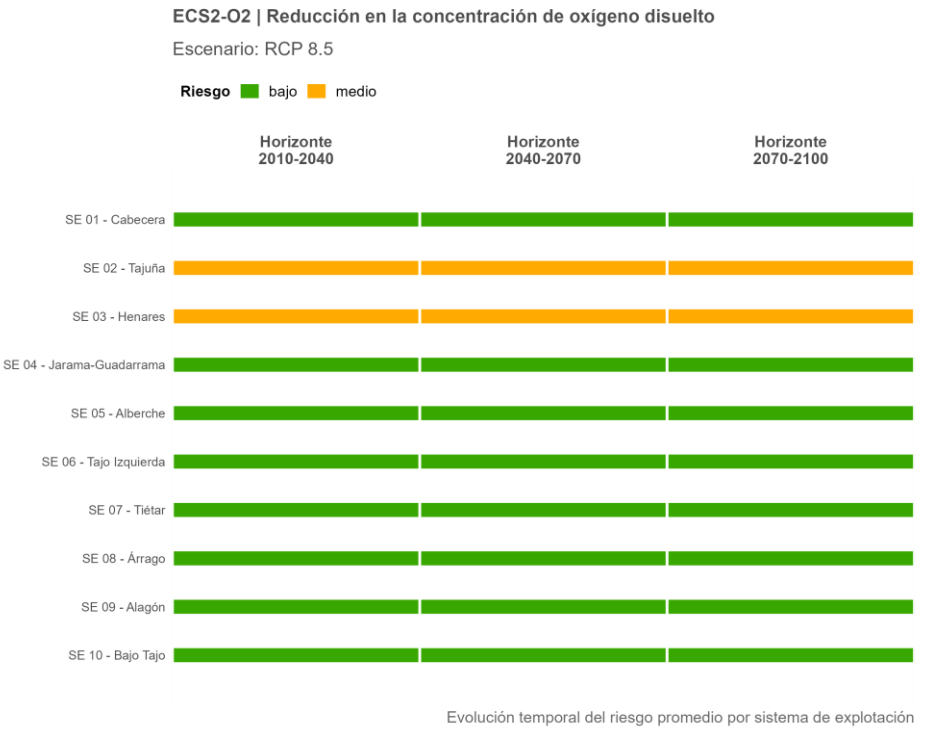


Figura 100. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-O2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (RCP 8.5).

No se observa cambio en el riesgo asociado al **escenario altas emisiones.** Los Sistemas Tajuña y Henares se mantienen en riesgo medio mientras que los demás en nivel bajo.

Pese a que los mapas de riesgo desarrollados en el contexto de los trabajos de la UPV 2020 solo se consideran 4 clases de riesgo (bajo, medio, alto, muy alto), para el cálculo del riesgo promedio por sistema de explotación se han considerado las 5 clases de riesgo utilizadas de manera generalizada en el presente estudio. De esta forma, considerando que sin riesgo = 0, riesgo bajo = 2, riesgo medio = 3, riesgo alto = 4 y riesgo muy alto = 5, pueden darse promedios de riesgo muy bajo = 1, que no aparecían en los mapas de riesgo.

6.19 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Análisis por sistema de explotación: Afección a macroinvertebrados

Figura 101. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-IN promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (RCP 4.5).

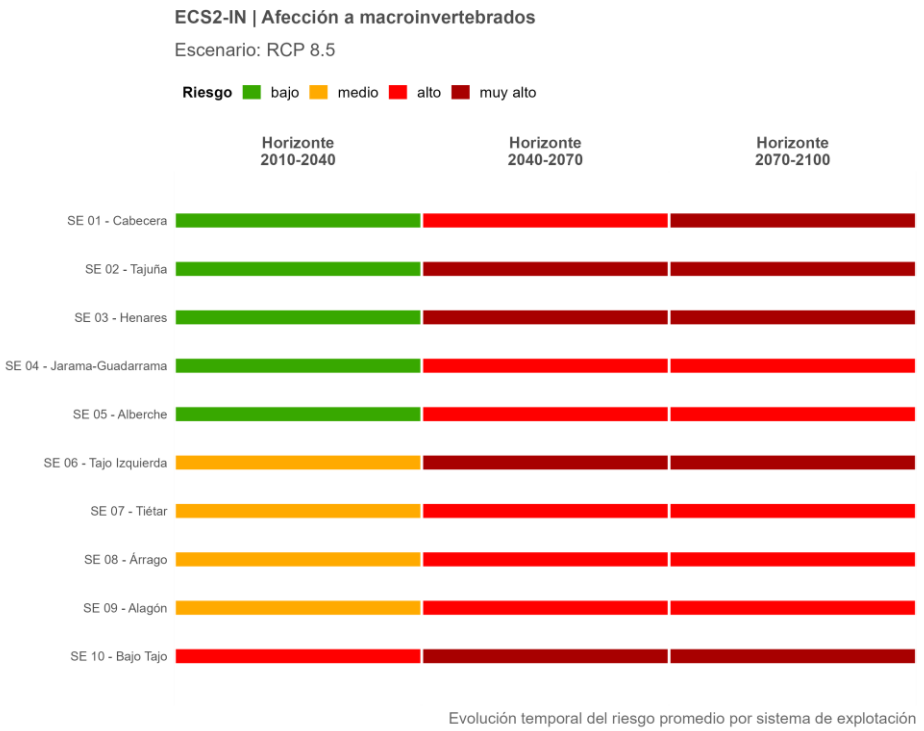


Figura 102. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-IN promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (RCP 8.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario intermedio** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en todos los horizontes analizados. Los incrementos del riesgo se concentran en todos los sistemas de explotación, siendo más acusados en Tajo Izquierda y Bajo Tajo llegando al nivel muy alto de riesgo.

El cambio en el riesgo asociado al **escenario de altas emisiones** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en todos los horizontes analizados. Los incrementos del riesgo se concentran en todos los sistemas de explotación, siendo más acusados en Cabecera, Tajuña, Tajo Izquierda y Bajo Tajo llegando al nivel muy alto de riesgo.

Pese a que los mapas de riesgo desarrollados en el contexto de los trabajos de la UPV 2020 solo se consideran 4 clases de riesgo (bajo, medio, alto, muy alto), para el cálculo del riesgo promedio por sistema de explotación se han considerado las 5 clases de riesgo utilizadas de manera generalizada en el presente estudio. De esta forma, considerando que sin riesgo = 0, riesgo bajo = 2, riesgo medio = 3, riesgo alto = 4 y riesgo muy alto = 5, pueden darse promedios de riesgo muy bajo = 1, que no aparecían en los mapas de riesgo.

6.20 ECS8. Incremento de la sedimentación en embalses y cauces

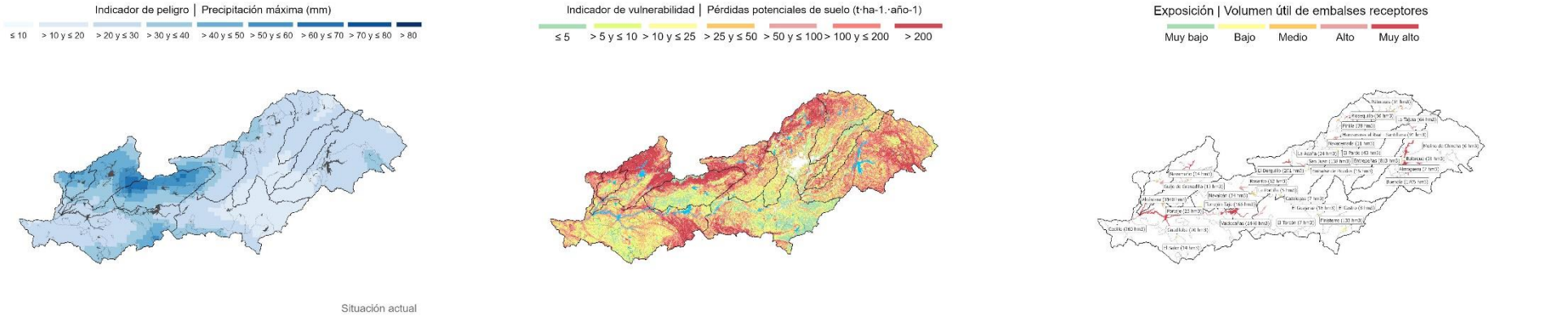


Figura 103. Riesgo ECS8. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad

El riesgo de **incremento de la sedimentación en embalses y cauces** se ha evaluado mediante:

- **Precipitación máxima en 24 horas:** periodo 1971-2000 (AdapteCCa); resolución espacial de 5.000 m.
- **Capacidad de embalse (E):** cobertura de embalses procede del Catálogo de Metadatos. Capacidad de embalse obtenida del boletín hidrológico (Fichero BD-Embalses_1988-2025)[6].
- **Pérdidas de suelo en la cuenca vertiente a cada embalse (V)[7]:** estimado a partir de la información de erosión potencial (Inventario Nacional de Erosión de Suelos, 2002-2019), disponible en el Catálogo de Metadatos.

Todos los datos se han transformado a una malla común y se han reclasificado mediante cuantiles para obtener **cinco categorías comparables** (Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto)[8].

Componente	CP	NC					
		Cobertura	Fuente	Resolución	Temporal	Proyección	NC total
Peligro	0.33	0.25	0.25	0.15	0.10	0.25	1.00
Exposición	0.33	0.20	0.25	0.15	0.10	0.25	0.95
Vulnerabilidad	0.33	0.25	0.25	0.15	0.05	0.25	0.95

NC Riesgo actual: 0.957

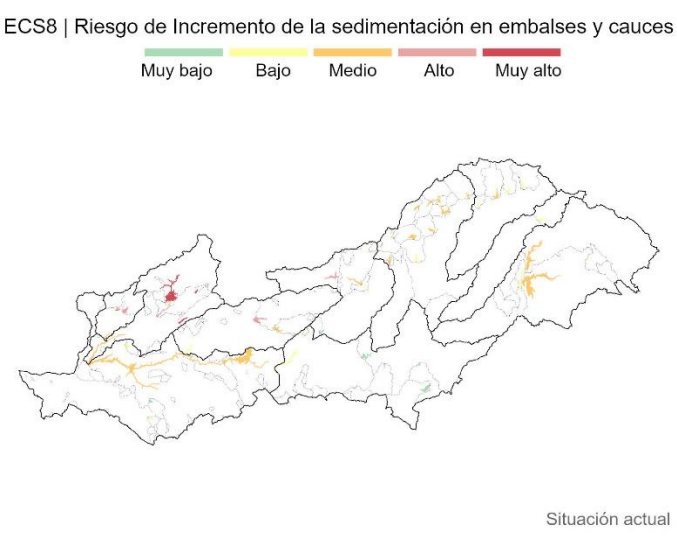


Figura 104. Riesgo ECS8: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)

[6] Algunos embalses no presentan información.

[7] Pérdidas acumuladas en la cuenca drenante al embalse: las cuencas se han calculado en la cerrada / presa de cada embalse, a partir del MDT rasterizando a una resolución de 50 m x 50 m. Los datos de erosión potencial se corresponden al año 2019.

[8] Los riesgos no se proyectan a futuro en atención a incertidumbres sobre la evolución futura de las precipitaciones máximas (sección 3.20).

6.21 ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada

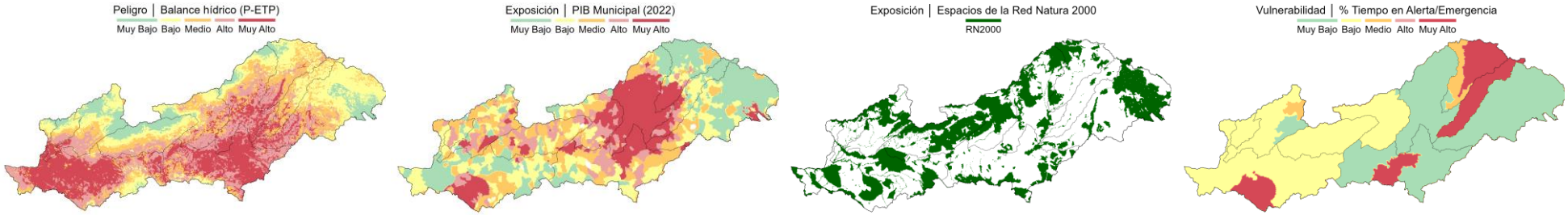


Figura 105. Riesgo ECS9. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad

El riesgo por **daños sistémicos por sequía prolongada** se ha evaluado mediante:

- **Balance hídrico [P-ETP] (P):** periodo 1980-2023, obtenidos del modelo SIMPA (CEDEX), con resolución espacial de 500 x 500 m.
- **PIB Municipal 2022 (E1):** información procedente del INE, rasterizado a una resolución de 500 x 500 m.
- **Espacios de la Red Natura 2000 (E2):** información obtenida del Catálogo de Metadatos del MITECO, rasterizado a un ráster binario, con resolución de 500 x 500 m[9].
- **% Tiempo en Alerta/Emergencia (V):** calculado a partir de los indicadores de escasez recogidos en los Planes Especiales de Sequía (periodo 1980-2023), rasterizado a una resolución de 500 x 500 m.

Todos los datos se han transformado a una malla común y se han reclasificado mediante cuantiles para obtener **cinco categorías comparables** (Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto).

Componente	CP	NC					
		Cobertura	Fuente	Resolución	Temporal	Proyección	NC total
Peligro	0.33	0.25	0.25	0.15	0.10	0.25	1.00
Exposición[10]	0.33	0.25	0.25	0.10	0.10	0.25	0.95
Vulnerabilidad[8]	0.33	0.25	0.25	0.10	0.10	0.25	0.95

NC Riesgo actual: 0.967

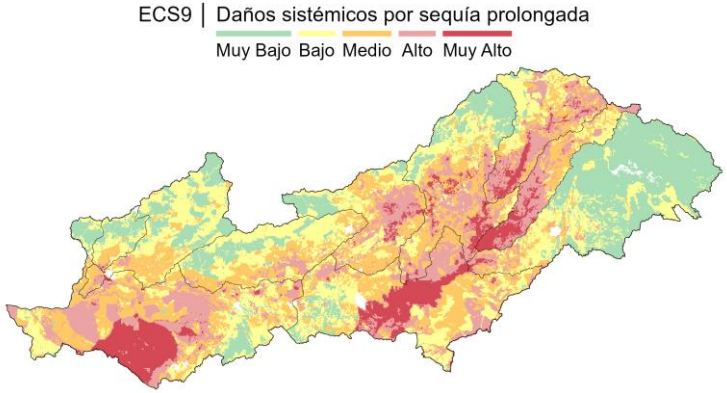


Figura 106. Riesgo ECS9: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)

[9] Ambos indicadores de exposición se ponderan al 50% para obtener la exposición total. El indicador E2 se rasteriza asignando un valor de 1 en caso de ausencia de espacio de la RN2000 y un valor de 5 en caso de existencia de espacio de la RN2000.

[10] Ha sido necesaria su conversión de formato vectorial a formato ráster.

6.22 ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada – Escenario intermedio (SSP2-4.5)

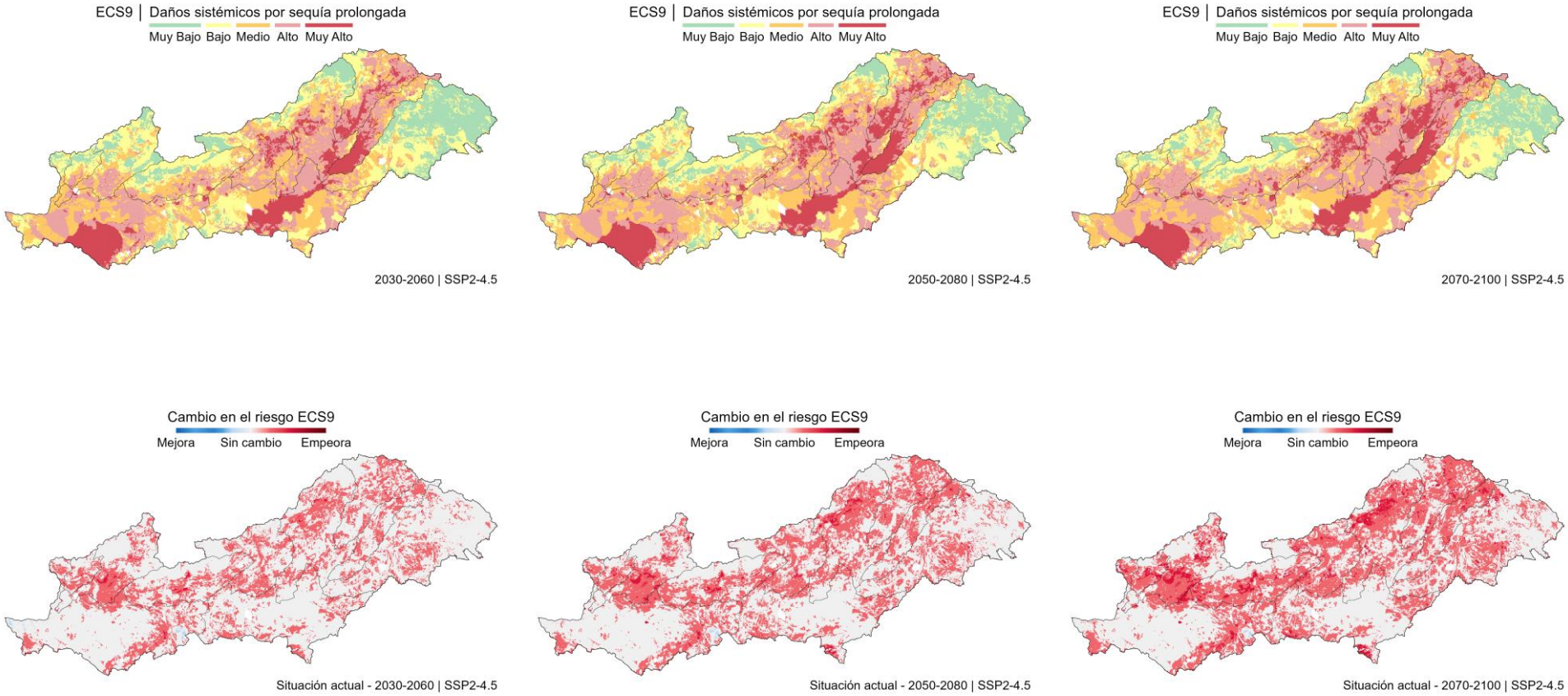


Figura 107. Evaluación del riesgo ECS9 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP2-4.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro,** manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.23 ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada – Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

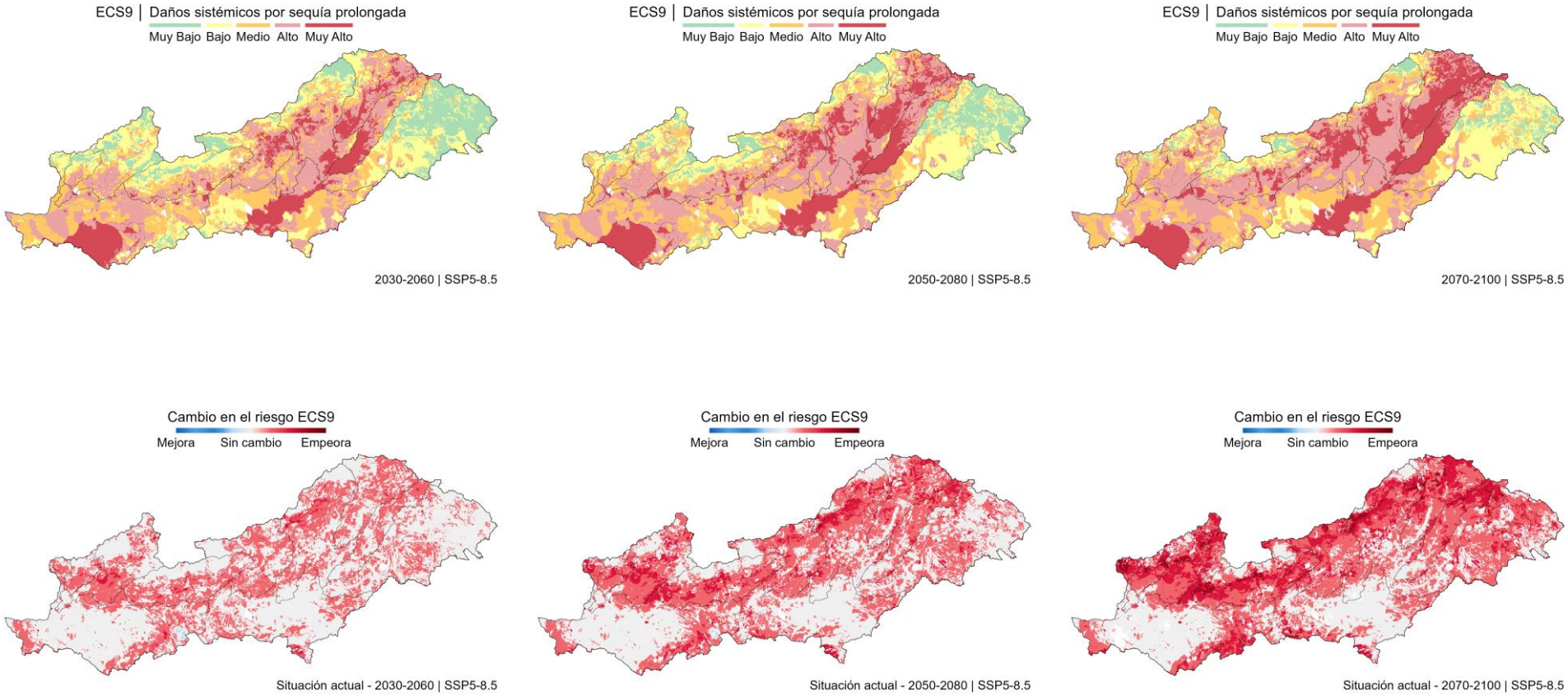


Figura 108. Evaluación del riesgo ECS9 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP5-8.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro,** manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.24 ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada – Análisis por sistema de explotación

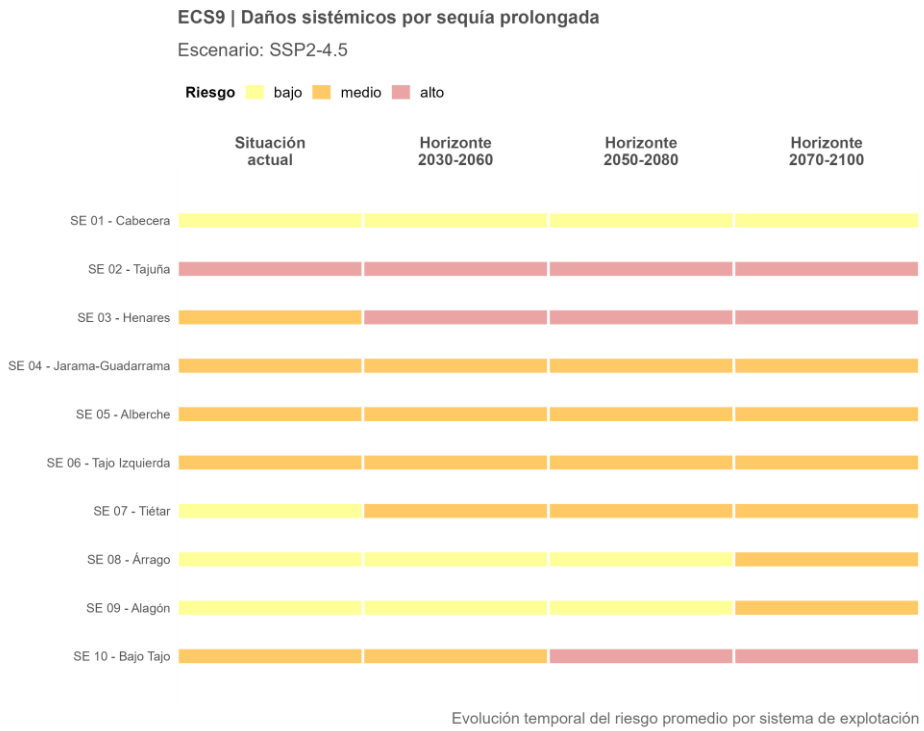


Figura 109. Trayectoria temporal del riesgo ECS9 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario intermedio** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en algunos horizontes analizados. Los incrementos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación Henares, Tiétar, Árrago, Alagón y Bajo Tajo, donde las variaciones son especialmente significativas. En contraste, los demás sistemas no experimentan cambios, siendo relevante el caso de Tajuña con nivel alto de riesgo en todos los horizontes.

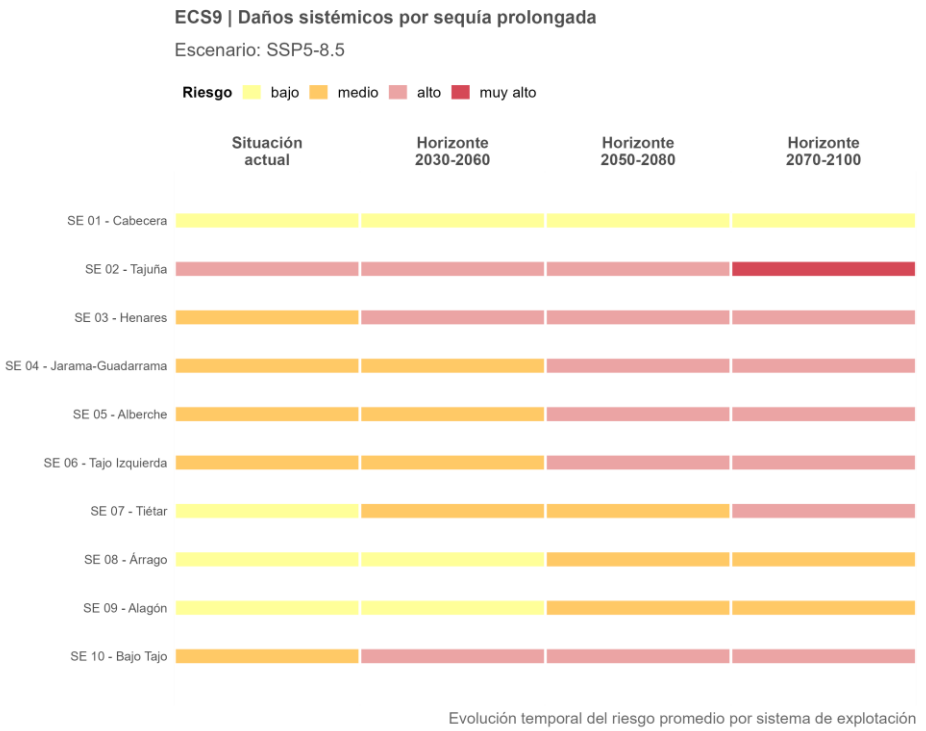


Figura 110. Trayectoria temporal del riesgo ECS9 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario de altas emisiones** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en todos los horizontes analizados. Los incrementos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación Tajuña, Henares, Jarama-Guadarrama, Alberche, Tajo Izquierda, Tiétar, Árrago, Alagón y Bajo Tajo, donde las variaciones son especialmente significativas. En contraste, Cabecera se mantiene en nivel de riesgo bajo.

6.25 ECS10 / ECS11. La evaluación del riesgo de inundación en España

En España la evaluación y gestión del riesgo de inundación , tanto fluvial como costera, sigue un proceso metodológico definido por la DI (Directiva 2007/60/CE) y su transposición (Real Decreto 903/2010). Se articula en tres hitos:

1. **Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación** (EPRI). La EPRI identifica las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) a partir de la información histórica de avenidas y temporales marítimos, daños, usos del suelo y proyecciones de cambio climático.
2. **Mapas de Peligrosidad y de Riesgo** (MAPRI) Sobre estas ARPSI se elabora después la cartografía detallada que se publica en el **Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables** (SNCZI), cuyo visor permite consultar zonas inundables, dominio público hidráulico y marítimo-terrestre y los mapas oficiales de peligrosidad y riesgo, tanto en cauces interiores como en el litoral..
3. **Planes de Gestión del Riesgo de Inundación** (PGRI). Utilizan esa cartografía para priorizar medidas de prevención, protección, preparación y recuperación en las ARPSI (ordenación del territorio, protección civil, infraestructuras, medidas verdes, seguros, etc.). Los PGRI se revisan cada seis años, al igual que EPRI y MAPRI, incorporando mejoras metodológicas y nueva información.

El riesgo de inundación, como con el resto de los riesgos analizados en este estudio, el riesgo de inundación se entiende como resultado combinado de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad.

- **Peligrosidad (peligro)**. Grado de amenaza de inundación en un lugar. Se cartografía mediante mapas de inundación que muestran las áreas que quedarían anegadas bajo escenarios de distinta probabilidad (para varios periodos de retorno: típicamente 10, 100 y 500 años), incluyendo la extensión y profundidad del agua esperadas y, cuando procede, la velocidad del flujo. En ríos y ramblas se determina mediante modelos hidrológicos e hidráulicos; en la costa, mediante modelos que combinan nivel del mar, marea, oleaje y efectos del cambio climático. El mapa de peligrosidad es, en esencia, el mapa de calados / zonas inundables para cada escenario: delimita dónde se inunda y con qué intensidad, pero aún sin considerar los bienes afectados.
- **Exposición**. Personas, bienes, actividades y ecosistemas localizados en las zonas inundables. Indica qué elementos coinciden espacialmente con la zona de peligro (p. ej., población residente, viviendas, infraestructuras, tierras agrícolas o industrias en la llanura de inundación). La zona inundable se cruza con la información de usos del suelo, población, infraestructuras, actividades económicas y espacios protegidos. Se emplean bases como SIOSE, ortofotos PNOA, datos censales y registros de instalaciones críticas, para aproximar la afección potencial dentro de la zona inundable: población, superficies, puntos de especial importancia (hospitales, depuradoras, centros educativos…).
- **Vulnerabilidad**. Grado de susceptibilidad o daño esperado en los elementos expuestos cuando ocurre una inundación. Depende del tipo de elemento (residencial, industrial, dotacional, infraestructura crítica, espacio natural), de las características (p. ej. en edificación: cota de plantas bajas, materiales, usos) y de la densidad y características de la población (edad, renta, capacidad de movilidad), así como del valor económico de las actividades y la sensibilidad ambiental de los ecosistemas. También influyen la existencia de planes de emergencia, sistemas de aviso y medidas de autoprotección. Se emplean clases o índices de vulnerabilidad asociados a tipos de elementos y contextos territoriales, de modo que mayor vulnerabilidad implica consecuencias más graves ante inundaciones similares.

6.26 ECS10. Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales: población y actividad económica

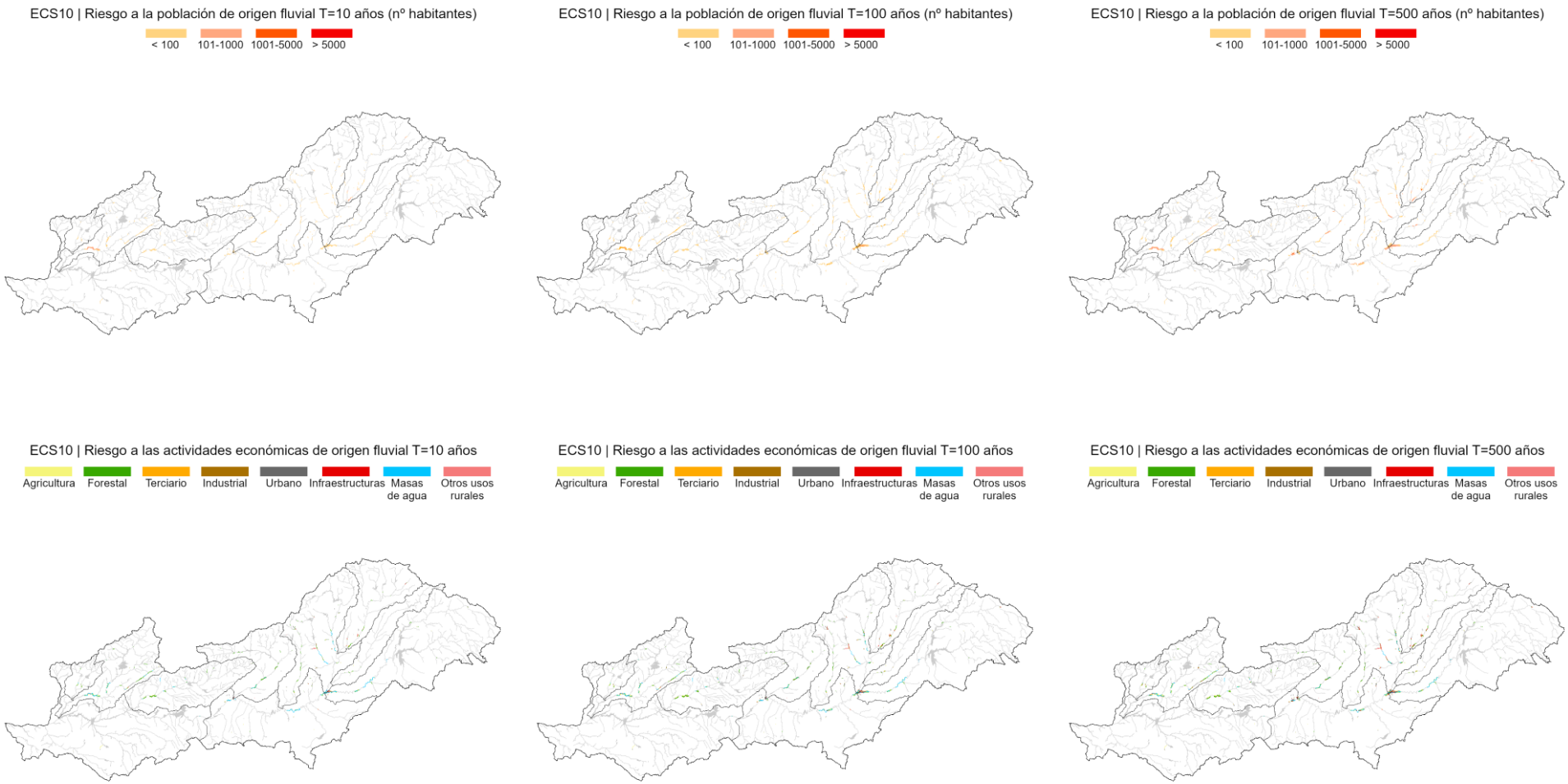


Figura 111. Mapas de riesgo por inundaciones de origen fluvial para la población (arriba) y actividad económica (debajo). Periodos de retorno T= 10, 100 y 500. Fuente SNCZI

A la luz de las incertidumbres sobre la evolución futura de las precipitaciones máximas –ausencia de señales claras en los modelos SSP2-4.5 y SSP5-8.5– y, consecuentemente, de los episodios de inundación(sección 3.20), se ha optado por no proyectar este riesgo a los horizontes futuros de cálculo.

6.27 ECS10. Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales: áreas ambientales y puntos de especial importancia

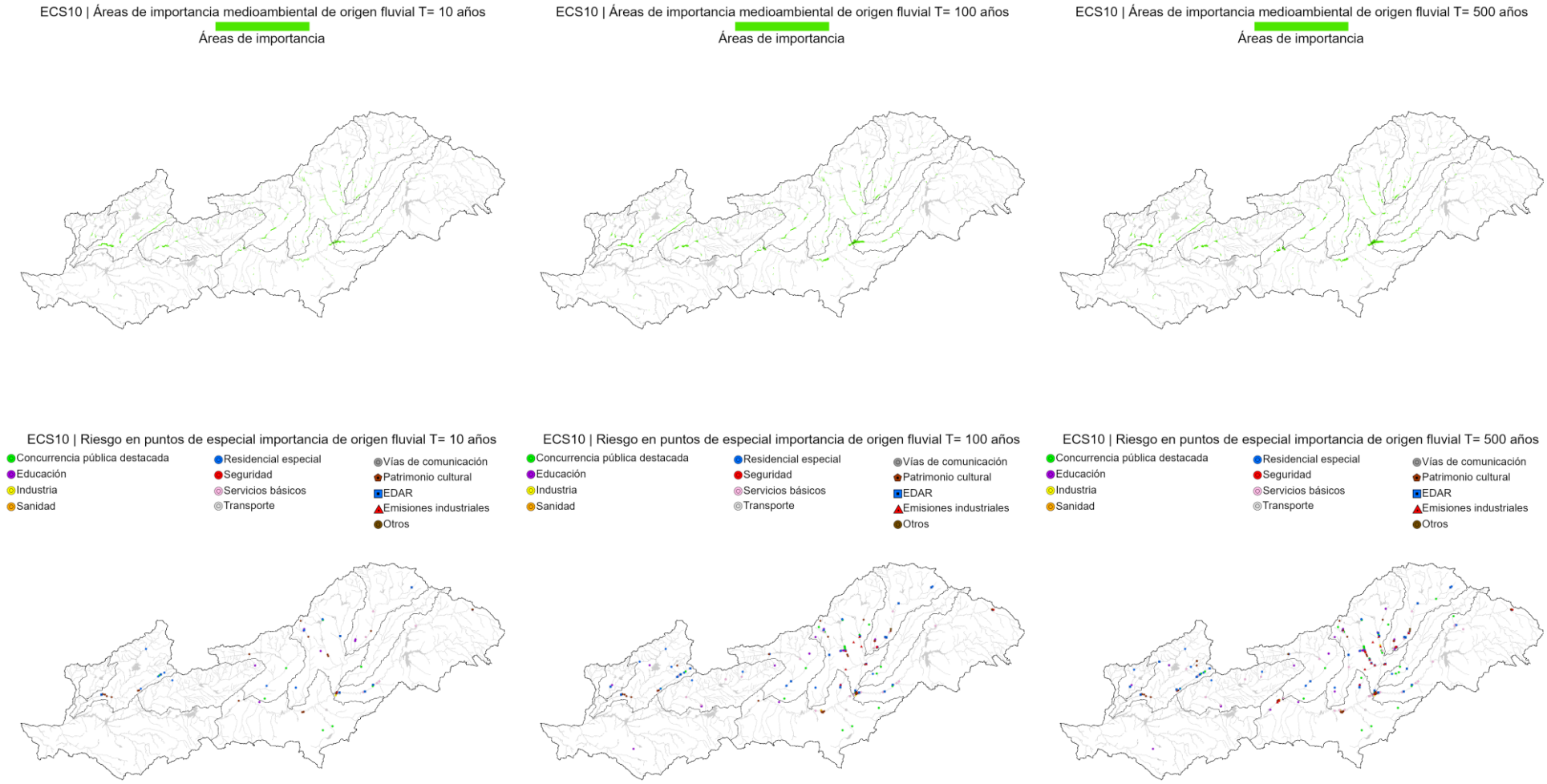


Figura 112. Mapas de riesgo por inundaciones de origen fluvial para áreas de importancia ambiental (arriba) y puntos de especial importancia (debajo). Periodos de retorno T= 10, 100 y 500. Fuente SNCZI

6.28 ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima

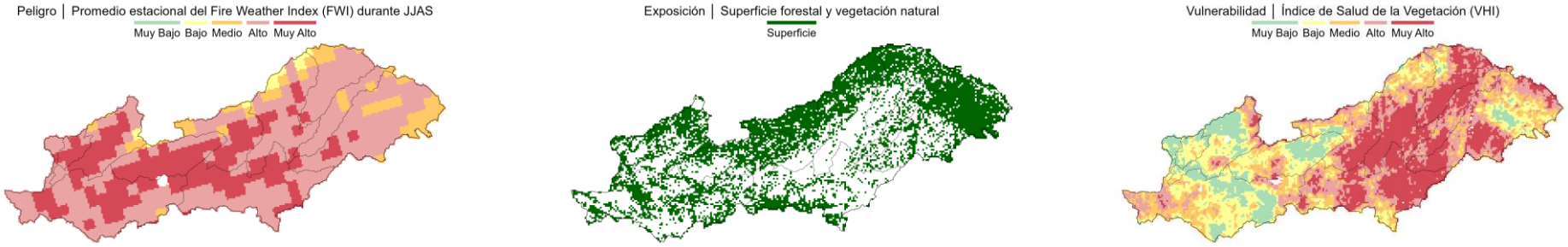


Figura 113. Riesgo ECS13. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad

El riesgo del **incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima** se ha evaluado mediante:

- **Índice estacional de riesgo de incendios forestales (P):** periodo 1971-2005, obtenidos del Fire Weather Index (Copernicus Climate Data Store), con resolución espacial de 10 km (resampleado a una resolución de 2 km)[(11)].
- **Superficie forestal y vegetación natural (E):** información correspondiente al CORINE Land Cover 2018, rasterizado a una resolución de 500 x 500 m.
- **Índice de Salud de la Vegetación (VHI) (V):** indicador de la salud de la vegetación bajo estrés hídrico y térmico, para el periodo 1984-2023, a partir de datos de la FAO, con resolución de 1 km[(8)].

Todos los datos excepto el peligro[12], se han transformado a una malla común y se han reclasificado mediante cuantiles para obtener **cinco categorías comparables** (Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto).

Componente	CP	NC					
		Cobertura	Fuente	Resolución	Temporal	Proyección	NC total
Peligro	0.33	0.25	0.25	0.10	0.10	0.25	0.95
Exposición	0.33	0.20	0.25	0.10	0.10	0.25	0.95
Vulnerabilidad	0.33	0.20	0.25	0.10	0.10	0.25	0.95

NC Riesgo actual: 0.95

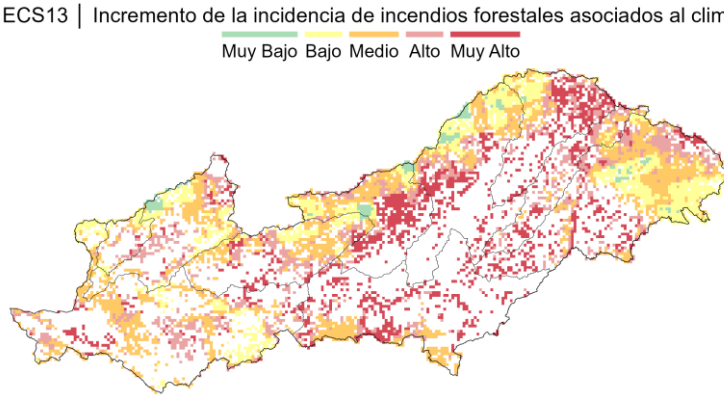


Figura 114. Riesgo ECS13: Mapa de situación actual (periodo 1971 – 2005)

[11] Se trata del valor medio del índice meteorológico de incendios durante la temporada de incendios en Europa (junio-septiembre). Se calcula como la suma del índice meteorológico diario de incendios durante la temporada de incendios dividida por el número total de días dentro de este intervalo de fechas.

[12] El peligro se ha reclasificado según los rangos del índice FWI utilizados por el European Forest Fire Information System.

6.29 ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima – Escenario intermedio (SSP2-4.5)

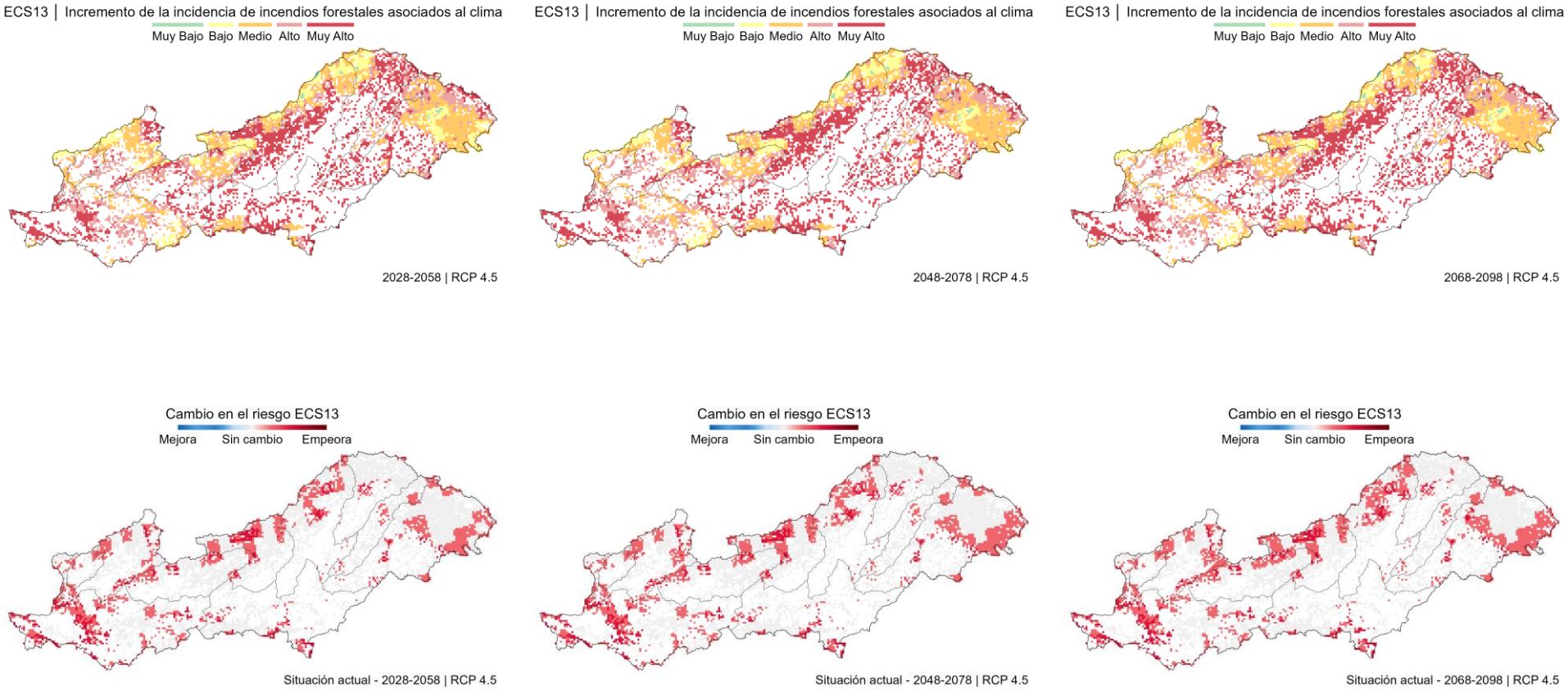


Figura 115. Evaluación del riesgo ECS13 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2028/2058, 2048/2078 y 2068/2098 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP2-4.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro**, manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.30 ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima – Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

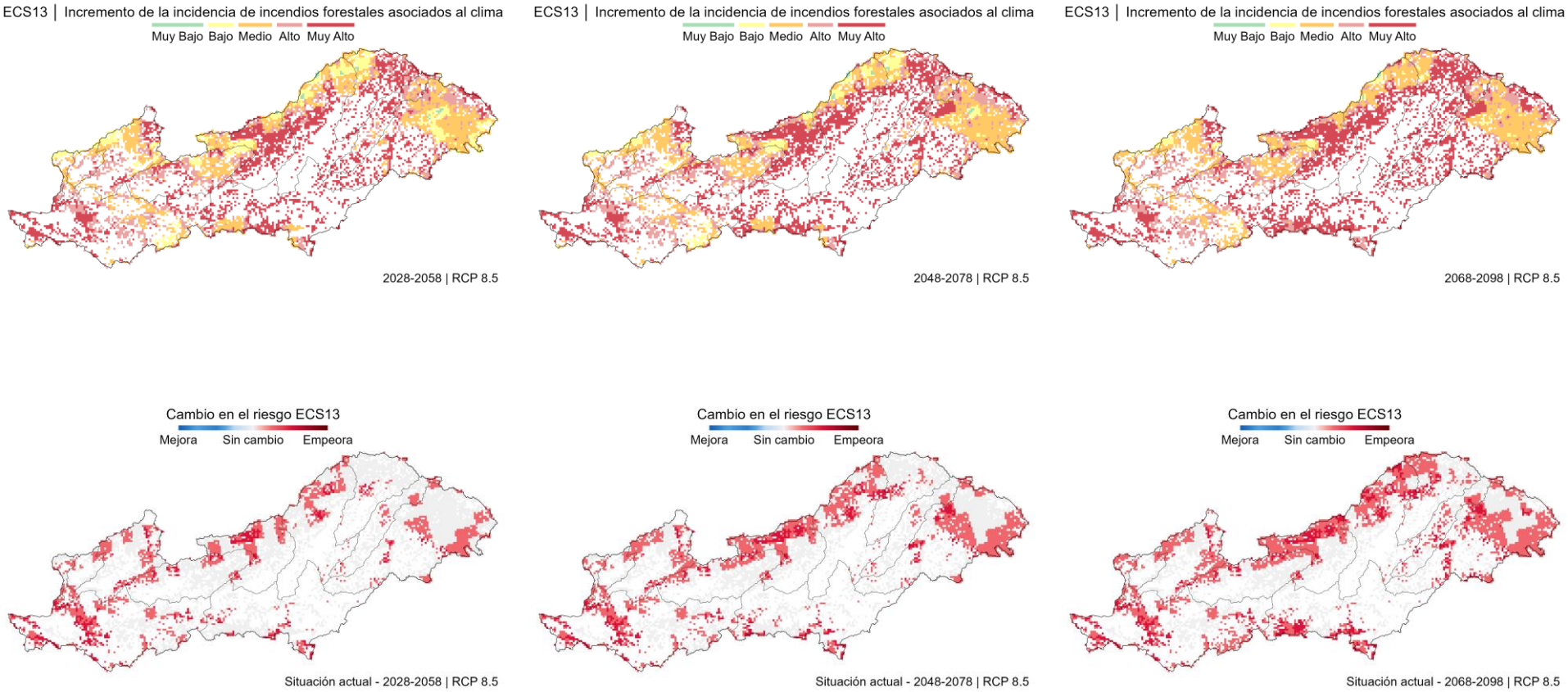


Figura 116. Evaluación del riesgo ECS13 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2028/2058, 2048/2078 y 2068/2098 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP5-8.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro**, manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.31 ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima - Análisis por sistema de explotación

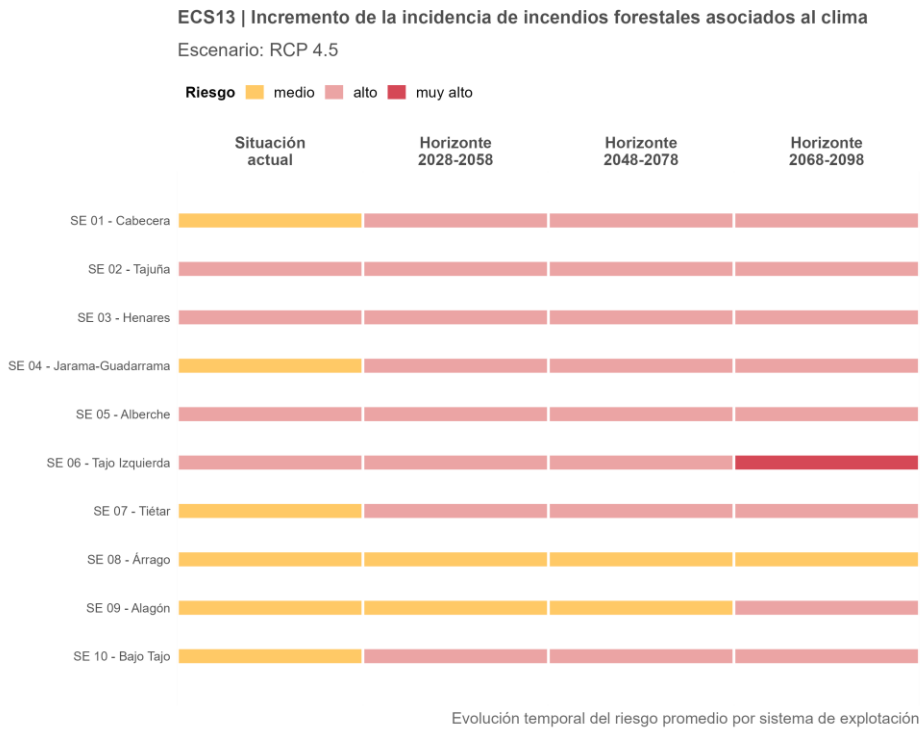


Figura 117. Trayectoria temporal del riesgo ECS13 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario intermedio** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en algunos horizontes analizados. Los incrementos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación Cabecera, Jarama-Guadarrama, Tajo Izquierda, Tiétar, Árrago, Alagón y Bajo Tajo donde las variaciones son especialmente significativas. En contraste, los demás sistemas no experimentan cambios.

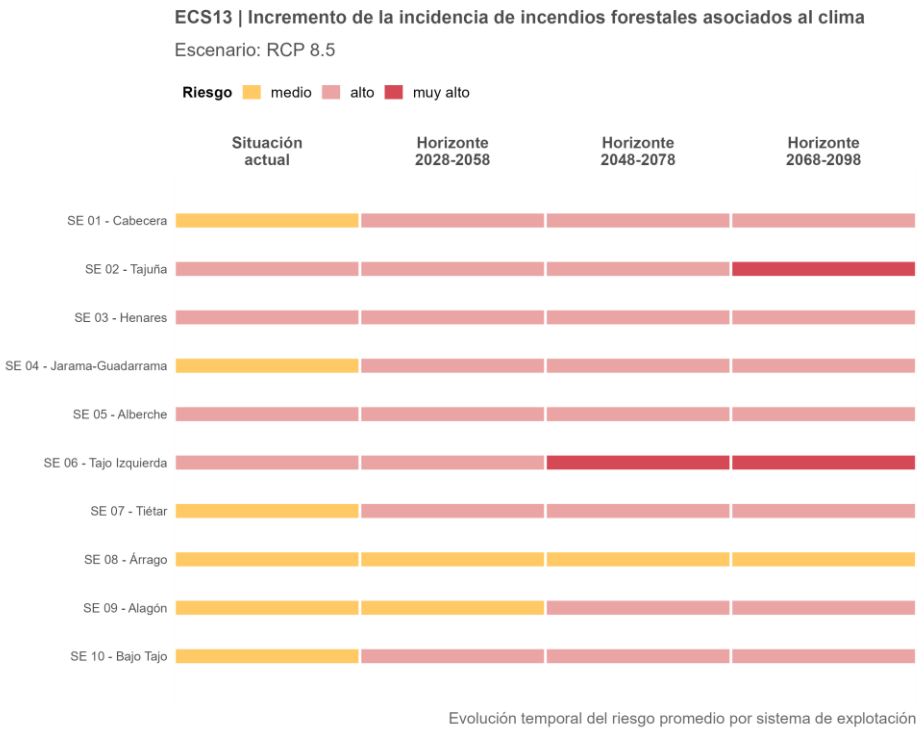


Figura 118. Trayectoria temporal del riesgo ECS13 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario de altas emisiones** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en algunos horizontes analizados. Los incrementos del riesgo se concentran en todos los sistemas de explotación, salvo Henares y Alberche que se mantienen en riesgo alto todos los horizontes.

6.32 AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento

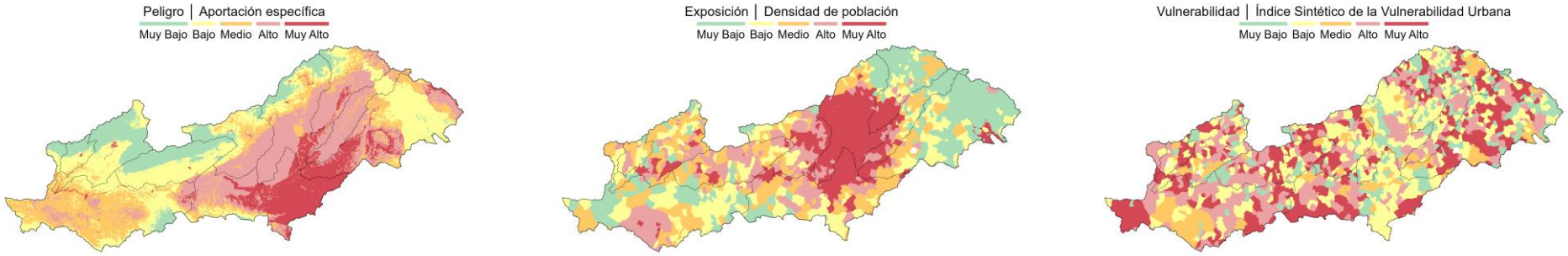


Figura 119. Riesgo AU1. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad

El riesgo de la **reducción de la garantía de suministro al abastecimiento** se ha evaluado mediante:

- **Aportación específica (P):** periodo 1980-2023, obtenidos del modelo SIMPA (CEDEX), con resolución espacial de 500 x 500 m.
- **Densidad de población (E):** información correspondiente a 2024, procedente del INE, rasterizado a una resolución de 500 x 500 m.
- **Índice Sintético de Vulnerabilidad Urbana (V):** información correspondiente a 2001, procedente del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, rasterizado a una resolución de 500 m x 500 m.

Todos los datos se han transformado a una malla común y se han reclasificado mediante cuantiles para obtener **cinco categorías comparables** (Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto).

Componente	CP	NC					
		Cobertura	Fuente	Resolución	Temporal	Proyección	NC total
Peligro	0.33	0.25	0.25	0.15	0.10	0.25	1.00
Exposición[13]	0.33	0.20	0.25	0.10	0.10	0.25	0.90
Vulnerabilidad[14]	0.33	0.20	0.25	0.10	0.05	0.25	0.85

NC Riesgo actual: 0.917

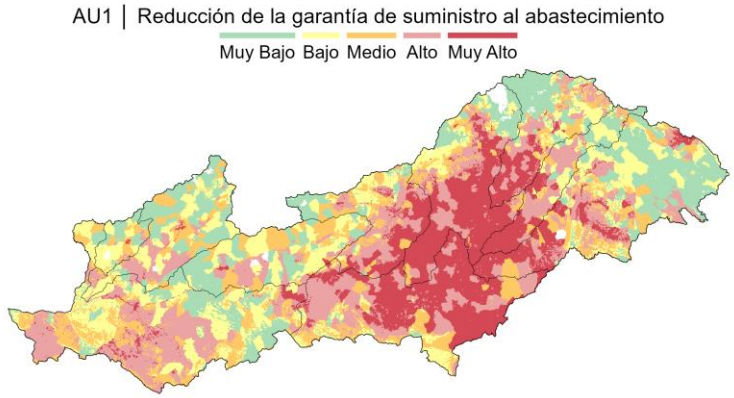


Figura 120. Riesgo AU1: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)

[13] La información presenta algunas celdas sin dato y ha sido necesaria su conversión de formato vectorial a formato ráster.

[14] La información presenta algunas celdas sin dato, ha sido necesaria su conversión de formato vectorial a formato ráster y los datos se corresponden a 2001.

6.33 AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento – Escenario intermedio (SSP2-4.5)

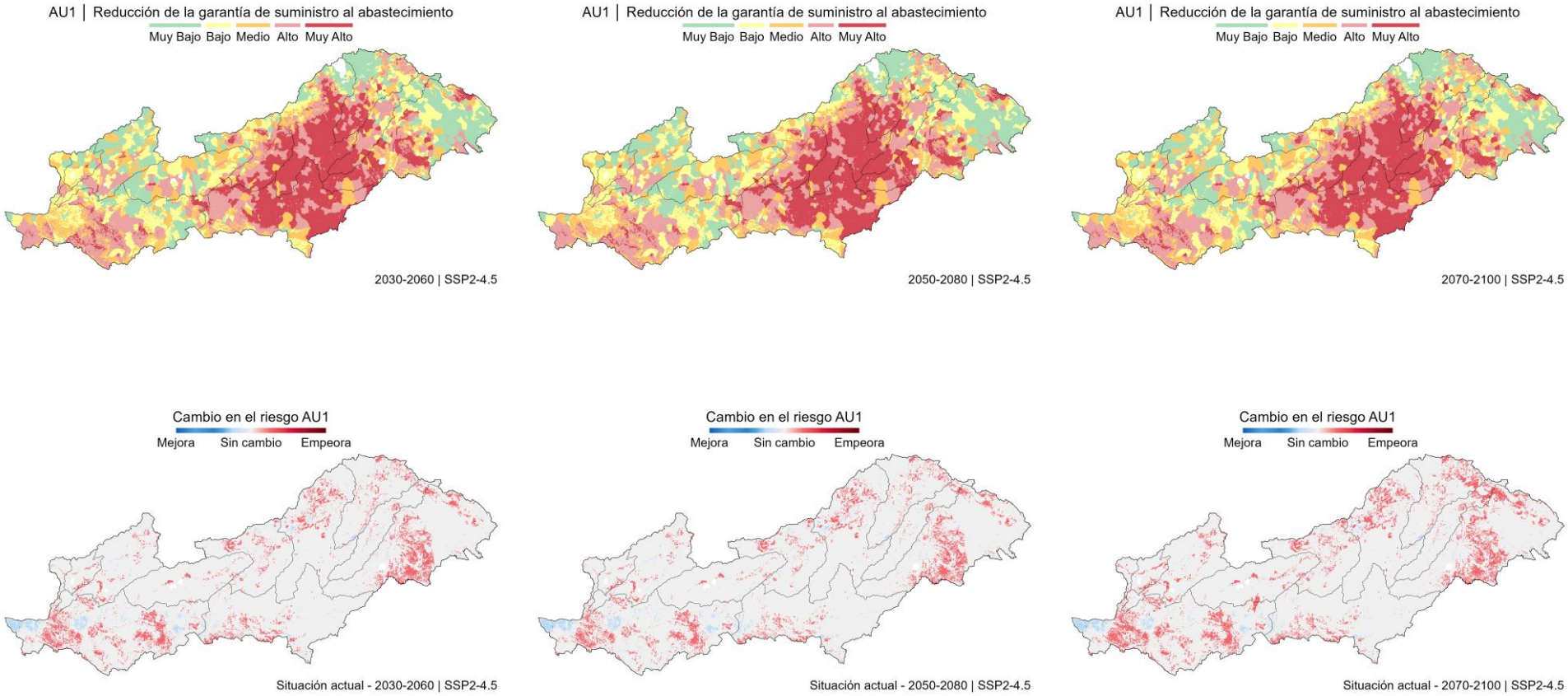


Figura 121. Evaluación del riesgo AU1 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP2-4.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro**, manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.34 AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

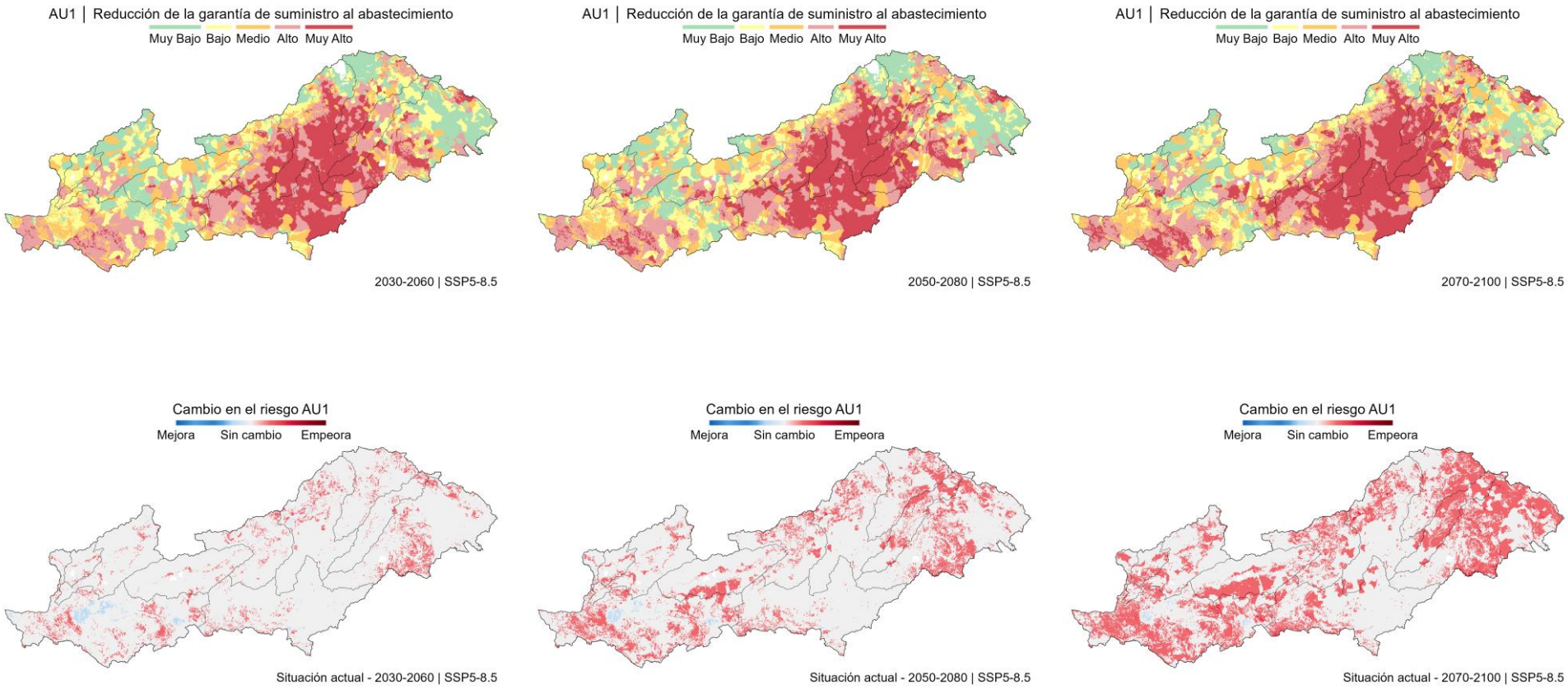


Figura 122. Evaluación del riesgo AU1 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP5-8.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro**, manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.35 AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento - Análisis por sistema de explotación

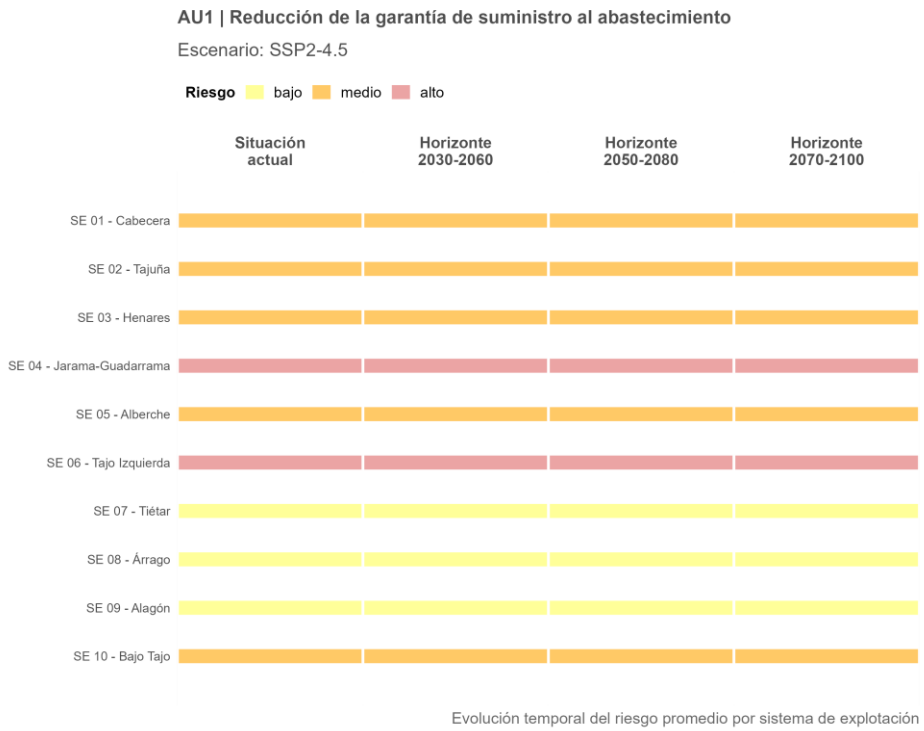


Figura 123. Trayectoria temporal del riesgo AU1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

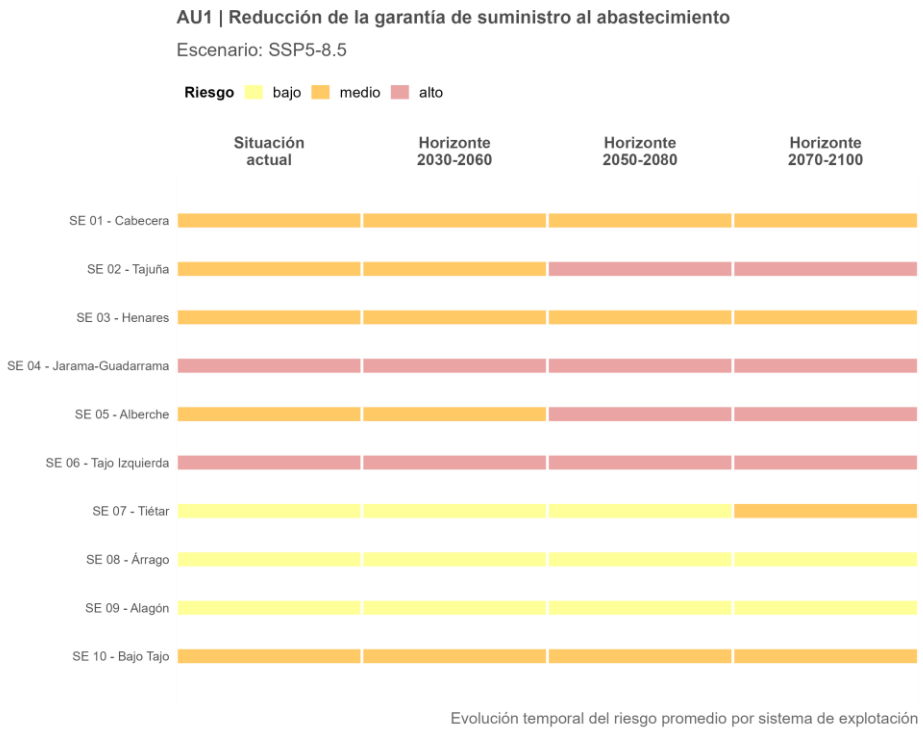


Figura 124. Trayectoria temporal del riesgo AU1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

Estos aspectos se evaluarán con mayor robustez mediante el análisis que se elabore en el plan hidrológico, que contempla específicamente la realización de balances a largo plazo donde se tendrá en cuenta el posible efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos naturales de la demarcación (artículo 21.4 del RPH).

6.36 AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío

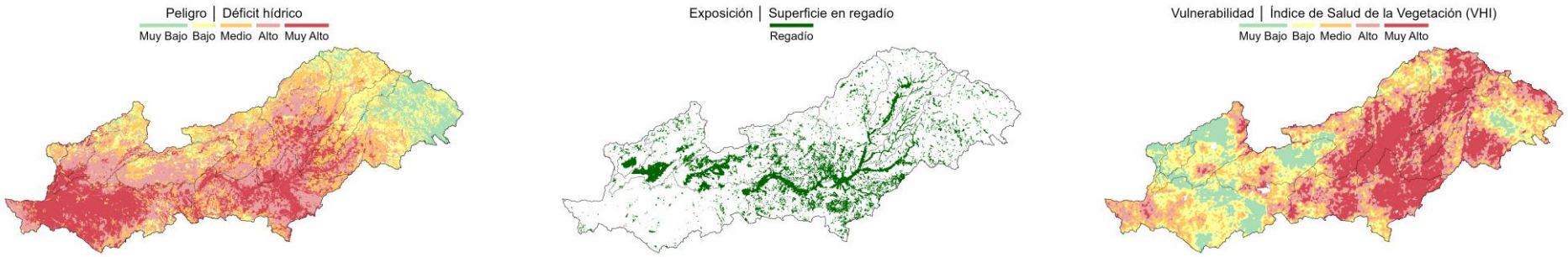


Figura 125. Riesgo AG2. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad

El riesgo de la **reducción de la garantía de suministro del regadío** se ha evaluado mediante:

- **Déficit hídrico [ETP-ETR] (P):** periodo 1980-2023, obtenidos del modelo SIMPA (CEDEX), con resolución espacial de 500 x 500 m.
- **Superficie de regadío (E):** información correspondiente a 2021, procedente del SIAR, con resolución de 10 x 10 m.
- **Índice VHI (V):** indicador de la salud de la vegetación bajo estrés hídrico y térmico, para el periodo 1984-2023, a partir de datos de la FAO, con resolución de 1 km x 1 km.

Todos los datos se han transformado a una malla común y se han reclasificado mediante cuantiles para obtener **cinco categorías comparables** (Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto), **a excepción de la exposición**, que se expresa mediante un **ráster binario**.

Componente	CP	NC					
		Cobertura	Fuente	Resolución	Temporal	Proyección	NC total
Peligro	0.33	0.25	0.25	0.15	0.10	0.25	1.00
Exposición	0.33	0.25	0.25	0.15	0.10	0.25	1.00
Vulnerabilidad[15]	0.33	0.20	0.25	0.10	0.08	0.25	0.88

NC Riesgo actual: 0.960

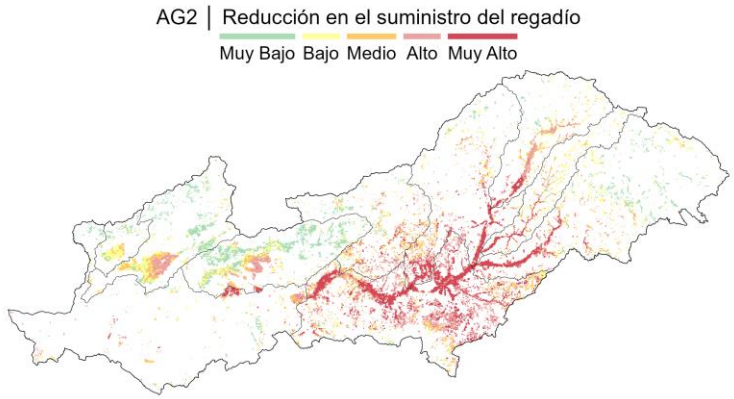


Figura 126. Riesgo AG2: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)

[15] La información presenta algunas celdas sin dato, menor resolución que el de peligro y un periodo de análisis ligeramente distinto.

6.37 AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío - Escenario Intermedio (SSP2-4.5)

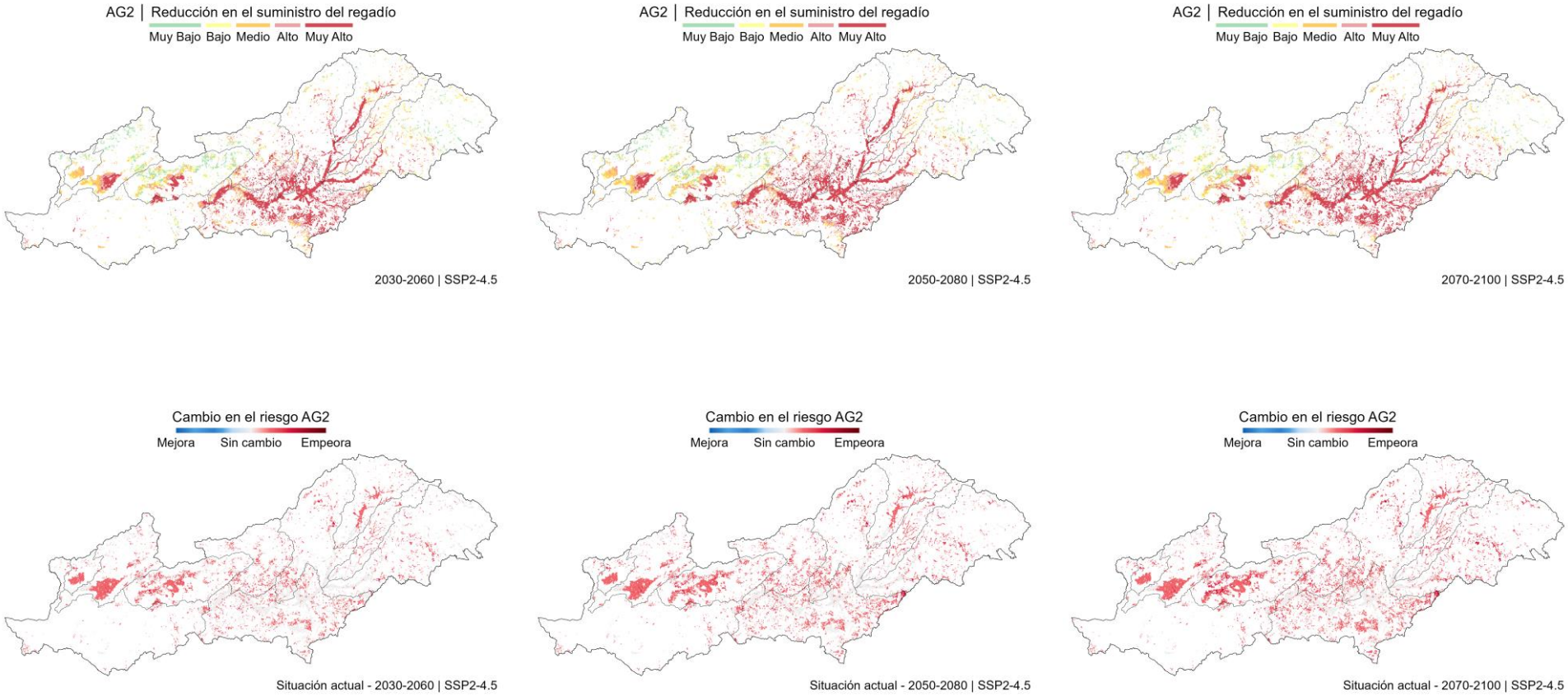


Figura 127. Evaluación del riesgo AG2 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP2-4.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro**, manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.38 AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

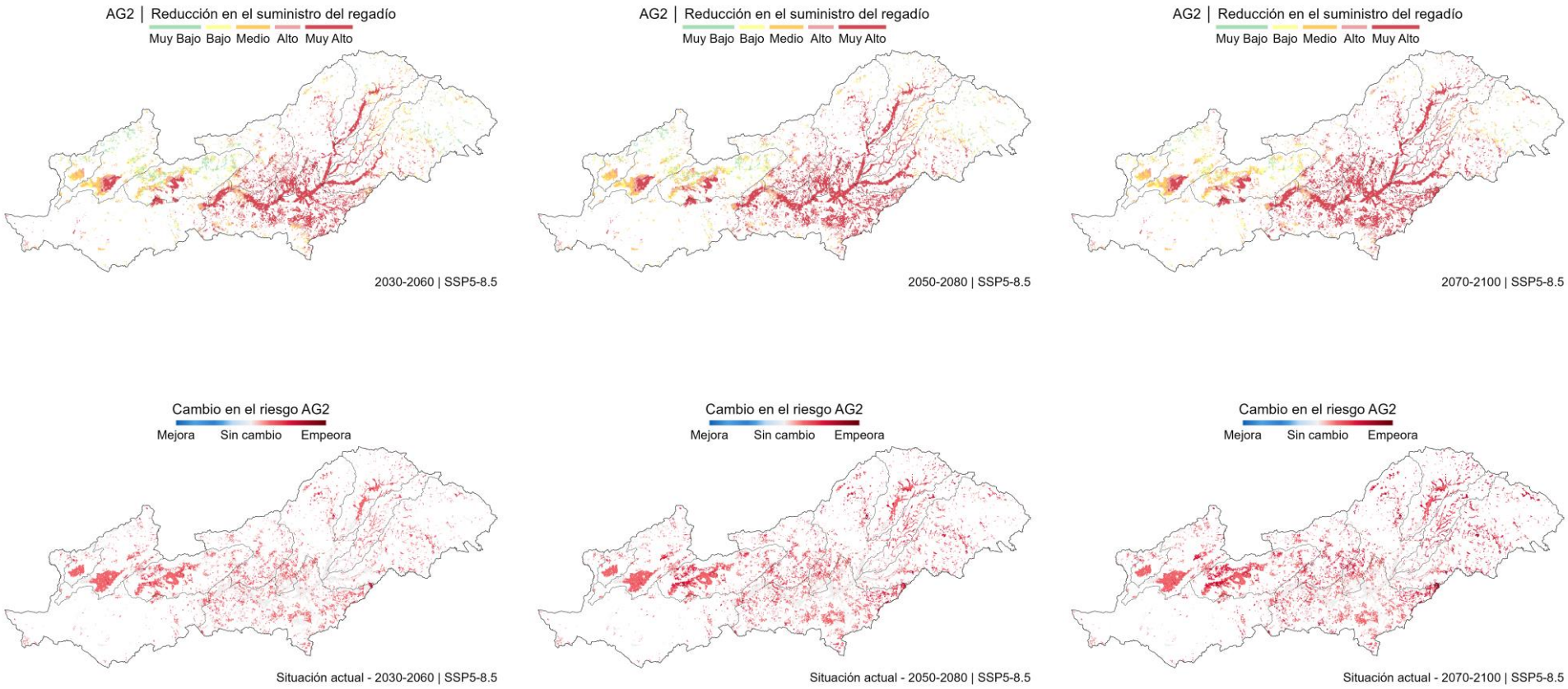


Figura 128. Evaluación del riesgo AG2 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP5-8.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro**, manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.39 AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío - Análisis por sistema de explotación

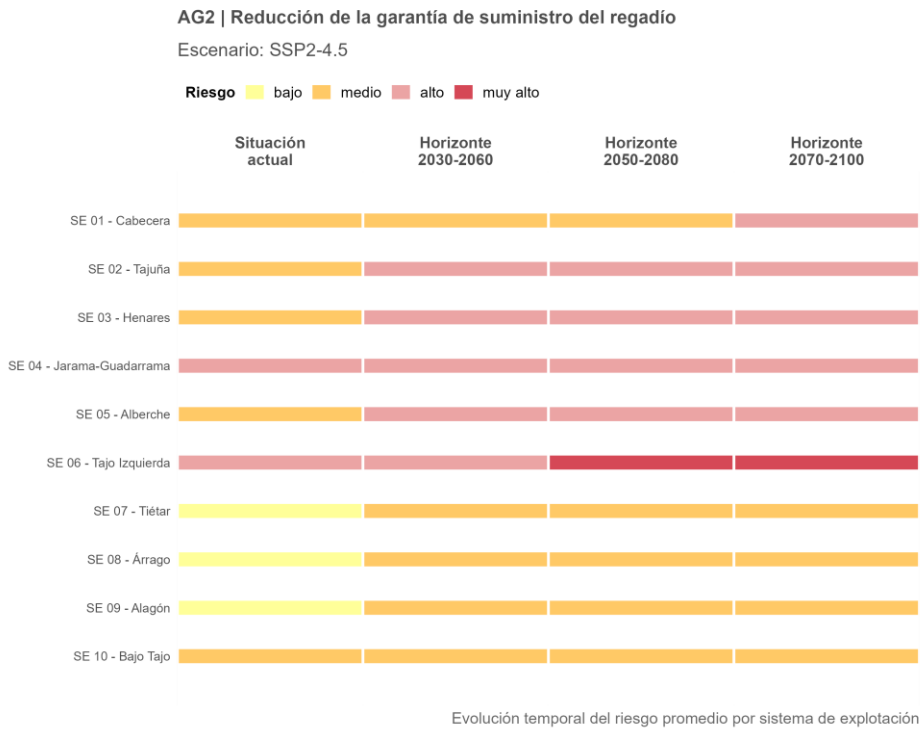


Figura 129. Trayectoria temporal del riesgo AG2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

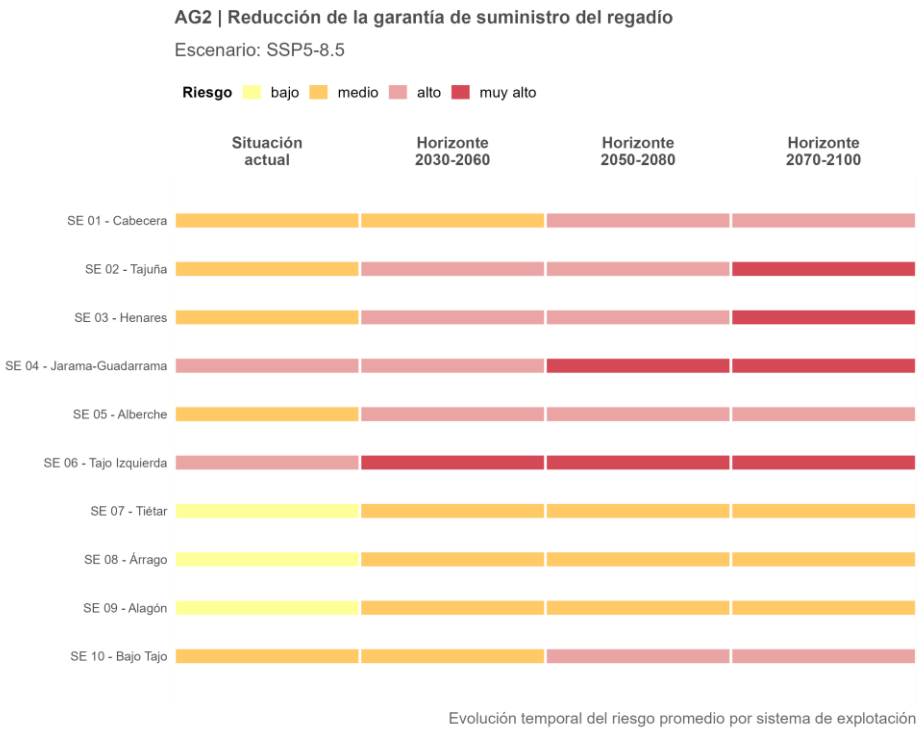


Figura 130. Trayectoria temporal del riesgo AG2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

Estos aspectos se evaluarán con mayor robustez mediante el análisis que se elabore en el plan hidrológico, que contempla específicamente la realización de balances a largo plazo donde se tendrá en cuenta el posible efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos naturales de la demarcación (artículo 21.4 del RPH).

6.40 EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica

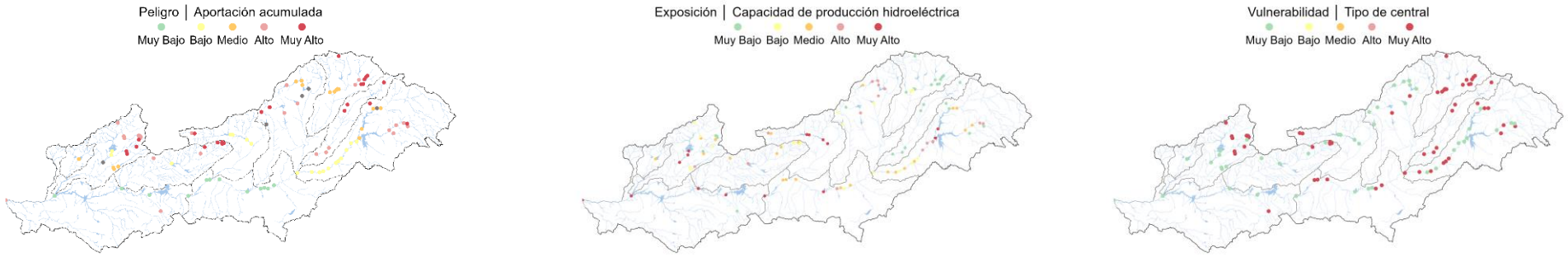


Figura 131. Riesgo EI1. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad

El riesgo de **disminución de la producción hidroeléctrica** se ha evaluado mediante:

- **Aportación acumulada (P):** periodo 1980-2023, obtenidos del modelo SIMPA (CEDEX), con resolución espacial de 500 x 500 m.
- **Capacidad de producción hidroeléctrica (E):** información correspondiente a las centrales hidroeléctricas, procedente del Catálogo de metadatos.
- **Tipo de central (V)[16]:** estimado en función de su vinculación a una presa. Si la central está vinculada a una presa, se considera que es regulada y por tanto se le asigna una vulnerabilidad baja. En caso contrario, se considera que es fluyente y se le asigna una vulnerabilidad alta.

Todos los datos se han transformado a una malla común y se han reclasificado mediante cuantiles para obtener **cinco categorías comparables** (Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto).

Componente	CP	NC					
		Cobertura	Fuente	Resolución	Temporal	Proyección	NC total
Peligro	0.33	0.25	0.25	0.15	0.10	0.25	1.00
Exposición	0.33	0.25	0.25	0.10	0.10	0.25	0.95
Vulnerabilidad	0.33	0.25	0.25	0.10	0.10	0.25	0.95

NC Riesgo actual: 0.967

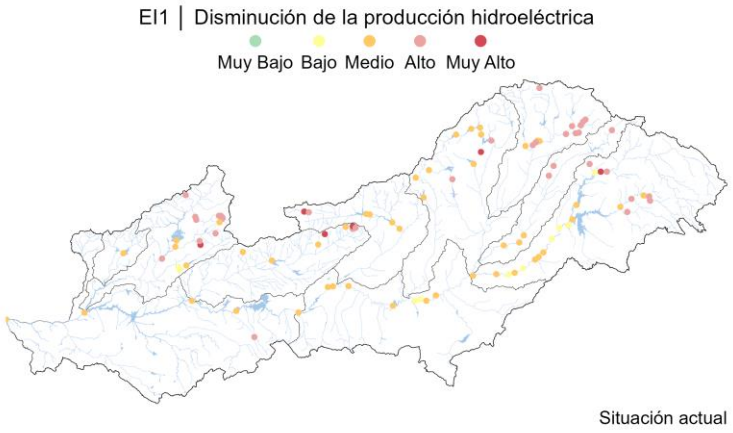


Figura 132. Riesgo EI1: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)

[16] Al carecer de información del tipo de central, se ha realizado un buffer de 500 metros alrededor de las centrales y se ha asociado cada central a la presa con la que intersecta.

6.41 EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica - Escenario intermedio (SSP2-4.5)

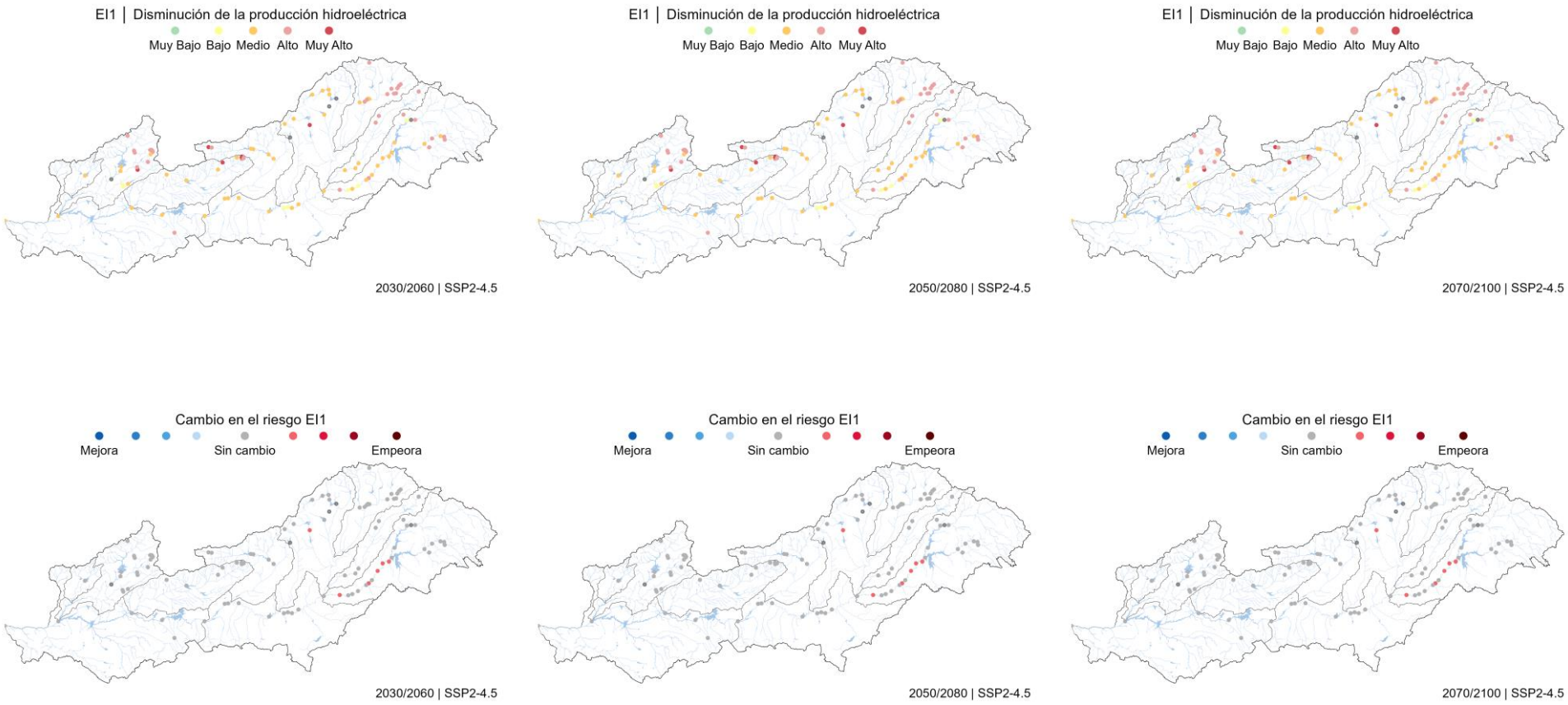


Figura 133. Evaluación del riesgo EI1 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP2-4.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro**, manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.42 EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

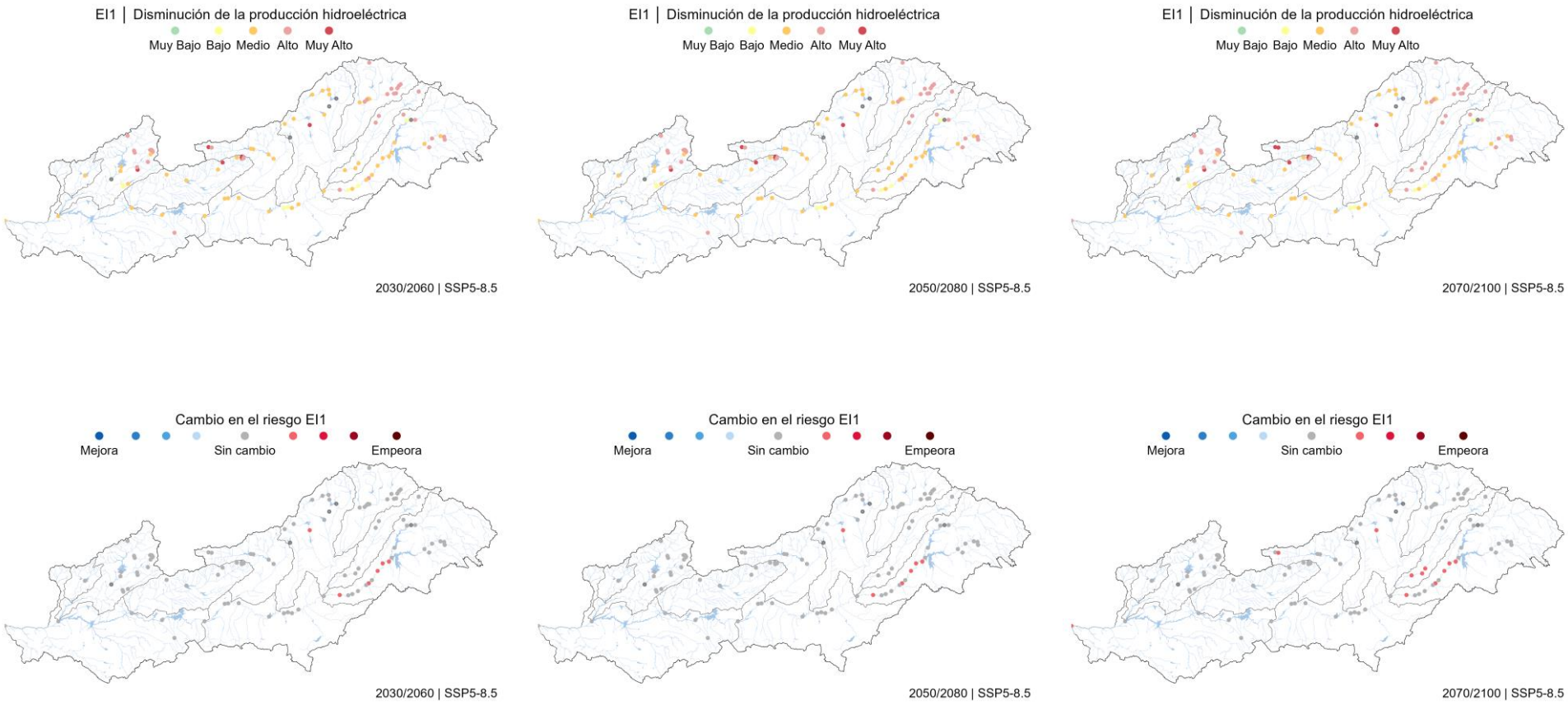


Figura 134. Evaluación del riesgo EI1 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación de escenario de emisiones SSP5-8.5 y cada horizonte temporal, se estima únicamente el **cambio en el peligro**, manteniendo los mismos umbrales de reclasificación que en el periodo actual para asegurar comparabilidad temporal.

6.43 EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica - Análisis por sistema de explotación

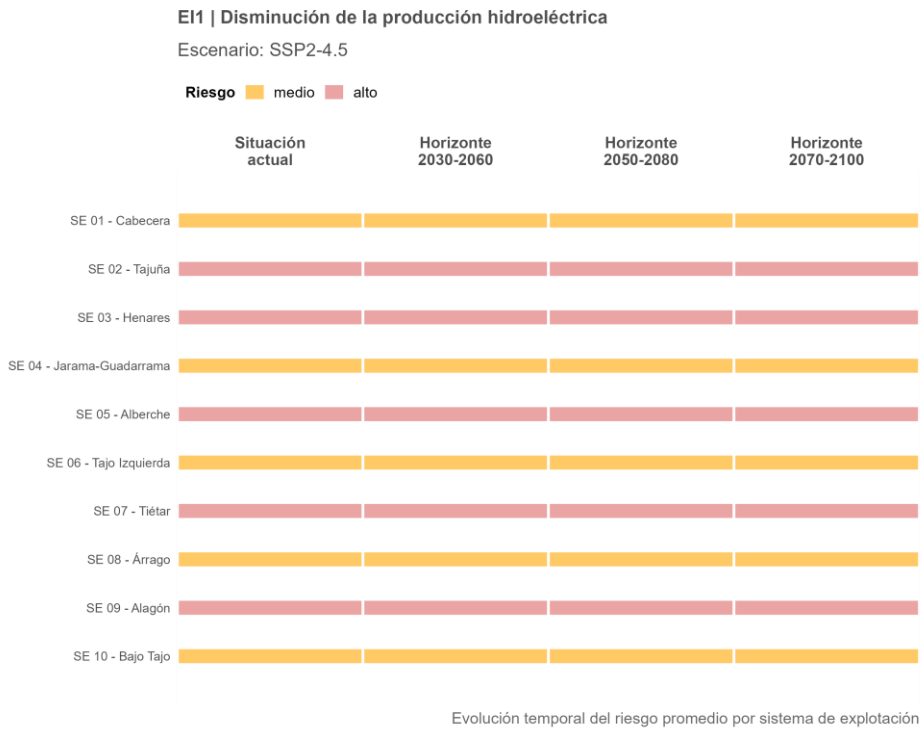


Figura 135. Trayectoria temporal del riesgo EI1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

No se hallan cambios en el riesgo asociado al **escenario intermedio.** Destacan los Sistemas Tajuña, Henares, Alberche, Tiétar y Alagón por encontrarse en nivel alto de riesgo.

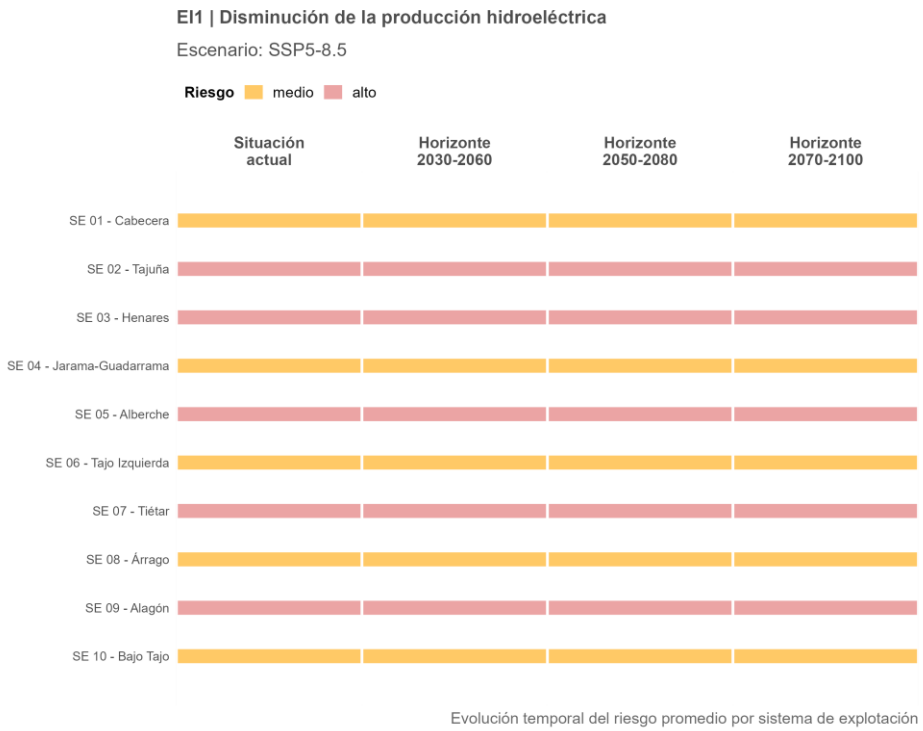


Figura 136. Trayectoria temporal del riesgo EI1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

No se hallan cambios en el riesgo asociado al **escenario de altas emisiones.** Destacan los Sistemas Tajuña, Henares, Alberche, Tiétar y Alagón por encontrarse en nivel alto de riesgo.

7. Medidas de Adaptación

Metodología

Caracterización general de medidas de adaptación
Selección de medidas para caracterización detallada
Integración del EACC en el ciclo de planificación hidrológica

RD – Recursos disponibles y escasez hídrica

RD1. Eficiencia y gestión de la demanda en regadío
RD2. Ajuste de sistemas productivos agrarios al nuevo régimen climático
RD3. Eficiencia y gestión de la demanda en usos urbanos
RD4. Reutilización avanzada del agua depurada
RD6. Gestión sostenible de acuíferos (recarga y explotación conjunta)

FE – Fenómenos extremos y gestión del riesgo

FE1. Soluciones basadas en la naturaleza para retención natural de agua y control de erosión
FE2. Gestión forestal sensible al agua y al riesgo de incendios
FE3. Servicios climáticos y gobernanza adaptativa para sequías e inundaciones
FE4. Diseño urbano sensible al agua y al clima

IT – Temperatura del agua y calidad asociada

IT1. Restauración de bosques de ribera y creación de refugios térmicos
IT2. Gestión de la calidad del agua frente al calentamiento y menor dilución

OT – Otros ejes estratégicos de adaptación

OT1. Seguimiento y gestión adaptativa de la biodiversidad acuática
OT3. Movilización y gestión de sedimentos en embalses y cauces

7.1 Caracterización general de medidas de adaptación

El EACC debe desembocar en propuestas que se incorporen al **Programa de Medidas** (PdM) de los planes hidrológicos, de forma coherente con el resto de los instrumentos de planificación (PES, PGRI, PNACC, estrategias sectoriales. El enfoque metodológico se diseña precisamente para cumplir esa doble exigencia: caracterizar el potencial adaptativo de las medidas y, al mismo tiempo, encajar las medidas propuestas operativamente en el PdM. Como base, se utiliza, por tanto, el catálogo de medidas de PHweb, herramienta corporativa del MITECO para la elaboración de los planes hidrológicos, cuyo módulo de PdM gestiona el alta, edición y seguimiento de las medidas del plan. Las medidas se estructuran en tres niveles jerárquicos:

- **Tipo-clave (nivel 1)**: grandes familias de actuación para abordar las diversas presiones (contaminación puntual, difusa, prevención de inundaciones…)
- **Subtipo-clave (nivel 2)**: bloques más específicos, asociados a una presión o enfoque concreto (p.ej. contaminación por vertidos urbanos, contaminación difusa por agricultura, ordenación territorial, etc).
- **Subtipo IPH (nivel 3)**: tipologías operativas que se emplean para codificar las actuaciones en los planes (construcción de EDAR, códigos de buenas prácticas agrarias, medidas para adaptar el planteamiento urbanístico, etc).

Esta primera valoración se apoya en trabajos previos de la DGA (no publicados), en los que ya se habían clasificado las medidas del catálogo PHweb según distintas líneas de actuación para adaptación y gestión de fenómenos extremos. En el EACC, el ejercicio metodológico se plantea, inicialmente, a nivel de subtipo-clave, evaluando para cada uno de ellos su **potencial adaptativo** en términos del marco IPCC: efecto sobre la exposición; y efecto sobre la vulnerabilidad, diferenciando, cuando sea pertinente, sensibilidad y capacidad adaptativa.

La revisión debe permitir identificar los subtipos con mayor riesgo de **mala adaptación** (p.ej. obras de canalización que desplazan el riesgo de inundación aguas abajo, soluciones que incrementan demanda o dependencia tecnológica). Además de esta revisión inicial cualitativa, puede recomendarse el apoyo en herramientas de autoevaluación: por ejemplo, la self-assessment tool for maladaptation (proyecto Regilience) que proporciona una batería de preguntas sobre impactos indirectos, efectos de bloqueo y distribución social de las cargas.

Para aprovechar el acervo europeo, se establece una correspondencia sistemática entre cada subtipo-clave y las **opciones de adaptación** de Climate-ADAPT. La plataforma caracteriza las opciones mediante: sector, peligros climáticos relevantes, funciones de adaptación (evitar, resistir, recuperar, transformar), cobeneficios, barreras, costes y ejemplos de casos de estudio. Este mapeo permite enriquecer cada subtipo con evidencias de eficacia, condiciones de éxito y ejemplos transferibles, y detectar, a la vez, lagunas: tipos de solución ampliamente reconocidos a nivel europeo que hoy no están bien representados en PHweb (p.ej. diseño urbano, determinadas soluciones basadas en la naturaleza, servicios climáticos avanzados, o gestión forestal).

Además de Climate-ADAPT, se exploran **otras fuentes** para identificar medidas no recogidas explícitamente en PHweb y para la caracterización del potencial adaptativo: la Guía OECC 2025 para demarcaciones, los documentos del ERICC (riesgos climáticos y cadenas de impacto), los trabajos de biodiversidad y cambio climático de MITECO (medidas para especies y hábitats vulnerables), y otras iniciativas relevantes en materia de incendios, gestión forestal, humedales costeros o gestión de sedimentos.

Con todo ello se construye una propuesta de **nuevas medidas** de adaptación (y algunas de mitigación) para su posible integración en el catálogo PHweb.

7.2 Selección de medidas para caracterización detallada

Sobre la base del análisis anterior, se ha planteado la construcción de un "paquete" de medidas robusto frente a los principales riesgos climáticos identificados. Los puntos de partida son: i) la lista de impactos potenciales determinada en la sección 4.6, con foco en los caracterizados como clave en la sección 4.7; ii) las familias de riesgo del art.4 bis del RPH (variación de regímenes hidrológicos y recursos de acuíferos, fenómenos extremos de inundación y sequía, aumento de temperatura del agua, ascenso del nivel del mar); y iii) el trabajo de correspondencia PHweb–Climate-ADAPT y las nuevas medidas propuestas (sección 7.2). Se han aplicado un proceso multicriterio no-formal (juicio experto) basado en seis bloques de criterios de selección:

- **Cobertura de riesgos prioritarios**. Se seleccionan medidas que contribuyen de forma clara a reducir el riesgo (reducción de la exposición o sensibilidad, o aumento de la capacidad adaptativa) derivado de los impactos potenciales clave. Se valora especialmente la capacidad de cada medida para abordar varios riesgos a la vez (enfoque multirriesgo).
- **Consistencia estratégica**. Las medidas deben ser coherentes con las OEACC, el PNACC y los marcos e instrumentos normativos vigentes, y construir sobre el PdM vigente, evitando duplicidades y solapamientos. Se priorizan aquellas que refuerzan líneas ya abiertas (restauración fluvial, gestión de demanda, etc.) aportando explícitamente el enfoque adaptativo.
- **Eficacia esperada**. Con la evidencia disponible (Climate-ADAPT, Guías OECC, ERICC, experiencias nacionales), se valora de forma cualitativa cuánto reduce la medida el riesgo, tanto por disminución de exposición (p.ej. ordenar usos en zonas inundables) como por reducción de vulnerabilidad (mejor estado de masas, diversificación de fuentes, aumento de resiliencia ecológica). Se pondera la robustez frente a distintos escenarios climáticos.
- **Eficiencia y cobeneficios**. Siempre que es posible, se consideran información económica existente o valoraciones cualitativas y los cobeneficios ambientales y sociales: biodiversidad, clima, ocio, salud, cohesión territorial. Se priorizan medidas *no regret*[17] o *low regret*.
- **Viabilidad técnica y administrativa**. Se ponderan el grado de madurez técnica, experiencias previas, necesidad de innovación y la compatibilidad con el marco de competencias y procedimientos (PES, PGRI, planes sectoriales, autorizaciones, etc.). Se descartan o relegan a un segundo plano las medidas cuya implementación requeriría cambios normativos de gran calado o estructuras de gobernanza aún inmaduras.
- **Aceptación social, ambiental y riesgo de mala adaptación**. Se revisa la posible aceptación por parte de actores clave (usuarios del agua, administraciones, sectores económicos, ONG) y se evalúan riesgos de mala adaptación (desplazamiento del riesgo, creación de nuevas dependencias, inequidades territoriales o sociales), apoyándose en la lógica de la herramienta REGILIENCE y en la experiencia reciente en DMA, PES y PGRI.

Aplicando estos criterios al conjunto de tipos / subtipos PHweb con potencial adaptativo y a las nuevas medidas identificadas (restauración de riberas para sombreado, SbN de retención, gestión forestal sensible al agua, servicios climáticosgestión de humedales costeros, sedimentos, etc.), se llega a un paquete final de 16 medidas "destacadas", organizadas en cinco grupos: **RD – Recursos disponibles y escasez hídrica, FE – Fenómenos extremos**, **IT – Temperatura del agua**, **OT – Otros ejes estratégicos de adaptación**.

Cada una de estas medidas se desarrolla posteriormente en una ficha detallada, con una estructura homogénea (correspondencia PHweb y Climate-ADAPT, descripción y efectos sobre exposición y vulnerabilidad, peligros y riesgos abordados, claves de éxito, cautelas y localización preferente), que facilita su posterior traslación al PdM del cuarto ciclo.

[17] Se entiende por medidas *no regret* (literalmente, sin arrepentimiento) aquellas que son beneficiosas incluso aunque los impactos del cambio climático fueran menores de lo esperado.

7.3 RD1. Eficiencia y gestión de la demanda en regadío

Estación agrometeorológica. Fuente: MAPA

Medida PHweb	03.01.xx. Mejora de la eficiencia en el uso del agua (agricultura): modernización de regadíos
Opciones de adaptación	Mejora de la eficiencia del riego Agricultura de precisión
Peligros climáticos que se abordan	P1 (↓ precipitación media) · P3 (sequías más largas / frecuentes) T2 (↑ demanda evaporativa / ET0) H1 (↓ caudales / aportaciones medias)
Impactos potenciales que se abordan	AG2; AG1 (indirectamente, si se reduce presión en el sistema global; ECS9 (menores pérdidas agrarias ante déficits); SW7 / GW3 (vía reducción de sobreexplotación y retornos contaminantes); EI1 (indirecto: menor presión global sobre recursos escasos puede aliviar restricciones de otros usos)

Descripción sintética	Medidas tecnológicas y de gestión para reducir el consumo de agua por unidad de producción agrícola. Incluye modernización de riego (goteo, aspersión eficiente), mejora de redes internas y equipos, automatización, telecontrol y telegestión, y programación basada en DSS, sensores de humedad y asesoramiento al regante. Incorpora medición y control volumétrico (contadores/telelectura) y seguimiento de consumos, así como mejora de la distribución intra-comunidad y apoyo a la planificación del riego por cultivo y parcela. Puede aportar cobeneficios en reducción de retornos contaminantes (nutrientes) cuando se integra con manejo y fertirrigación de precisión.	Efectos esperados en adaptación Exposición	↓ derivaciones / extracciones para mantener producción agraria → ↓ "exposición efectiva" de bienes agrícolas, infraestructuras hidráulicas y actividades económicas dependientes del recurso frente a sequías / escasez.
Claves del éxito	Alinear la modernización con un objetivo verificable de ahorro real (no solo eficiencia "en parcela"), integrando tecnología y gestión: telecontrol, programación y asesoramiento, reglas de reparto coherentes. Acompañar con capacitación y soporte a comunidades de regantes (operación, datos, mantenimiento) y con financiación / incentivos bien diseñados. Medir resultados con indicadores simples (consumo, retornos, productividad del agua) y revisarlos periódicamente para corregir desvíos.	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Menor consumo por unidad de producción y mejor control del riego → cultivos y bienes agrarios menos sensibles a déficits de aportación y a restricciones en sequía.
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Evitar el "efecto rebote": la eficiencia no debe convertirse en expansión de superficie o intensificación; condicionados normativos aplicables a concesiones / dotaciones, indicadores y sistemas de medición. Considerar el binomio agua–energía (bombas, presión, costes) y su coherencia climática. Garantizar compatibilidad con requisitos de la DMA (estado, caudales ecológicos, masas vulnerables) y con la reducción de presiones difusas cuando aplique (fertilización y retornos). Aplicar cautela en regadíos tradicionales con retornos aprovechados aguas abajo (azarbes) o acequias con valor ambiental.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Más margen de maniobra en sequía: gestión más fina de dotaciones / turnos, ajustes de demanda y de prácticas / cultivos con el mismo volumen disponible.
Localización preferente	• Zonas regables con estrés hídrico recurrente y alta variabilidad interanual. • Sistemas con modernización pendiente (baja eficiencia global / limitaciones de control y medición) • Regadíos que presionan masas en mal estado (superficiales o subterráneas) y requieren ganar margen operativo.		
Fuentes para ampliar información	https: / / www.miteco.gob.es / es / agua / temas / gestion-sostenible-de-regadios.html https: / / www.mapa.gob.es / es / desarrollo-rural / temas / gestion-sostenible-regadios / regadio-espanya https: / / planderecuperacion.gob.es / etiquetas / Regad%C3%ADos https: / / agriculture.ec.europa.eu / cap-my-country / sustainability / environmental-sustainability / natural-resources / water_en		

7.4 RD2. Ajuste de sistemas productivos agrarios al nuevo régimen climático

La fenología del olivar susceptible al cambio de régimen térmico. Fuente: MAPA

Medida PHweb	Sin correspondencia específica [07.01.08. Medidas de adaptación al cambio climático] *cuando se traduzca en reducción verificable de demanda/consumo, puede vincularse también a subtipos agrarios existentes del bloque de eficiencia/gestión de la demanda, sin identificarla como "modernización" de regadíos*
Opciones de adaptación	Uso de cultivos y variedades adaptadas Agroforestería y diversificación Agricultura de conservación
Peligros climáticos que se abordan	P1 (↓ precipitación media) · P3 (sequías más largas / frecuentes) · T2 (↑ demanda evaporativa / ET0) · H1 (↓ caudales / aportaciones medias). Ocasionalmente, cambios estacionales que alteran ventanas fenológicas (por ejemplo, afección a los periodos de floración) y periodos críticos de riego.
Impactos potenciales que se abordan	AG2 (↓ garantía de suministro del regadío) · AG1 (↑ estrés hídrico en secano) · ECS9 (daños sistémicos por sequía prolongada). Indirectamente: SW7 / GW3 (↓ presión global sobre masas y recursos, si se reduce consumo neto y extracción).

Descripción sintética	Medidas de reconversión y ajuste agronómico orientadas a adecuar los sistemas productivos (regadío, pero también secano, y modelos ganaderos o agro-silvo-pastoriles) al nuevo régimen climático, mediante adelanto o ajuste de calendarios, cambios de cultivos / variedades hacia opciones de menor consumo efectivo de agua y mayor resiliencia, y desplazamientos / redistribución de determinados cultivos para aproximarlos a su óptimo fenológico bajo condiciones más cálidas y secas. Complementa la gestión de dotaciones y la eficiencia "en parcela" evitando efectos no deseados de intensificación.	Efectos esperados en adaptación Exposición	↓ extracciones netas asociadas a la producción agraria (por menor consumo efectivo y ajuste de demanda en periodos críticos) → ↓ exposición efectiva de la actividad agraria y del sistema de explotación a sequías prolongadas y escasez.
Claves del éxito	Basar decisiones en diagnóstico agroclimático (ET0, fenología, escenarios) y en seguimiento de consumos. Alinear cambios productivos con reglas de asignación y dotaciones, evitando incentivos a intensificación no controlada. Acompañar con asesoramiento técnico continuado y herramientas DSS / agrometeorología. Incentivos y financiación coherentes con objetivos de adaptación.	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Sistemas productivos menos sensibles a déficits hídricos y olas de calor al reducir el peso de cultivos de alta demanda, anticipar ciclos y disminuir necesidades en fases críticas → menor probabilidad de pérdidas severas ante restricciones.
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Riesgo de mala adaptación si el cambio promueve la apetencia por cultivos o modelos agrarios de mayor consumo de agua. Conviene vincular la mejora global a límites y objetivos ambientales. Condicionantes de mercado, PAC, restricciones fitosanitarias, y compatibilidad con objetivos DMA / estado de masas. Requiere coordinación con planificación agraria, comunidades de regantes y gestión de sequías.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Flexibilidad operativa (más combinaciones cultivo–calendario–variedad–ubicación) y más opciones para "ajustar" la demanda agraria a la disponibilidad real en sequía, reforzando la capacidad de respuesta escalonada.
Localización preferente	• Zonas regables con estrés hídrico recurrente y alta variabilidad interanual. • Áreas donde aumente la aridez y la demanda evaporativa y se intensifiquen restricciones. • Sistemas con margen para reconversión (rotaciones, variedades tempranas, redistribución espacial de cultivos perennes como el olivar).		
Fuentes para ampliar información	https: / / www.prtr.miteco.gob.es / es / perte / perte-digitalizacion-ciclo-agua.html https: / / environment.ec.europa.eu / topics / water / drinking-water_en https: / / www.eea.europa.eu / en / analysis / publications / water-savings-for-a-water-resilient-europe		

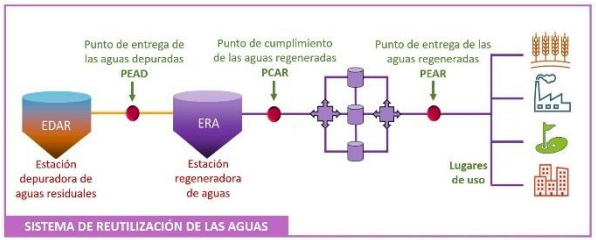
7.5 RD3. Eficiencia y gestión de la demanda en usos urbanos

Ilustración de portada del informe «Water savings for a water resilient Europe». Fuente: EEA

Medida PHweb	03.02.xx. Mejora de la eficiencia en el uso del agua (urbano)
Opciones de adaptación	Diseño urbano y de edificios sensibles al agua
Peligros climáticos que se abordan	P1 (↓ precipitación media) P3 (sequías más largas / frecuentes) H1 (↓ aportaciones a fuentes de abastecimiento) T1 (↑ temperatura / olas de calor)
Impactos potenciales que se abordan	AU1; ECS9 (menores impactos económicos y sociales); SW7 (menor presión de captaciones, posibilidad de mantener caudales ecológicos); GW3 (reducción de sobreexplotación para abastecimiento); EI1 (indirecto: menor competencia entre usos ante recursos limitados)

Descripción sintética	Conjunto de medidas técnicas y de gestión para disminuir consumos en abastecimientos urbanos e industrias conectadas a redes públicas. Incluye reducción de fugas (sectorización, telelectura, control de presiones, renovación de redes), contadores individuales e inteligentes, gestión comercial orientada al ahorro (tarificación, campañas), y equipos y aparatos eficientes en edificios. En industria, incorpora optimización de procesos, recirculación interna y sustitución de tecnologías de mayor consumo. Puede integrarse en planes municipales e industriales de eficiencia hídrica.	Efectos esperados en adaptación Exposición	↓ captaciones / derivaciones para atender la misma población / producción → ↓ exposición de población, capital construido / servicios urbanos e infraestructuras críticas dependientes del abastecimiento.
Claves del éxito	Priorizar un plan de reducción de pérdidas y optimización de demanda con medidas escalonadas: sectorización, telelectura, renovación dirigida, control de presiones y gestión comercial orientada al ahorro. Complementar con estándares de eficiencia en edificios / equipos y acuerdos con industria para recirculación y reducción del consumo unitario. Definir metas anuales (p. ej.consumo per cápita, consumo por producto) y un sistema de seguimiento y rendición de cuentas.	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Menor consumo unitario + menos pérdidas → abastecimientos / industria menos sensibles a episodios de escasez (más margen operativo antes de cortes o restricciones.
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Cuidar efectos secundarios: reducción de caudales en redes puede aumentar problemas de calidad (estancamientos); exige ajustes operativos. La tarificación / medidas comerciales deben incorporar criterios de equidad y protección de usos esenciales. En industria, asegurar cumplimiento sectorial y permisos (vertidos, recirculación) sin trasladar el problema a calidad del agua. Integrar en planes de sequía / abastecimiento con reglas claras de activación y comunicación pública.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Aumenta opciones de respuesta escalonada: campañas, control de fugas, modulación de consumos y gestión comercial / industrial más granular ante escasez.
Localización preferente	• Abastecimientos con pérdidas elevadas o infraestructuras envejecidas (prioridad a reducción de fugas). • Municipios con picos estacionales (turismo) o crecimiento rápido de demanda. • Áreas urbanas con alto consumo específico por servicios o industrias, o dependencia de recursos vulnerables.		
Fuentes para ampliar información	https: / / www.prtr.miteco.gob.es / es / perte / perte-digitalizacion-ciclo-agua.html https: / / environment.ec.europa.eu / topics / water / drinking-water_en https: / / www.eea.europa.eu / en / analysis / publications / water-savings-for-a-water-resilient-europe		

7.6 RD4. Reutilización avanzada del agua depurada



Esquema del sistema de reutilización. Fuente: MITECO

Medida PHweb	12.02.xx. Incremento de recursos no convencionales: Reutilización
Opciones de adaptación	Reutilización de agua
Peligros climáticos que se abordan	P3 (sequías / escasez de aportaciones) H1 (↓ caudales / aportaciones medias) T1 (↑ temperatura / olas de calor: ↑ demanda y estrés de calidad)
Impactos potenciales que se abordan	AU1 (si la reutilización libera recursos de origen convencional); AG2 (riegos con agua regenerada ambientalmente sostenibles); ECS9; SW7 (por menor vertido de nutrientes / metales / microcontaminantes); GW3 (cuando la reutilización se combina con recarga gestionada); ECS2; ECS5 (cuando se orienta parte de la reutilización a humedales, caudales de apoyo o recarga ecológica).

Descripción sintética	Actuaciones para aprovechar aguas residuales depuradas como recurso, elevando su tratamiento y organizando su distribución para distintos usos. Incluye tratamientos terciarios y avanzados según destino (filtración, desinfección, eliminación de nutrientes y, cuando proceda, microcontaminantes), almacenamiento y redes específicas. Contempla usos productivos autorizados (riegos, zonas verdes, usos industriales y urbanos no potables) y usos hidro-ecológicos como recarga gestionada de acuíferos, apoyo a caudales en estiaje y alimentación de humedales artificiales o restaurados.	Efectos esperados en adaptación	
		Exposición	Sustitución de captaciones por recurso regenerado → ↓ exposición de población, actividades económicas e infraestructuras al déficit de recurso (si desplaza extracciones existentes).
Claves del éxito	Planificar la reutilización como sustitución explícita de captaciones (no como "recurso extra" para crecer), priorizando usos compatibles y estables y diseños robustos de tratamiento y distribución. Seleccionar calidades y controles según el marco europeo y nacional (requisitos mínimos, gestión del riesgo). Favorecer, cuando proceda, usos hidro-ecológicos (recarga, caudales de apoyo, humedales) integrados en la gestión ordinaria y con seguimiento ambiental.	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Fuente "no dependiente" de aportaciones inmediatas (si hay saneamiento) → el sistema reduce su sensibilidad a sequías y a caídas de recursos convencionales, especialmente en entornos periurbanos / costeros.
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Evitar impactos por detraer retornos / vertidos que hoy sostienen la garantía de usuarios aguas abajo del punto de vertido (balance hídrico y efectos ecológicos). Gestionar riesgos sanitarios y de contaminantes emergentes con enfoque de riesgo, control operativo y transparencia. Cuidar la coherencia climática (energía adicional) y los costes de operación / mantenimiento. No usar la reutilización para consolidar nuevas demandas en sistemas ya tensionados sin un marco de límites, sustituciones y objetivos ambientales verificables.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Diversifica el mix de recursos y permite combinaciones flexibles entre fuentes convencionales y regeneradas según situación hidrológica.
Localización preferente	• Aglomeraciones con EDAR y demanda cercana y estable (agraria, urbana no potable, industrial). • Sistemas deficitarios donde la reutilización sustituye captaciones o descarga presión sobre masas vulnerables. • Entornos costeros / periurbanos con interés en recarga gestionada o apoyo ambiental en estiaje (según viabilidad).		
Fuentes para ampliar información	https: / / www.miteco.gob.es / es / agua / temas / concesiones-y-autorizaciones / reutilizacion-aguas-depuradas.html https: / / environment.ec.europa.eu / topics / water / water-reuse_en https: / / joint-research-centre.ec.europa.eu / projects-and-activities / water-reuse_en		

7.7 RD6. Gestión sostenible de acuíferos (recarga y explotación conjunta)

Esquema del Plan de Acción de Aguas Subterráneas. Fuente: MITECO

Medida PHweb	12.00.00. Incremento de recursos disponibles [la explotación conjunta resulta de la combinación de múltiples medidas bajo el epígrafe] / 12.01.07. Incremento de los recursos disponibles mediante recarga artificial de acuíferos 07.01.xx. Medidas para mitigar impactos por extracción.
Opciones de adaptación	Adaptación de la gestión de las aguas subterráneas
Peligros climáticos que se abordan	P3 (sequías / menor recarga efectiva) H2 (↓ niveles piezométricos) T2 (↑ demanda evaporativa / ET0) M1 (↑ nivel medio del mar: intrusión salina, si acuífero litoral).
Impactos potenciales que se abordan	GW3; SW7 (cuando las extracciones subterráneas afectan a caudales base); ECS9; AG2; AU1 (mejora de la seguridad en sistemas que dependen de aguas subterráneas); ECS8 (indirecto: la opción de laminar y almacenar en acuíferos puede aliviar presión sobre algunos embalses); ECS11 (combinado con recarga y control de extracciones)

Descripción sintética	Conjunto de medidas para proteger y utilizar sosteniblemente los acuíferos, incorporándolos como almacenamiento estratégico. Incluye recarga gestionada (Managed Aquifer Recharge, MAR) con excedentes superficiales, selección de emplazamientos y obras asociadas, y control y ordenación de extracciones (inventario de captaciones, regularización, cierre de ilegales, regímenes de explotación). Contempla explotación conjunta de embalses, acuíferos y otras fuentes, como operación coordinada orientada a resiliencia (no a maximizar el uso), definiendo reglas de operación y seguimiento piezométrico y de calidad.	Efectos esperados en adaptación Exposición	↓ presión neta sobre acuíferos y fuentes superficiales (reglas de extracción / recarga) → ↓ exposición de población, infraestructuras y actividades económicas dependientes del recurso; en litoral, también frente a intrusión salina.
Claves del éxito	Basarse en un conocimiento hidrogeológico suficiente (balances, modelos, relaciones río–acuífero) para diseñar recarga y reglas de explotación conjunta sin comprometer el buen estado. Integrar MAR y uso conjunto en la planificación y gestión de aguas subterráneas e hidrológica (perímetros, asignaciones, coordinación con caudales ecológicos). Coordinar con el resto de medidas para no enmascarar sobreexplotaciones crónicas, asegurando capacidad real de control (medición/telemetría).	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Mayor “almacenamiento útil” y mejor condición cuantitativa / química → sistemas dependientes de subterráneas menos sensibles a sequías (más capacidad de amortiguación y, en litoral, a salinización progresiva.
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Exigir calidad adecuada del agua de recarga y evaluación de riesgos (químicos / microbiológicos), evitando introducir sales o contaminantes emergentes. Ausencia de afección a caudales ecológicos ni alteran humedales dependientes. Evitar mala adaptación: articular título único habilitante (no doble uso) y límites verificables de extracción.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Incrementa flexibilidad temporal: extraer más en sequía, recuperar en años húmedos, y coordinar superficie–subsuelo con reglas de operación y seguimiento.
Localización preferente	• Masas subterráneas con riesgo de sobreexplotación o intrusión salina (prioridad a control / ordenación). • Sistemas donde el acuífero puede actuar como almacén estratégico (sequías prolongadas, alta variabilidad). • Áreas con disponibilidad ocasional de recursos para recarga gestionada (excedentes, regenerada apta, etc.).		
Fuentes para ampliar información	https: / / www.miteco.gob.es / es / agua / temas / estado-y-calidad-de-las-aguas / aguas-subterraneas / plan-accion-aguas-subterraneas.html https: / / environment.ec.europa.eu / topics / water / groundwater_en https: / / dinamar.tragsa.es /		

7.8 FE1. Soluciones basadas en la naturaleza para retención natural de agua y control de erosión

Tratamiento silvícola en recuperación del cauce del río Manzanares. Fuente: CH Tajo

Medida PHweb	14.01.01. Medidas en la cuenca: restauración hidrológico-forestal y ordenaciones agrohidrológicas, incluyendo medidas de retención natural del agua 04.02.xx. Morfológicas: mejora de la estructura del lecho y de las riberas y orillas (RW / LW) 02.03.01. Restauración hidrológico forestal 13.01.xx. Ordenación territorial y urbanismo
Opciones de adaptación	Mejora de la capacidad de retención de agua en el paisaje agrícola Diseño urbano y de edificios sensibles al agua
Peligros climáticos que se abordan	P4 (lluvias intensas / avenidas e inundación pluvial-fluvial) P3 (sequías) H1 (↓ caudales / estiajes: mayor valor de retención / infiltración)
Impactos potenciales que se abordan	ECS10; ECS9 (mejor retención en suelo y acuíferos); AG9 ; AG1 (mejora humedad del suelo); ECS8 (↓ erosión y transporte sólido); SW7 / GW3 (↓ contaminación difusa, mejora hidromorfología); ECS5 / ECS2 (restauración y conectividad)

Descripción sintética	Conjunto de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) multifuncionales que incrementan la retención e infiltración del agua y reducen erosión y escorrentía, aportando cobeneficios al buen estado de las masas de agua y a la gestión del riesgo de inundación y sequía. Incluye restauración y reconexión de llanuras de inundación, humedales, depresiones naturales y zonas de recarga; actuaciones en cuencas altas; y medidas agrarias y forestales como franjas de vegetación, setos, cubiertas vegetalesy manejo conservacionista del suelo. Puede incorporar restauración fluvial y actuaciones de mejora de suelos para aumentar su capacidad de almacenamiento hídrico.	Efectos esperados en adaptación	
		Exposición	Liberar / reconfigurar espacio fluvial y laminar avenidas → ↓ exposición de población, bienes e infraestructuras críticas localizadas en zonas inundables (incl. actividad agraria y urbana próxima a cauces / ramblas).
Claves del éxito	Diseñar medidas de retención natural del agua a escala de cuenca combinando cabeceras, llanuras de inundación y áreas agrarias / forestales, e integrarlas en PGRI, planes hidrológicos y PAC. Seleccionar paquetes multifuncionales (inundación + sequía + calidad + biodiversidad) y priorizar proyectos con cobeneficios claros. Involucrar desde el inicio a propietarios y usuarios (agricultores, regantes, municipios) con incentivos viables (PAC, desarrollo rural, pagos por servicios ecosistémicos) y acuerdos de mantenimiento.	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Más humedad edáfica, infiltración y caudal base + menor erosión → agricultura, suelos y ecosistemas menos sensibles a sequía / estiaje y a episodios de escorrentía erosiva.
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Requieren espacio y, a veces, cambios de uso del suelo: deben alinearse con ordenación territorial y compensaciones. Evaluar efectos locales (p. ej., evapotranspiración) con balance hídrico básico y criterios de diseño adaptados al contexto. Evitar especies exóticas y asegurar coherencia con Red Natura 2000 / Directiva Hábitats. En zonas con contaminación histórica, cuidado con removilización de sedimentos contaminados al restaurar cauces / humedales; puede exigir gestión específica.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Más capacidad de regulación en el territorio: almacenamiento / infiltración y conectividad de hábitats que refuerzan resiliencia ecohidrológica y amplían opciones de gestión ante extremos.
Localización preferente	• Cabeceras y laderas con erosión / arrastres y respuesta hidrológica rápida. • Llanuras de inundación y corredores fluviales con oportunidades de reconexión / espacio fluvial. • Áreas agrícolas o forestales donde se busca mejorar infiltración, humedad edáfica y laminación.		
Fuentes para ampliar información	https: / / fundacion-biodiversidad.es / proyectos_ficha / sistematizacion-de-las-soluciones-basadas-en-la-naturaleza-en-espana-esbn / https: / / www.nwrm.eu / https: / / research-and-innovation.ec.europa.eu / research-area / environment / nature-based-solutions_en		

7.9 FE2. Gestión forestal sensible al agua y al riesgo de incendios

Hidroavión en tareas de extinción. Fuente: MITECO

Medida PHweb	12.01.06. Incremento de los recursos disponibles mediante repoblación forestal 19.05.02. Actuaciones de prevención y defensa frente a incendios forestales
Opciones de adaptación	Gestión forestal sensible al agua / Gestión forestal resiliente al clima Restauración forestal tras catástrofes relacionadas con el clima / Adaptación de los planes de gestión de incendios
Peligros climáticos que se abordan	T1 (olas de calor) P3 (sequías prolongadas) P4 (lluvias intensas post-incendio: picos de escorrentía / erosión / movimientos en masa)
Impactos potenciales que se abordan	ECS13 (riesgo central); AG9 (post-incendio: suelos desnudos, hidrofobicidad, barrancos); ECS8; SW7 (cenizas, nutrientes, metales, turbidez); GW3 (aumento de nitratos, cambios en recarga); ECS10 (picos tras grandes incendios); ECS5 / ECS2 (pérdida de cubierta forestal protectora, cambios térmicos, colmatación). Indirectamente: AU1; AG2; ECS9 (incendios en cabeceras afectan a la fiabilidad de embalses y tomas de agua)

Descripción sintética	Medidas de gestión forestal preventiva y sensible al agua orientadas a reducir la carga y continuidad del combustible y a proteger zonas clave, especialmente embalses de abastecimiento. Incluye tratamientos selvícolas (clareos, fajas auxiliares, mosaicos agroforestales), pastoreo dirigido y, cuando proceda, quemas planificadas, junto con actuaciones en cabeceras, riberas y humedales forestales. Incorpora criterios "climate-smart" en especies, densidades, suelo y paisaje, integrando prevención de incendios, conservación del suelo y funcionamiento hidrológico, en coordinación con la planificación forestal y de incendios de las CCAA.	Efectos esperados en adaptación Exposición	↓ exposición de población, infraestructuras y actividades económicas a incendios severos y a impactos hidrológicos asociados (escorrentía / erosión / postevento) en cabeceras y cuencas abastecedoras.
Claves del éxito	Aplicar una prevención estructural y continuada (no solo estacional) que proteja zonas clave para el agua (cabeceras, riberas, suelos de montaña), con enfoque paisajístico (mosaicos, espacios abiertos, "cortafuegos verdes") combinando bosque, pastos, agricultura y humedales). Asegurar encaje competencial autonómico, participación de propietarios y comunidades rurales y coordinación con organismos de cuenca y gestores de espacios protegidos, con seguimiento de resultados hidrológicos y ecológicos.	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Cuencas / cabeceras menos sensibles a incendios severos y a su "cola hidrológica" (erosión, turbidez, colmatación tras lluvias intensas) → amortigua impactos en ríos / embalses y daños asociados a extremos.
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	No siempre "más bosque = más agua": masas densas pueden reducir caudales/recarga; decidir con diagnóstico hidrológico. Evitar homogeneización y promover diversidad estructural y de especies. Las quemas prescritas exigen marco normativo, planificación, seguridad, aceptación ambiental y capacidades operativas. En espacios protegidos, coherencia con objetivos de conservación, minimizando afecciones por cambios de densidad/estructura y ajustando el diseño a la normativa sectorial. Riesgo de mala adaptación social si se percibe como imposición sin alternativas y compensaciones.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Mejora capacidad de prevención y respuesta basada en riesgo (planificación, tratamientos, operativa) y protege funciones hidrológicas clave, reduciendo impactos post-incendio en la gestión del agua.
Localización preferente	Cuencas forestales con riesgo alto de incendios y efectos severos post-incendio (erosión, turbidez). • Áreas de interfaz urbano-forestal y zonas críticas para protección de infraestructuras y captaciones. • Cabeceras reguladas por embalses donde interesa reducir aportaciones sólidas tras episodios extremos.		
Fuentes para ampliar información	https: / / www.miteco.gob.es / es / biodiversidad / temas / politica-forestal.html / https: / / www.miteco.gob.es / es / biodiversidad / temas / incendios-forestales.html https: / / forest-fire.emergency.copernicus.eu / https: / / www.globalforestwatch.org / https: / / science4policy.csic.es / incendios-forestales /		

7.10 FE3. Servicios climáticos y gobernanza adaptativa para sequías e inundaciones

Sistema Automático de Información Hidrológica. Fuente: CH Tajo

Medida PHweb	11.01.07. Redes de control integradas de información hidrológica / 11.00.xx. Otras medidas genéricas no ligadas directamente a presiones ni impactos: gobernanza / 15.01.xx. Predicción de avenidas y sistemas de alerta 13.04.01. Elaboración de estudios de mejora del conocimiento sobre la gestión del riesgo de inundación
Opciones de adaptación	Establecimiento de sistemas de alerta rápida Integración de la adaptación al cambio climático en los planes de sequía y conservación del agua Adaptación de los planes de gestión de inundaciones / Restricciones de agua y recortes en el consumo
Peligros climáticos que se abordan	P3 (sequías) P4 (precipitación extrema / avenidas e inundación pluvial) M2 (temporales costeros: inundación / daños)
Impactos potenciales que se abordan	ECS9; ECS10 / ECS11 (en coordinación con planes de protección civil y litoral); AU1; AG2; SW7; GW3 (permiten activar medidas preventivas y de gestión de presiones antes de eventos extremos)

Descripción sintética	Desarrollo y uso de servicios climáticos y sistemas de alerta temprana integrados en la planificación y gestión del agua. Incluye monitorización avanzada (redes hidrometeorológicas, telemetría, indicadores), predicción a distintas escalas (meteorológica, estacional) y uso de proyecciones climáticas para apoyo a decisiones.	Efectos esperados en adaptación	
		Exposición	Mediante umbrales, reglas y coordinación, reduce exposición al orientar ocupación / uso y la gestión preventiva de población, bienes e infraestructuras críticas en zonas de riesgo (sequías e inundaciones).
Claves del éxito	Enfoque de co-producción ciencia–gestor (organismos de cuenca, AEMET, protección civil, usuarios), orientado a decisiones operativas, no solo a "entregar datos". Integrar PES y PGRI en la planificación hidrológica ordinaria, usando escenarios de cambio climático y criterios de riesgo de forma consistente. Asegurar operatividad real: protocolos, canales robustos, simulacros, coordinación interadministrativa y responsables claros para activar medidas y comunicar el riesgo.	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Protocolos, umbrales y reglas de decisión más robustas → sistemas hídricos y socioeconómicos menos sensibles a la variabilidad intra / anual (anticipación y respuesta más temprana.
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Evitar enfoque tecnocrático: alertas sin ordenación territorial y medidas físicas pueden generar falsa sensación de seguridad. Garantizar accesibilidad y comprensión de la información (usuarios y población), con comunicación y educación del riesgo. La gobernanza requiere estabilidad institucional y recursos (datos, mantenimiento, personal), y coherencia con el marco DMA / Directiva de Inundaciones y con la arquitectura del PNACC. Evitar duplicidades entre sistemas y asegurar interoperabilidad de indicadores y umbrales.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Más información, previsión y reglas de decisión → anticipación y activación temprana de medidas ante sequías / inundaciones.
Localización preferente	Demarcaciones con alta recurrencia de sequías (PES) y necesidades de coordinación multi-actor. Zonas con riesgo de inundación relevante (pluvial / fluvial) y necesidad de mejorar alerta y protocolos. Sistemas complejos (multiembalse, trasvases, acuíferos) donde conviene reforzar umbrales y reglas de operación.		
Fuentes para ampliar información	https: / / www.miteco.gob.es / es / agua / temas / observatorio-nacional-de-la-sequia.html https: / / www.miteco.gob.es / es / agua / temas / gestion-de-los-riesgos-de-inundacion.html https: / / drought.emergency.copernicus.eu / https: / / environment.ec.europa.eu / topics / water / floods_en		

7.11 FE4. Diseño urbano sensible al agua y al clima

Drenaje urbano sostenible en el Parque Arriaga de Madrid. Fuente: Ayto. de Madrid.

Medida PHweb	14.04.01. Medidas que implican intervenciones físicas para reducir las inundaciones por aguas superficiales, por lo general, aunque no exclusivamente, en un entorno urbano, como la mejora de la capacidad de drenaje artificial o sistemas de drenaje sostenible (SuDS) / 03.02.xx. Mejora de la eficiencia en el uso del agua (urbano)
Opciones de adaptación	Diseño urbano y de edificios sensibles al agua Espacios verdes y corredores en las zonas urbanas / Agricultura urbana inteligente adaptada al clima
Peligros climáticos que se abordan	P4 (tormentas intensas: sobrecarga de redes / inundación) T1 (olas de calor / isla térmica urbana) P3 (sequías / escasez urbana: valor de captación / uso de pluviales)
Impactos potenciales que se abordan	ECS10 (foco principal en entorno urbano); SW7 (↓ vertidos por desbordamiento de sistemas unitarios, ↓ contaminación difusa urbana); ECS9 (parcial: mejor uso de pluviales y resiliencia de zonas verdes); ECS2; ECS5 (renaturalización de cauces urbanos, corredores verde-azules). También riesgos de salud ligados a calor extremo urbano.

Descripción sintética	Intervenciones de urbanismo que integran el agua de lluvia y la naturaleza en el tejido urbano. Incluye SUDS (pavimentos permeables, zanjas de infiltración, cunetas verdes, jardines de lluvia, balsas de retención / laminación, aljibes) y soluciones verdes (cubiertas / fachadas verdes, arbolado). Incorpora parques inundables, corredores fluviales renaturalizados, láminas de agua urbanas y redes de espacios verdes conectados. Se aplica en nuevos desarrollos y en rehabilitación urbana, vinculándose a drenaje y renaturalización.	Efectos esperados en adaptación Exposición	↓ exposición de población, bienes e infraestructuras urbanas a inundación pluvial / superficial (y desbordamientos asociados), al reducir escorrentía y anegamientos en origen.
Claves del éxito	Integrar SUDS e infraestructura azul-verde en planeamiento y normativa municipal (estándares, licencias, mantenimiento), priorizando actuaciones “en origen” y redes conectadas (parques inundables, corredores, drenaje sostenible). Diseñar soluciones multifuncionales (laminación + calidad + confort térmico) y escalables por fases. Definir responsabilidades de operación y mantenimiento, financiamiento y un seguimiento simple del desempeño (eventos, caudales, calidad, incidencias).	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Drenaje en origen y espacios de laminación + verde urbano → ciudad menos sensible a lluvias intensas (anegamientos / sobrecarga) y a olas de calor (confort térmico), reduciendo daños recurrentes.
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	No sustituyen por sí solas la zonificación del riesgo ni obras necesarias: para extremos, complementar con planificación y protección. Cuidar conflictos de espacio urbano y compatibilidad con servicios existentes. Gestionar la calidad del agua pluvial (primer lavado, contaminantes) para no transferir impactos; puede requerir pretratamientos y mantenimiento exigente. Selección de especies y diseño debe considerar clima futuro, alergias / invasoras y consumo hídrico razonable. Evitar soluciones de escaparate sin capacidad real de mantenimiento.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Soluciones reversibles y escalables: más capacidad de gestionar lluvia en origen (almacenamiento / reutilización local) y modular el microclima urbano con redes multifuncionales.
Localización preferente	• Ciudades con inundación pluvial frecuente o sobrecarga de redes (puntos negros, cuencas urbanas rápidas). • Áreas con isla de calor y déficit de espacios verdes / azules (prioridad a confort térmico). • Nuevos desarrollos o renovación urbana donde sea viable reservar suelo multifuncional (parques inundables, etc.).		
Fuentes para ampliar información	https: / / www.miteco.gob.es / es / agua / temas / concesiones-y-autorizaciones / vertidos-de-aguas-residuales / vertido-desbordamiento-sistema-saneamiento-dss.html https: / / www.gov.uk / government / publications / national-standards-for-sustainable-drainage-systems / national-standards-for-sustainable-drainage-systems-suds https: / / www.miteco.gob.es / content / dam / miteco / es / agua / temas / concesiones-y-autorizaciones / suds_tcm30-532934.pdf https: / / efb-greenroof.eu /		

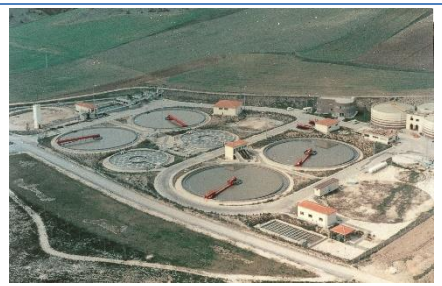
7.12 IT1. Restauración de bosques de ribera y creación de refugios térmicos

Reserva Natural Fluvial del río Tajo. Fuente: MITECO

Medida PHweb	04.02.07. Mejora de la morfología, de ríos, lagos y embalses para facilitar el desarrollo de vegetación de ribera, incluyendo también su plantación
Opciones de adaptación	Creación y restauración de amortiguadores ribereños Rehabilitación y restauración de ríos y llanuras aluviales
Peligros climáticos que se abordan	T1 (↑ temperatura / olas de calor fluviales) P3 (sequías / estiajes prolongados) H1 (↓ caudales / aportaciones medias)
Impactos potenciales que se abordan	ECS2 (pérdida de hábitats de aguas frías, estrés térmico, anoxia); ECS5; SW7 (temperatura, oxígeno, eutrofización); ECS9 (cuando la pérdida de hábitats clave afecta a pesca, servicios ecosistémicos, recreo). Indirectamente, AG9 (protección de suelos en riberas y márgenes, menor erosión de orillas y aporte de finos).

Descripción sintética	Medida basada en restaurar vegetación de ribera y morfología fluvial para incrementar sombra sobre el cauce y conservar o crear refugios térmicos, aportando cobeneficios para el estado ecológico (hábitat, conectividad y estabilidad de orillas) y la resiliencia frente a estiajes y episodios extremos. Incluye bosques de ribera bien estructurados, mejora de conectividad lateral y recuperación de microhábitats como pozas profundas, aportes de manantiales, confluencias de tributarios fríos, canales laterales y zonas de interacción hiporreica. Puede integrarse con actuaciones de restauración fluvial y control de especies invasoras, y con planificación de conservación en tramos prioritarios.	Efectos esperados en adaptación	
		Exposición	↓ exposición de ecosistemas fluviales / humedales y especies acuáticas a picos térmicos al aumentar la disponibilidad espacial de refugios (tramos sombreados, aportes fríos).
Claves del éxito	Priorizar tramos donde la sombra y la conectividad aporten beneficio real (ríos pequeños / medianos, hábitats sensibles) y combinar revegetación con mejoras hidromorfológicas (diversidad de hábitat, interacción hiporreica, recuperación de brazos / pozas). Usar especies autóctonas y anchuras de banda de ribera adecuadas, incorporando control de invasoras. Identificar y proteger refugios térmicos existentes (manantiales, confluencias frías) e integrarlos en estrategias de restauración y de caudales ecológicos.	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Sombra, pozas y aportes fríos → comunidades acuáticas menos sensibles a olas de calor en el agua (menor estrés térmico agudo).
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Compatibilizar con disponibilidad hídrica y régimen de caudales (sin agua suficiente, la restauración no sostiene refugios). Evitar afecciones a hábitats protegidos y asegurar coherencia con Red Natura 2000 cuando aplique. Considerar contrapartidas locales (p. ej., consumo hídrico de vegetación, estabilidad de márgenes) y diseñar con criterios geomorfológicos. En zonas con presiones fuertes (extracciones, contaminantes, regulación), la restauración debe ir acompañada de reducción de presiones para ser sostenible.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Red de refugios y conectividad: posibilita gestión adaptativa (priorización de tramos, mantenimiento de sombra / refugios, gestión de caudales para sostenerlos cuando proceda).
Localización preferente	• Tramos con pérdida de sombra / degradación de ribera y temperaturas estivales elevadas. • Ríos con hábitats o especies sensibles al calentamiento (cabeceras, tramos trucheros, refugios potenciales). • Sectores con oportunidad de combinar ribera + morfología (pozas, confluencias, aportes fríos).		
Fuentes para ampliar información	https: / / www.miteco.gob.es / es / agua / temas / delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico / estrategia-nacional-restauracion-rios.html https: / / www.sciencedirect.com / science / article / pii / S0301479725031275 https: / / www.mdpi.com / 2073-4441 / 16 / 21 / 3121		

7.13 IT2. Gestión de la calidad del agua frente al calentamiento y menor dilución



EDAR Arroyo de la Vega. Fuente: CH Tajo.

Medida PHweb	05.01.04. Mejora de las condiciones fisicoquímicas de los caudales ecológicos liberados y de las condiciones térmicas
Opciones de adaptación	Rehabilitación y restauración de ríos y llanuras aluviales Reducción del consumo de agua para la refrigeración de las plantas de generación térmica
Peligros climáticos que se abordan	T1 (calentamiento del agua / estratificación; ↓ oxígeno) P3 (sequías) H1 (↓ caudales: ↓ dilución → ↑ concentración de contaminantes / nutrientes)
Impactos potenciales que se abordan	ECS2 / ECS5 (condiciones crónicas de mala calidad :hipoxia, sulfuro, pérdida de hábitats de aguas frías); SW7 (eutrofización, blooms, anoxia, toxicidad); AU1 (aguas crudas inaceptables o con costes de tratamiento prohibitivos); EI1 (limitaciones operativas por problemas de calidad, gases disueltos, corrosión). Parcialmente ECS8 (ambiente redox y la liberación interna de fósforo)

Descripción sintética	Medidas centradas en la gestión térmica y del oxígeno en embalses y lagos estratificados y su influencia aguas abajo. Incluye tomas selectivas o desagües multinivel para modular temperatura y calidad del agua liberada, aireación u oxigenación hipolimnética, y desestratificación artificial cuando proceda (mezcladores, cortinas térmicas). Se complementa con reglas de operación de embalses que integran temperatura, calidad, caudal y almacenamiento, y con seguimiento continuo de perfiles térmicos, oxígeno y nutrientes.	Efectos esperados en adaptación Exposición	↓ exposición de usos y ecosistemas acuáticos a episodios de mala calidad (anoxia / blooms / temperaturas de descarga) mediante gestión térmica y de oxígeno en embalses.
Claves del éxito	Partir de un diagnóstico del sistema (estratificación, oxígeno, nutrientes, usos aguas abajo) para seleccionar medidas (tomas selectivas, aireación / oxigenación, mezclado, reglas de operación) con objetivos claros. Integrar la gestión de calidad / temperatura en la operación ordinaria de embalses y en planes de sequía, con seguimiento continuo y protocolos ante episodios críticos (anoxia, blooms). Coordinar siempre con la reducción de cargas externas (nutrientes) y con medidas de cuenca para evitar "curar síntomas" sin abordar causas.	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Gestión térmica / oxígeno en embalses → masas y usos aguas abajo menos sensibles a anoxia, eutrofización y blooms bajo calor y bajo caudal.
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Riesgo de efectos no deseados (consumo energético, cambios de hábitat, alteración de condiciones aguas abajo) si no se opera con criterio ecológico. Evitar que estas soluciones se utilicen como sustituto de obligaciones de saneamiento / depuración o de control de nutrientes en cuenca. Requieren permisos, compatibilidad con objetivos de la DMA y, a menudo, evaluación ambiental. La viabilidad técnica depende de morfometría, infraestructura existente y costes O&M; es crítico asegurar mantenimiento y personal capacitado.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Aporta oportunidades adicionales de operación (tomas selectivas, aireación / mezcla, reglas) para responder a episodios de anoxia / blooms / descargas calientes.
Localización preferente	• Embalses / láminas estratificadas con riesgo de anoxia o problemas recurrentes de calidad en estiaje. • Masas con usos sensibles (abastecimiento, recreo) donde episodios de blooms y olores generan impacto. • Sistemas donde la operación del embalse permite integrar objetivos de temperatura / calidad en la gestión.		
Fuentes para ampliar información	https: / / publications.jrc.ec.europa.eu / repository / handle / JRC32939?utm_source=chatgpt.com https: / / futurelakes.eu / fileadmin / projects / futurelakes / Forms / Deliverables / D1.1_Innovation_in_lake_restoration_Literature_Review.pdf https: / / mwrd.org / what-we-do / reducing-flooding / chicago-area-waterway-system-caws / sidestream-elevated-pool-aeration-sepa-stations		

7.14 OT1. Seguimiento y gestión adaptativa de la biodiversidad acuática

Toma de muestras de zooplancton para el seguimiento de la especie invasora mejillón cebra. Fuente: CHT.

Medida PHweb	11.01.01. Redes de control: redes de control de contaminantes y parámetros biológicos / Gestión adaptativa sin correspondencia específica [07.01.08. Medidas de adaptación al cambio climático]
Opciones de adaptación	Gestión adaptativa de hábitats naturales Rehabilitación y restauración de ríos y llanuras aluviales
Peligros climáticos que se abordan	T1 (olas de calor acuáticas / pérdida de hábitats fríos) P3 (sequías / estiajes) / P4 (avenidas / eventos torrenciales) H3 (alteración del régimen estacional de caudales / estuarios) / (drivers no climáticos: contaminación / invasoras)
Impactos potenciales que se abordan	ECS2; ECS5; SW7 (fallo de elementos biológicos, pérdida de especies sensibles, dominancia de especies oportunistas); ECS9 (se pierden servicios ecosistémicos clave: pesca, recreo, regulación). También relacionado con riesgos de especies exóticas invasoras.

Descripción sintética	Conjunto de medidas para gestionar biodiversidad acuática bajo cambio climático, apoyadas en seguimiento y evaluación de vulnerabilidad. Incluye programas de seguimiento biológico y climático reforzados, redes de estaciones y seguimiento de comunidades (peces, macroinvertebrados, macrófitos, fitobentos) y variables asociadas (temperatura, caudales, calidad). Contempla actuaciones como protección de refugios climáticos, mejora de conectividad (pasos de peces, eliminación de barreras), refuerzo de poblaciones vulnerables y control de invasoras. Integra resultados de estudios nacionales para priorizar especies y hábitats.	Efectos esperados en adaptación Exposición	No reduce exposición física a peligros; contribuye a reducir exposición efectiva al identificar / proteger refugios climáticos y focalizar la gestión sobre ecosistemas y especies acuáticas más expuestas.
Claves del éxito	Enfoque de “gestión adaptativa” basado en evidencia: inventario y vulnerabilidad → priorización → seguimiento → ajuste de medidas. Integrar los resultados en el Programa de Medidas (restauración, conectividad, control de invasoras, refugios climáticos) y en la definición de caudales ecológicos y reservas fluviales. Aprovechar redes existentes (DMA, RN 2000, observatorios) para continuidad temporal y evitar duplicidades. Definir indicadores simples y umbrales de actuación para tomar decisiones.	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Mejor estado, conectividad y refugios + vigilancia → ecosistemas / especies menos sensibles a la combinación de calor, estiajes y degradación de hábitat (robustez ecológica).
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Evitar intervenciones agresivas sin base científica suficiente (traslocaciones masivas, repoblaciones con genética inadecuada, manipulaciones fuertes del hábitat). Cumplir Directivas Hábitats / Aves y coherencia con planes de gestión de Natura 2000: la adaptación debe contribuir a conservación. En invasoras, aplicar normativa específica y evitar impactos colaterales graves. No usar la “adaptación” como excusa para rebajar objetivos ambientales si la biodiversidad responde mal: la DMA exige recuperar estado, no redefinirlo a la baja. Competencia de las CCAA.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Gestión adaptativa basada en evidencia: más conocimiento / seguimiento para ajustar caudales ecológicos, restauración y control de presiones según respuesta real de la biota.
Localización preferente	• Masas con alto valor ecológico o especies / hábitats vulnerables al clima (prioridad de seguimiento) • Zonas Red Natura 2000 / humedales protegidos donde interese reforzar indicadores tempranos de deterioro. • Tramos con múltiples presiones donde el seguimiento apoye gestión adaptativa (priorización y ajuste de medidas).		
Fuentes para ampliar información	https: / / www.miteco.gob.es / es / agua / temas / estado-y-calidad-de-las-aguas / red-de-referencia / red-de-seguimiento-de-cambio-climatico-en-habitat-acuaticos.html https: / / www.miteco.gob.es / es / biodiversidad / temas / conservacion-de-la-biodiversidad / biodiversidad-y-cambio-climatico.html https: / / www.miteco.gob.es / es / biodiversidad / servicios / banco-datos-naturaleza.html		

7.15 OT3. Movilización y gestión de sedimentos en embalses y cauces

Inundación y arrastre de sedimentos en Arroyo de Villanueva. Fuente: CHT.

Medida PHweb	02.11.01. Creación / mantenimiento de bandas de vegetación (buffer zones) para retener arrastres por escorrentía de contaminación y sedimentos y evitar su llegada a las masas de agua / 04.01.02. Construcción de by-pass alrededor de obstáculos transversales para la mejora del flujo de agua, sedimentos y biota / 04.01.04. Medidas de mejora del flujo de sedimentos en el entorno fluvial (by-pass, adecuación de órganos de desagüe, limpieza, estudios…)
Opciones de adaptación	Rehabilitación y restauración de ríos y llanuras aluviales / Gestión forestal sensible al agua. También hay una variedad de opciones para el manejo de sedimentos en la costa.
Peligros climáticos que se abordan	P4 (lluvias intensas/avenidas: pulsos de sedimento/erosión) / P3 (sequías prolongadas: colmatación/↓ capacidad y efectos aguas abajo) / M1 (↑ nivel del mar: mayor déficit relativo de sedimento en costa) / M2 (temporales costeros: erosión/regresión, relevante en cuencas litorales)
Impactos potenciales que se abordan	ECS8 (impacto central de la medida); ECS10/AU1/AG2/EI1 (colmatación de embalses, pérdida de volumen útil, afectación de tomas y turbinas); SW7 (morfología degradada, hábitats simplificados; picos de turbidez mal gestionados); ECS11 (falta de sedimentos que agrava la erosión costera y la vulnerabilidad); ECS5 / ECS2 (incisión del cauce, desconexión de llanuras y pérdida de sustratos adecuados).

Descripción sintética	Medidas para gestionar colmatación de embalses y restaurar parcialmente el régimen de sedimentos en ríos. En embalses incluye descargas de fondo y vaciados controlados, gestión de niveles para facilitar el transporte durante crecidas, bypass de sedimentos (túneles o conducciones), y dragados selectivos con traslado y descarga controlada aguas abajo u otros usos. En cauces contempla reactivación del transporte mediante retirada de azudes obsoletos, reconexión de cauces secundarios y llanuras de inundación, y regulación de extracciones y defensas para equilibrar el balance sedimentario.	Efectos esperados en adaptación Exposición	↓ exposición de infraestructuras hidráulicas y tramos fluviales/costeros a colmatación/erosión al recuperar (parcialmente) el régimen sedimentario; mejora estabilidad de hábitats asociados.
Claves del éxito	Basarse en un diagnóstico sólido del balance de sedimentos (cuenca–embalse–río–costa) y priorizar actuaciones donde aporten beneficio multirriesgo (capacidad útil, estabilidad morfológica, hábitats, litoral). Integrar la gestión de sedimentos en reglas de operación y en la planificación (seguridad, caudales, ventanas de crecida), coordinando restauración fluvial y gestión de presiones (erosión). Diseñar pilotos, monitorizar y escalar de forma progresiva para reducir incertidumbre técnica y ambiental.	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Menor colmatación y mayor estabilidad morfológica → embalses/cauces/costas menos sensibles a extremos (avenidas, sequías) y a erosión regresiva; mejora también la “flexibilidad” operativa del sistema.
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Riesgo de impactos por liberación/movilización de sedimentos (turbidez, contaminantes asociados, afección a hábitats y tomas): exige caracterización previa, ventanas operativas y seguimiento. Compatibilizar con seguridad de presas e infraestructuras y con usos aguas abajo, coordinando con protección civil cuando aplique. Requiere permisos y coherencia con objetivos de la DMA (estado, hidromorfología, calidad). Evitar “soluciones únicas”: dragado, bypass o descargas deben elegirse caso a caso por viabilidad, costes y huella ambiental.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Incorpora herramientas para gestionar el desajuste hidrología–transporte sólido (bypass, descargas, dragados, reconexiones), clave para adaptar embalses/cauces a extremos y a cambios de régimen.
Localización preferente	• Embalses con colmatación significativa o pérdida de capacidad útil (impacto en garantía/operación). • Tramos aguas abajo con déficit de sedimento (incisión, pérdida de hábitat, erosión costera asociada). Sistemas donde exista ventana operativa (hidrología/seguridad) para descargas, bypass o gestión adaptativa.		
Fuentes para ampliar información	https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/publicaciones/guia-sedimento_tcm30-590197.pdf / https://www.chebro.es/es/web/guest/estrategia-gisdhe / https://environment.ec.europa.eu/system/files/2022-09/CISdocumentsedimentfinalTO_BE_PUBLISHED_1430554724.pdf https://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_output/0001/38/f956e34d78a1109a7abfbb40922bbe9b12d14eb3.pdf		

7.16 Integración del EACC en el ciclo de planificación hidrológica

El EACC constituye un primer ejercicio homogéneo de lectura de riesgos climáticos a medio y largo plazo, concebido para apoyar la planificación hidrológica. Su utilidad principal es señalar riesgos y reforzar la coherencia de las medidas frente al cambio climático, siempre mediante contraste con la mejor información disponible. En particular, aspectos decisivos para la toma de decisiones –como la evolución futura de garantías y déficits– se evalúan con mayor robustez mediante herramientas propias del plan (balances recursos–demandas, modelos de explotación, análisis de presiones e impactos). Por otra parte, el reparto de competencias y responsabilidad y los mecanismos de coordinación se han desarrollado de forma exhaustiva en los Documentos Iniciales del cuarto ciclo. Tratándose de medidas fundamentalmente alineadas con las del PdM, cabe remitir a ese marco y señalar el alto grado de implicación de administraciones sectoriales (p. ej., gestión forestal e incendios, urbanismo y protección civil).

Para que las aportaciones del EACC se traduzcan en prioridades operativas, conviene compartirlas y contrastarlas a través de los cauces disponibles –en particular, el Comité de Autoridades Competentes (CAC)– e intercambios técnicos con CCAA y agentes, a fin de validar mensajes clave y facilitar su consideración y encaje en las diversas planificaciones sectoriales. Por todo ello, se propone una integración prudente y pragmática, compatible con el calendario del ciclo.

Indicaciones para el uso del EACC a lo largo del ciclo de planificación

Ámbito de contribución	Principales aportaciones	Forma de utilización recomendada
Reforzar el diagnóstico con una lectura climática	Señales de riesgos climáticos y su evolución; impactos-clave relevantes	Mejora de integración como complemento del diagnóstico del EpTI para ordenar temas y argumentos
Focalizar la atención en territorios y sistemas	Identificación orientativa de áreas / sistemas potencialmente tensionados (presentes o futuros)	Lista de "áreas prioritarias": dónde convendría profundizar con balances, modelos y evidencia local
Conectar riesgos con medidas del PdM	Trazabilidad impacto–medida (qué medidas contribuyen a mitigar qué riesgos)	Coherencia del paquete de medidas y ajuste de criterios de priorización o diseño
Evitar mala adaptación en decisiones sensibles	Señales sobre efectos no deseados (bloqueos, aumentos de presión, desplazamiento de riesgos)	Cautelas (zonas tensionadas): multifuncionalidad, reversibilidad, compatibilidad con objetivos ambientales
Favorecer coherencia con otros instrumentos	Lectura conjunta con PES / PGRI y con políticas sectoriales	Señalamiento de ámbitos refuerzo para la coordinación y prevención
Apoyar el contraste interadministrativo	Síntesis de mensajes y prioridades (derivable de lo ya incluido en la Memoria)	Discusión en foros existentes (p. ej., CAC) e intercambios técnicos con CCAA / sectores cuando proceda
Orientar mejoras futuras del propio enfoque	Identificación de lagunas de conocimiento y necesidades de nueva evidencia	Planificación de refinamientos posteriores (modelos, indicadores)

Una utilidad práctica del EACC, junto con el diagnóstico del plan y el PES, es apoyar una identificación orientativa de **zonas y sistemas tensionados**: aquellos con presiones relevantes y/o aquellos donde el cambio climático podría agravar tensiones (descenso de aportaciones, sequías más frecuentes, aumento de la temperatura del agua, cambios en extremos, o pérdida de regulación por aterramiento). Dado el carácter inicial del ejercicio, estas señales deben entenderse como prioridad para el contraste: cuando apunten incrementos del riesgo, conviene verificarlas y precisarlas con las herramientas del plan y, en su caso, con estrategias y planes sectoriales autonómicos y locales.

En tales zonas tensionadas (actuales o con riesgo de estarlo), debe reforzarse la **vigilancia del riesgo de mala adaptación**, entendida como actuaciones que pueden aumentar el riesgo a medio plazo o desplazarlo a otros usos / territorios. A modo orientativo, merecen especial atención: (i) nuevos regadíos o intensificación en áreas con garantías frágiles; (ii) expansiones urbanas, industriales o turísticas intensivas; (iii) soluciones rígidas que reduzcan opciones futuras.

Como **salvaguardas generales**, podrían considerarse: (i) priorizar medidas *no-regret / low-regret* y reversibles; (ii) condicionar crecimientos de demanda a garantías contrastadas con balances futuros; (iii) incorporar chequeos de compatibilidad con objetivos ambientales y caudales ecológicos; y(iv) valorar efectos cruzados entre sectores (riesgos complejos), evitando trasladar presiones entre masas o territorios.

8. Referencias

Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA/EEA). (2021). Water resources across Europe – confronting water stress: an updated assessment.
https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/water-resources-across-europe-confronting

Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA/EEA). (2024a). European Climate Risk Assessment. EEA Report 01/2024. Publications Office of the European Union. doi:10.2800/8671471.
https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment

Araújo, M. B., Guilhaumon, F., Neto, D. R., Pozo, I., & Calmaestra, R. (2011). Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 2. Fauna de vertebrados. Proyecciones de las áreas de distribución potencial de la fauna de vertebrados de la España peninsular por efecto del cambio climático. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid.
PDF (atlas de fauna, tomo 1) en MITECO: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/publicaciones/atlas-cc-fauna-1_tcm30-198869.pdf

Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., & Bilton, D. T. (2012). La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. Ecosistemas, 21(3), 79–84.
https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/634

Ballesteros-Cánovas, J.A. y Benito, G., 2025. Inundaciones y Cambio Climático: Estudios y experiencias a nivel europeo (2018-2024). CSIC-MITERD, Madrid.
no publicado a la fecha de presentación de este documento

Baño-Medina, J., Manzanas, R., Cimadevilla, E., Fernández, J., González-Abad, J., Cofiño, A. S., & Gutiérrez, J. M. (2022). Downscaling multi-model climate projection ensembles with deep learning (DeepESD): contribution to CORDEX EUR-44. Geoscientific Model Development Discussions, 2022, 1-14.
https://gmd.copernicus.org/articles/15/6747/2022/

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.
https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/

CEDEX – Centro de Estudios Hidrográficos (2011). Mapa de caudales máximos diarios.
https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/mapa-decaudales-maximos.html

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.
https://adaptecca.es/recursos/buscador/efecto-del-cambio-climatico-sobre-el-estado-ecologico-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.
https://adaptecca.es/recursos/buscador/evaluacion-del-impacto-del-cambio-climatico-en-los-recursos-hidricos-y-sequias-en

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. https://ceh.cedex.es/web/documentos/CAMREC/CCporcCambio.pdf

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.
https://ceh.cedex.es/web/documentos/CAMREC/CCporcCambioMasb.pdf

CEDEX (2021b). Impacto del Cambio Climático en las Precipitaciones Máximas de España. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.
https://ceh.cedex.es/web/Imp_CClimatico_Pmax.htm

Climate ADAPT (2023). The Adaptation Support Tool - Getting started.
Retrieved January 17, 2023, from https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/knowledge/tools/adaptation-support-tool/step-1-3

Dorado-Guerra, D.Y.; Paredes-Arquiola, J.; Pérez-Martín M.A; Corzo-Pérez, G.; Ríos-Rojas, L. 2023. Effect of climate change on the water quality of Mediterranean rivers and alternatives to improve its status, Journal of Environmental Management, Volume 348, 2023, 119069, ISSN 0301-4797.
https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119069

EU. (2000). Directive on establishing a framework for Community action in the field of water policy. Directive 2000/60/EC.
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF

EU. (2007). Directive on the assessment and management of flood risks. Directive 2007/60/EC.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0060&from=en

EU. (2021). Regulation (EU) 2021/1119 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law').
https://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=legissum:4536626

Estrela T, Pérez-Martín MA, Vargas E (2012) Impacts of Climate Change on Water Resources in Spain.Hydrological Sciences Journal. 57(6):1154-1167. AC: Estrela T.
https://doi.org/10.1080/02626667.2012.702213

Estrela-Segrelles, C; Gómez-Martinez, G; Pérez-Martín, MÁ. 2021. Risk assessment of climate change impacts on Mediterranean coastal wetlands. Application in Júcar River Basin District (Spain). Science of the Total Environment 790 (2021) 148032. AC: Estrela-Segrelles.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148032

Estrela-Segrelles, C., Gómez-Martínez, G. & Pérez-Martín, M.Á. Climate Change Risks on Mediterranean River Ecosystems and Adaptation Measures (Spain). Water Resour Manage (2023).
https://doi.org/10.1007/s11269-023-03469-1

Estrela-Segrelles, C.; Pérez-Martín, M.Á.; Wang, Q.J. 2024 Adapting Water Resources Management to Climate Change in Water-Stressed River Basins—Júcar River Basin Case. Water 2024, 16, 1004.
https://doi.org/10.3390/w16071004

European Commission (2024): Directorate-General for Environment, River basin management in a changing climate – Common implementation strategy for the Water Framework Directive and the Floods Directive, Publications Office of the European Union, 2024.

https://data.europa.eu/doi/10.2779/126657

Felicísimo, Á. M. (coord.), Muñoz, J., Villalba, C. J., & Mateo, R. G. (2011). Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 1. Flora y vegetación. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid. Disponible a través del Inventario Español de Especies Terrestres (IEET) de MITECO.
https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-especies-terrestres/ieet_efectos_cambio_climatico.html

Felicísimo, Á. M., Muñoz, J., Villalba, C. J., & Mateo, R. G. (2012). Vulnerabilidad de la flora y vegetación españolas ante el cambio climático. Ecosistemas, 21(3), 1–8.
https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/630

Gómez Martínez, Gabriel; Pérez-Martín, Miguel Ángel; Estrela Monreal, Teodoro; Amo-Merino, Patricia del Amo. 2018. North Atlantic Oscillation as a Cause of the Hydrological Changes in the Mediterranean (Jucar River, Spain). Water Resources Management (ISSN 0920-4741). Volume: 32 Pages:2717 – 2734. AC: Gómez Martínez, Gabriel.
https://doi.org/10.1007/s11269-018-1954-0

Gómez Martínez, Gabriel, and Miguel Ángel Pérez Martín. 2023. Water Management Adaptation to Climate Change in Mediterranean Semiarid Regions by Desalination an d Photo-voltaic Solar Energy, Spain. Water 15, no. 18: 3239.
https://doi.org/10.3390/w15183239

Herrero Méndez, A., & Zavala, M. A. (eds.) (2015). Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: impactos, vulnerabilidad y adaptación en España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
https://cpage.mpr.gob.es/producto/los-bosques-y-la-biodiversidad-frente-al-cambio-climatico/
https://adaptecca.es/sites/default/files/editor_documentos/bosques_la_biodiversidad_frente_al_cambio_climatico_impactos_vulnerabilidad_adaptacion_2015.pdf

IIAMA (2022). Plan de Adaptación al Cambio Climático en la Demarcación del Júcar. Instituto de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València.
https://adaptecca.es/recursos/buscador/plan-de-adaptacion-al-cambio-climatico-en-la-demarcacion-deljucar

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of climate change. [Shukla, P. R., Skea, J., Slade, R., Al Khourdajie, A., van Diemen, R., McCollum, D., ... & Malley, J.]. Contribution of working group III to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 10, 9781009157926.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf

IPCC, 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf

Kersting, D.-K. (2016). Cambio climático en el medio marino español: impactos, vulnerabilidad y adaptación. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), Oficina Española de Cambio Climático, Madrid.
https://adaptecca.es/recursos/buscador/cambio-climatico-en-el-medio-marino-espanol-impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion

Kulp, S.A., Strauss, B.H. (2019). New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. Nat Commun 10, 4844 (2019).
https://doi.org/10.1038/s41467-019-12808-z

LBAE (2000). Libro Blanco del Agua en España. Ministerio de Medio Ambiente.

Lorenzo-González, D. Quílez, D. Isidoro (2023). Factors controlling the changes in surface water temperature in the Ebro River Basin, Journal of Hydrology: Regional Studies, Volume 47, 2023, 101379, ISSN 2214-5818,
https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101379

Martínez-Medina MÀ, Pérez-Martín MÁ, Estrela Monreal T. 2024 Desalination in Spain and the Role of Solar Photovoltaic Energy. Journal of Marine Science and Engineering. 2024; 12(6):859.
https://doi.org/10.3390/jmse12060859

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico & Tragsatec (2023). Impacto del cambio climático en los ecosistemas acuáticos epicontinentales. Selección de marcadores y de estaciones de seguimiento. Informe del Plan PIMA Adapta, Red de seguimiento de cambio climático en hábitat acuáticos. Página de la Red de seguimiento de cambio climático en hábitat acuáticos
https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/red-de-referencia/red-de-seguimiento-de-cambio-climatico-en-habitat-acuaticos.html
https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/refcon/Red%20cambio%20climatico_Marcadores.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). Guía para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático. Oficina Española de Cambio Climático.
https://libreria.miteco.gob.es/libro/guia-para-laevaluacion-de-riesgos-asociados-al-cambio-climatico_1979/

Miñana-Albanell, C.; Ryu, D.; Pérez-Martín, M.Á. Water Temperature Model to Assess Impact of Riparian Vegetation on Jucar River and Spain. Water 2024, 16, 3121.
https://www.mdpi.com/2073-4441/16/21/3121

MITECO – Oficina Española de Cambio Climático (OECC). (2023). Guía para la evaluación de los riesgos asociados al cambio climático (marco conceptual y operativo PEV).
https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/images/es/guia_evaluacion_riesgos_cambio_climatico_2023_tcm30-570075.pdf

MITECO – Oficina Española de Cambio Climático (OECC). (2025). Guía técnica para la elaboración de estudios de adaptación al cambio climático en la planificación hidrológica (EACC).

no publicado a la fecha de presentación de este documento

MITECO. (2021). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2021–2030

https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pnacc-2021-2030_tcm30-512163.pdf

OECC (2025a). Losada, I.J. y González Canoura, L. (2025). Metodología. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
https://ericc.adaptecca.es/sites/default/files/docs/B01_ERICC-2025_Metodologia.pdf

OECC (2025b). Gómez-Beas, R., Contreras, E., Polo, M.J. y Pimentel, R. (2025) Agua y recursos hídricos. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
https://ericc.adaptecca.es/sites/default/files/docs/C02_ERICC-2025_Agua.pdf

OECC (2025c). Sanz, M.J. y de la Hoz, C. F. (2025) Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
https://ericc.adaptecca.es/sites/default/files/docs/C03_ERICC-2025_Pat_natural.pdf

OECC (2025d). Toimil, A. y Losada, I. J. (2025) Costas y medio marino. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
https://ericc.adaptecca.es/sites/default/files/docs/C06_ERICC-2025_costas.pdf

Oficina Española de Cambio Climático (2014). Informe de evaluación del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/informeevaluacion_pnacc_tcm30-499212.pdf

Pérez-Martín MA, Estrela T, Andreu J and Ferrer J (2014) Modeling Water Resources and River-Aquifer Interaction in the Júcar River Basin, Spain. Water Resour Manage (2014) 28:4337–4358.
https://doi.org/10.1007/s11269-014-0755-3

Pérez-Martín MA, Estrela T, del-Amo P. 2016 Measures required to reach the nitrate objectives in groundwater based on a long-term nitrate model for large river basins (Júcar, Spain). Science of the Total Environment 566–567 (2016) 122–133.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.206

Rivadeneira Vera JF, Zambrano Mera YE, Pérez-Martín MÁ. 2020. Adapting water resources systems to climate change in tropical areas: Ecuadorian coast. Sci Total Environ. 2020 Feb 10; 703:135554. AC: Rivadeneira Vera JF.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135554

Rossi, L., Wens, M., De Moel, H., Cotti, D., Sabino Siemons, A.-S., Toreti, A., Maetens,W., Masante, D., Van Loon, A., Hagenlocher, M., Rudari, R., Meroni, M., Isabellon, M., Avanzi, F., Naumann, G., Barbosa P. - European Drought Risk Atlas, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/608737, JRC135215.
https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC135215

Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras), 2020. Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/impactosyriesgosccespanawebfinal_tcm30-518210_0.pdf

Sibilia, A., Eklund, L.G., Marzi, S., Valli, I., Bountzouklis, C., Roeslin, S., Rodomonti, D., Salari, S., Antofie, T. and Corbane, C., Developing a Multi-Level European-Wide Composite Indicator to Assess Vulnerability Dynamics Across Time and Space, International Journal of Disaster Risk Reduction, ISSN 2212-4209, 113, 2024, p. 104885, JRC138760.
https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104885

Simpson, N.P., Mach, K.J., Constable, A., Hess, J., Hogarth, R., Howden, M., Lawrence, J., Lempert, R.J., Muccione, V., Mackey, B. and New, M.G., 2021. A framework for complex climate change risk assessment. One Earth, 4(4), pp.489–501
https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.03.005

Smithers, R.J., Gardner, A. & Dworak, T. (2023). Assessing climate change risks and vulnerabilities (climate risk assessment). A DIY Manual. Version 1, November 2023. EU Mission on Adaptation to Climate Change. European Union, Brussels
https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/mission/solutions/resources

UNDRR (2022) Technical guidance on comprehensive risk assessment and planning in the context of climate change
https://www.undrr.org/publication/technical-guidance-comprehensive-risk-assessment-and-planning-context-climate-change

Referencias aportadas por AEMET en relación al comportamiento de las precipitaciones máximas

Evidencia observacional y regional (Mediterráneo / España)

Drobinski, P. et al. (2018). Scaling precipitation extremes with temperature in the Mediterranean: past climate assessment and projection in anthropogenic scenarios. Climate Dynamics, 51, 1237–1257. DOI: 10.1007/s00382-016-3083-x.
https://doi.org/10.1007/s00382-016-3083-x

Ribes, A. et al. (2019). Observed increase in extreme daily rainfall in the French Mediterranean. Climate Dynamics, 52, 1095–1114. DOI: 10.1007/s00382-018-4179-2
https://doi.org/10.1007/s00382-018-4179-2

Vergara-Temprado, J., Ban, N. & Schär, C. (2021). Extreme Sub-Hourly Precipitation Intensities Scale Close to the Clausius–Clapeyron Rate Over Europe. Geophysical Research Letters, 48(3), e2020GL089506. DOI: 10.1029/2020GL089506
https://doi.org/10.1029/2020GL089506

del Jesus, M. & Díez-Sierra, J. (2023). Climate change effects on sub-daily precipitation in Spain. Hydrological Sciences Journal, 68(8), 1065–1077. DOI: 10.1080/02626667.2023.2215931
https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2215931

CLIVAR-Spain Committee (2024). The CLIVAR-SPAIN Report on the Climate in Spain. 2024 edition. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO).
https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/2024_THE_CLIVAR-SPAIN_REPORT.pdf

Meseguer-Ruiz, A. et al. (2021). Temporal changes in extreme precipitation and exposure of tourism in Eastern and South-Eastern Spain. Theoretical and Applied Climatology
https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.8699

Miró, J. J. (2022). A component-based approximation for trend detection of intense rainfall in the Spanish Mediterranean coast. Weather and Climate Extremes, 38, 100469.
https://roderic.uv.es/handle/10550/87656

Fowler, H. J. et al. (2021). Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. Nature Reviews Earth & Environment, 2, 107–122. DOI: 10.1038/s43017-020-00128-6
https://doi.org/10.1038/s43017-020-00128-6

Lenderink, G. et al. (2017). Super-Clausius–Clapeyron scaling of extreme hourly convective precipitation and its relation to large-scale atmospheric conditions. Journal of Climate, 30(15), 6037–6052. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0808.1
https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0808.1

Da Silva, N. A. & Haerter, J. O. (2025). Super-Clausius–Clapeyron scaling of extreme precipitation arising from statistical rain type shifts. Nature Geoscience. DOI: 10.1038/s41561-025-01686-4
https://doi.org/10.1038/s41561-025-01686-4

Llasat, M. C. et al. (2021). Convective precipitation trends in the Spanish Mediterranean region. Atmospheric Research, 257, 105581. DOI: 10.1016/j.atmosres.2021.105581
https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105581

Treppiedi, D. et al. (2023). Convective precipitation over a Mediterranean area: From rain cell to rain types. International Journal of Climatology.
https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.7758

Lucas-Picher, P. et al. (2021). Convection-permitting modeling with regional climate models: Latest developments and future directions. WIREs Climate Change, 12(6), e731.
https://doi.org/10.1002/wcc.731

Lucas-Picher, P. et al. (2023/2024 aprox.). Artículos de evaluación de simulaciones convectivas europeas (experimentos CORDEX-FPS). Uno de los trabajos de referencia es: Evaluation of convection-permitting climate simulations over Europe: The CORDEX-FPS convection experiment.

Förster, K. et al. (2016). An open-source MEteoroLOgical observation time series DISaggregation Tool (MELODIST v0.1.1). Geoscientific Model Development, 9, 2315–2333. DOI: 10.5194/gmd-9-2315-2016
https://doi.org/10.5194/gmd-9-2315-2016

Müller-Thomy, H. (2020). Temporal rainfall disaggregation using a micro-canonical cascade model: possibilities to improve the autocorrelation. Hydrology and Earth System Sciences, 24, 169–188. DOI: 10.5194/hess-24-169-2020
https://doi.org/10.5194/hess-24-169-2020

Manikanta, V. et al. (2023). A Multi-criteria Decision Making based nonparametric Method of Fragments to disaggregate daily precipitation. Journal of Hydrology, 617, 128994.
Ficha en la editorial (Elsevier): https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169422015645

Hernanz, A. et al. (2021, 2022). Evaluation of statistical downscaling methods for climate change projections over Spain: Present conditions with perfect predictors. International Journal of Climatology, 42, 762–776. DOI: 10.1002/joc.7271
https://doi.org/10.1002/joc.7271

Koenker, R. (2005). Quantile Regression. Cambridge University Press.
Ficha del libro: https://doi.org/10.1017/CBO9780511754098

Wasko, C. (2021). Review: Can temperature be used to inform changes to flood extremes with global warming? Philosophical Transactions of the Royal Society A, 379, 20190551.
DOI: 10.1098/rsta.2019.0551.
https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0551

Pumo, D. & Noto, L. V. (2021). Deriving future rainfall depth–duration–frequency curves from hourly regional climate projections and simple scaling in Sicily. Atmospheric Research, 253, 105772. (Referencia sobre uso de escalado tipo CC/super-CC para curvas IDF.)
https://essd.copernicus.org/

ANEJOS

Anejo 1. Resumen del marco normativo y de las estrategias de adaptación al cambio climático de ámbito autonómico

La plataforma AdapteCCa es un espacio de consulta e intercambio de información sobre impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en España, impulsado conjuntamente por la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) y la Fundación Biodiversidad (MITECO). Su finalidad es facilitar el acceso a una base de conocimiento consistente y actualizada y servir como instrumento abierto de coordinación entre administraciones, comunidad científica y gestores.

Dentro de AdapteCCa, la sección "Comunidades Autónomas" reúne información sintética y actúa como puerta de entrada para conocer los marcos estratégicos, planes y programas de adaptación desarrollados por cada comunidad en el ejercicio de sus competencias. En la práctica, esta sección ofrece fichas autonómicas con un enfoque homogéneo, que combinan un breve texto contextual y tablas y recursos enlazados a fuentes oficiales.

De forma general, las fichas se estructuran en ocho apartados:

1) Marco legal
2) Evaluación de riesgos y prioridades de adaptación
3) Desarrollo de la adaptación en políticas sectoriales y locales
4) Buenas prácticas
5) Seguimiento y evaluación
6) Observación sistemática del clima e I+D+i
7) Información adicional
8) Contacto.

En el marco legal, AdapteCCa suele identificar leyes/estrategias/planes/programas, indicando su estado (p. ej., vigente/en proceso/no vigente) y aportando enlaces directos a boletines oficiales y portales institucionales; asimismo, recoge elementos de gobernanza (órganos responsables, de coordinación y participación) y referencias a instrumentos sectoriales o evaluaciones relevantes para la adaptación.

Este anejo toma AdapteCCa como fuente troncal para describir y enlazar los instrumentos autonómicos. La propia web indica que parte del contenido ha sido facilitado por las comunidades autónomas e incorpora una fecha de última actualización registrada, lo que aporta trazabilidad y permite identificar posibles lagunas o necesidades de contraste.

Finalmente, se hace constar que la cobertura de AdapteCCa en esta sección no incluye (o no desarrolla con el mismo nivel de detalle) las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla, que se tratan específicamente en este anejo con fuentes alternativas.

Andalucía

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/andalucia

Marco competencial

En Andalucía la responsabilidad en materia de cambio climático recae en la Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul, a través de la **Secretaría General de Medio Ambiente y Cambio Climático**http://adaptecca.es/comunidades-autonomas/andalucia. Esta Secretaría General ejerce las funciones de coordinación de la acción climática, apoyada por órganos específicos de gobernanza. Destacan la **Comisión Interdepartamental de Cambio Climático** (creada por Decreto 44/2020) para coordinar políticas entre consejerías, y el **Consejo Andaluz del Clima** (creado por Decreto 175/2021) como órgano de participación con representación de ONG, sector académico, administraciones locales y sector privado. Además, Andalucía cuenta con la **Oficina Andaluza de Cambio Climático**, establecida por la Ley 8/2018, encargada de impulsar las políticas climáticas y dar apoyo técnico en adaptación.

Marco normativo

Andalucía fue pionera al aprobar la **Ley 8/2018, de 8 de octubre, de medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético**. Esta ley elevó al máximo rango las iniciativas climáticas existentes, incluyendo objetivos y obligaciones tanto de mitigación como de adaptación. En desarrollo de la ley, se aprobó el **Plan Andaluz de Acción por el Clima (PAAC)** mediante Decreto 234/2021, que es el instrumento general de planificación climática autonómico. El PAAC 2021-2030 integra tres programas (mitigación, adaptación y comunicación) y sustituye a la anterior Estrategia Andaluza de Cambio Climático de 2002. Cabe mencionar que el Parlamento andaluz declaró la emergencia climática, reafirmando el compromiso político con estas medidas.

Instrumentos de planificación y estudios

En el **Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático** –parte del PAAC– se realizó un diagnóstico detallado de riesgos climáticos. Las proyecciones regionales muestran aumentos significativos de temperatura y una disminución progresiva de precipitaciones de hasta 20% hacia fin de siglo. Como resultado, la Junta identificó sectores estratégicos altamente vulnerables (turismo, agricultura, urbanismo, entre otros) y **riesgos prioritarios como sequías, inundaciones y escasez de agua**. Para apoyar la gestión del riesgo, la Oficina de Cambio Climático elaboró una **Guía metodológica para la evaluación y seguimiento de los riesgos climáticos** y una herramienta asociada. En cuanto a planificación sectorial, Andalucía integra la adaptación en diversos instrumentos: por ejemplo, el **Plan de Gestión de Riesgo de Inundación de las cuencas internas andaluzas** (derivado de la Directiva de Inundaciones) aborda las inundaciones en ríos de competencia autonómica, y planes sectoriales agrícolas incluyen medidas preventivas ante eventos extremos. Asimismo, se han impulsado ayudas para la acción climática municipal –756 ayuntamientos cuentan ya con planes locales de adaptación– reforzando la gobernanza multinivel.

Implicaciones para la planificación hidrológica

Las políticas andaluzas de adaptación subrayan la importancia del recurso hídrico. El diagnóstico autonómico identifica la **alteración del régimen de lluvias, con periodos de sequía más frecuentes e inundaciones más intensas, como el principal impacto climático en la región**. Andalucía ya incorpora medidas de adaptación hídrica en sus planes (p.ej. gestión de avenidas en cuencas internas), pero la **revisión de los planes hidrológicos deberá profundizar esta integración**. Dado que Andalucía comparte

cuencas intercomunitarias importantes, será clave la coordinación con las Confederaciones Hidrográficas para que las reducciones proyectadas de precipitaciones y el aumento de eventos extremos se consideren explícitamente. El **Programa Andaluz de Adaptación** provee un marco que orienta dichas consideraciones, buscando reducir la vulnerabilidad del agua en todos los ámbitos (urbano, agrícola y ecosistémico). En resumen, la comunidad andaluza ha avanzado en un robusto marco institucional y normativo de adaptación, cuyo éxito para el sector del agua dependerá de su reflejo en la planificación hidrológica de próxima generación.

Aragón

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/aragon

Marco competencial

En Aragón, la política climática está dirigida por el **Departamento de Medio Ambiente y Turismo** (tras la última reorganización de 2024), específicamente a través de la **Dirección General de Educación Ambiental** como órgano responsable en adaptación. Dicho departamento impulsa la Estrategia de cambio climático y coordina la acción transversal. Existe una **Comisión Interdepartamental de Cambio Climático** (creada por Decreto 86/2018) que reúne a todas las consejerías para asegurar la integración de la adaptación en sus ámbitos. Asimismo, Aragón cuenta con un **Consejo Aragonés del Clima** (Decreto 79/2019), órgano participativo que incluye a la administración estatal, autonómica y local, así como a la Universidad, centros de investigación, empresas, sindicatos y colegios profesionales. Este consejo asesora y canaliza la participación social en las políticas de adaptación regional.

Marco normativo

El instrumento principal es la **Estrategia Aragonesa de Cambio Climático a 2030 (EACC 2030)**, aprobada como marco integrador de mitigación y adaptación[26]. Esta Estrategia fue resultado de la adhesión de Aragón al Acuerdo de París y al esfuerzo compartido nacional, estableciendo objetivos de reducción de emisiones y de resiliencia a 2030. Actualmente, Aragón **no cuenta con una ley autonómica climática** en vigor (si bien trabaja en un anteproyecto de ley según las últimas informaciones). No obstante, ha emitido una **Declaración institucional en materia de Cambio Climático y Desarrollo Sostenible** (2015) como compromiso político. La comunidad declaró también la emergencia climática, reforzando la urgencia de la acción. Cabe señalar que Aragón elabora borradores legales para reforzar su marco normativo, alineándose con la aprobación de leyes similares en otras regiones.

Instrumentos de planificación y estudios

Aragón ha desarrollado un importante **Estudio de Impactos, Vulnerabilidad y Riesgos del Cambio Climático** en la región. Este estudio, publicado en su plataforma Aragón Clima, evalúa sectorialmente los efectos esperados y ha servido para priorizar medidas. Derivado de él, la Estrategia EACC 2030 define acciones de adaptación en ámbitos clave como gestión del agua, agricultura, bosques y turismo. En particular, Aragón reconoce la necesidad de **políticas de gestión del agua más resilientes** frente a la disminución de glaciares pirenaicos y caudales fluviales. Entre las iniciativas, destaca la incorporación de la adaptación en la **Planificación Hidrológica de la Cuenca del Ebro en**

territorio aragonés, mediante estudios específicos sobre sequías y eventos extremos. Asimismo, Aragón participa en proyectos europeos (p.ej. POCTEFA-Pirineos) orientados a la adaptación en montañas, y apoya la I+D local (por ejemplo, a través de su programa **Klima** de ayudas). Cabe mencionar la reciente elaboración de guías sectoriales, como la **Estrategia Aragonesa de Educación Ambiental** y la **Estrategia de Biodiversidad y Red Natura 2000**, que integran criterios de adaptación en conservación de ecosistemashttp://adaptecca.es/comunidades-autonomas/aragon.

Implicaciones para la planificación hidrológica

Aragón se enfrenta a desafíos hídricos acentuados por el cambio climático: **retroceso de glaciares fuente de agua, reducción de nevadas en el Pirineo, menor recarga de acuíferos y aumento de sequías en valles**. La Estrategia Aragonesa prioriza por ello la adaptación en gestión del agua, promoviendo eficiencia y nuevos recursos. De hecho, Aragón ya trabaja en **acciones para una gestión hídrica más resiliente y fuentes alternativas** (p.ej. fomento de embalses de regulación, recarga de acuíferos, reutilización). La revisión futura de los planes hidrológicos de la Cuenca del Ebro (y del Júcar en el sureste aragonés) deberá incorporar las conclusiones del Estudio de Impactos regional, garantizando caudales ecológicos en un contexto de escasez y planificando medidas frente a eventos extremos. La presencia de la Confederación Hidrográfica del Ebro en el Consejo Aragonés del Clima facilita esta coordinación. En suma, Aragón ha sentado las bases estratégicas y científicas para la adaptación; el agua, como recurso crítico, será el banco de prueba de estas políticas en la práctica de la planificación hidrológica.

Principado de Asturias

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/principado-de-asturias

Marco competencial

En Asturias, la autoridad climática recae en la **Consejería de Transición Ecológica, Industria y Desarrollo Económico**, que lidera las políticas de mitigación y adaptación. Dicha Consejería coordina las acciones climáticas de las demás, mediante la **Comisión de Coordinación de la Acción por el Clima de Asturias** (órgano colegiado interdepartamental creado en 2021). Esta Comisión asesora y alinea las políticas sectoriales con la estrategia climática. En cuanto a participación, se cuenta con el **Observatorio de Transición Justa de Asturias (OTJA)**, una iniciativa pública colaborativa que aborda la transición posindustrial, incluyendo aspectos de adaptación (particularmente en sectores afectados por el cierre de minas y centrales)http://adaptecca.es/comunidades-autonomas/principado-de-asturias. El OTJA sirve como foro de diálogo social y difusión, contribuyendo a incorporar criterios de justicia climática en la adaptación.

Marco normativo

Asturias aprobó la **Estrategia de Acción por el Clima del Principado de Asturias 2030** (EAxClima 2030) como su hoja de ruta integrada de mitigación y adaptación. Esta estrategia, alineada con el PNIEC y el PNACC nacionales, establece objetivos y medidas hasta 2030 y sustituye a planes anteriores. Actualmente, Asturias **no dispone de una ley autonómica de cambio climático**, pero ha declarado su intención de elaborar un Plan o Estrategia específica de Adaptación (anunciado en 2024). De hecho, se encuentra

en proceso de elaboración un plan regional de adaptación, según recoge la Estrategia 2030]. Asimismo, el Gobierno del Principado declaró la emergencia climática en 2019, reforzando el marco institucional. Mientras se materializa el plan de adaptación, la Estrategia 2030 incluye la adaptación como prioridad junto a la descarbonización.

Instrumentos de planificación y estudios

Aunque no existe aún un plan autonómico de adaptación finalizado, Asturias ha dado pasos importantes. Bajo la Estrategia 2030 se han iniciado trabajos para evaluar la vulnerabilidad sectorial. Por ejemplo, la Fundación Asturiana de la Energía desarrolló una **Herramienta de análisis de riesgos y vulnerabilidades climáticas** para apoyar a municipios y sectores en la identificación de riesgos locales. Asturias también participó en proyectos piloto de adaptación costera (en convenio con MITECO) para abordar los impactos en su franja litoral cantábrica. En el ámbito de salud, se ha integrado adaptación en el **Plan Asturias de Salud y Medio Ambiente**, reconociendo las sinergias entre condiciones ambientales y salud públicahttp://adaptecca.es/comunidades-autonomas/principado-de-asturias. Adicionalmente, el Principado cuenta con información climática detallada: informes como *"Evidencias y efectos potenciales del cambio climático en Asturias"* documentan aumentos históricos de temperatura (+0,21°C/década) y nivel del mar (+3 mm/año), mientras estudios de escenarios prevén cambios en fenología, desplazamiento de especies y riesgos costeros futuros. Estos conocimientos están sirviendo de base para definir las medidas de adaptación en elaboración.

Implicaciones para la planificación hidrológica

Asturias, con su régimen húmedo, podría pensar que el agua no será problema; sin embargo, el análisis regional muestra tendencias preocupantes: **reducción de precipitaciones en verano, alteración de estacionalidad y aumento de eventos extremos (sequías estivales e inundaciones invernales)**. La futura Estrategia de Adaptación asturiana deberá prestar especial atención a la gestión del agua: garantizar el abastecimiento urbano y la calidad fluvial ante escenarios de menor pluviometría y crecidas repentinas. Asturias participa en varias cuencas hidrográficas intercomunitarias (Cantábrico Occidental y Oriental, y Duero en parte sur); por tanto, la **colaboración con las Confederaciones Hidrográficas** será esencial para incorporar los escenarios climáticos regionales en los planes hidrológicos de cuenca. En paralelo, Asturias tiene competencias en gestión de aguas internas (ríos costeros cortos), donde ya puede integrar acciones de adaptación como planes de prevención de inundaciones locales. En resumen, aunque va rezagada en planificación formal de adaptación, Asturias está sentando las bases y herramientas para afrontar los riesgos climáticos, siendo el **manejo del agua un eje crítico** dada la importancia de sus ecosistemas fluviales, generación hidroeléctrica y sectores como la industria y la ganadería que dependen del recurso hídrico.

Islas Baleares

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/illes-balears

Marco competencial

En las Illes Balears, la acción climática depende del **Gobierno Balear** a través de la **Dirección General de Energía y Cambio Climático**, adscrita a la Conselleria de Transición Energética (o equivalente según la legislatura). Esta Dirección General es la encargada de planificar, coordinar y ejecutar las políticas de mitigación y adaptación en el

archipiélago. La Ley autonómica 10/2019 creó dos órganos clave de gobernanza: la **Comisión Interdepartamental de Cambio Climático**, para coordinar a nivel de todo el Govern las líneas de actuación climática (su reunión constitutiva fue en noviembre de 2020); y el **Consejo Balear del Clima**, órgano colegiado consultivo que asesora al Govern y canaliza la participación de sectores sociales y económicos en políticas de mitigación y adaptación. Este Consejo, regulado por Decreto 38/2021, incluye representantes de administraciones, sociedad civil y sector privado. En cuanto a la escala local, la Ley balear estableció la obligatoriedad de que todos los municipios elaboren Planes de Acción para la Energía Sostenible y el Clima (PAESC), reforzando la gobernanza climática municipal; a fines de 2023 prácticamente **el 79% de los municipios baleares ya habían aprobado sus PAESC** conforme al Pacto de las Alcaldías.

Marco normativo

La **Ley 10/2019, de 22 de febrero, de cambio climático y transición energética de Illes Balears** es la piedra angular normativa. Esta ley posicionó a Baleares entre las primeras CCAA con ley climática, estableciendo objetivos de descarbonización pero también medidas de adaptación. La Ley 10/2019 declaró la emergencia climática en el archipiélago (formalizada en noviembre de 2019), reconociendo la especial vulnerabilidad insular. Como desarrollo de la ley, se preveía un **Plan de Transición Energética y Cambio Climático** regional; si bien este plan sufrió retrasos (la ley lo exigía antes de abril de 2021, su elaboración seguía en curso en 2025). En ausencia de un plan 2030 en vigor, Baleares ha operado bajo la **Estrategia Balear de Lucha contra el Cambio Climático 2013-2020**, que constituyó el marco inicial de actuación. Dicha Estrategia 2013-2020, aprobada por la Comisión Interdepartamental, integraba objetivos de adaptación enfocados en la investigación de impactos (eventos extremos, especies invasoras, recursos hídricos, etc.) y en la incorporación de la adaptación en las políticas sectoriales. Actualmente, se está formulando una nueva estrategia/horizonte 2030 alineada con la Ley 10/2019 y con la Estrategia de Descarbonización balear.

Instrumentos de planificación y estudios

La insularidad y singularidad mediterránea hacen que Baleares haya dedicado esfuerzos específicos a conocer sus riesgos. La Estrategia 2013-2020 impulsó la elaboración de **informes sectoriales de vulnerabilidad** y un Plan de Acción de Adaptación, sentando las bases para medidas concretas. Entre los focos de adaptación están la gestión del **agua**, dada la sobreexplotación de acuíferos, y la protección del litoral ante la **erosión costera y la elevación del nivel del mar**. En este sentido, Baleares participa en proyectos de observación marina (por ejemplo, a través del SOCIB, Sistema de Observación Costero de Baleares) que monitorean el calentamiento y nivel del mar. También desarrolla herramientas para **clima local**: la Agencia balear de meteorología (AEMET Illes Balears) provee escenarios regionalizados empleados en la planificación. En cumplimiento de la Ley 10/2019, se han impulsado los PAESC municipales –cada uno con evaluación de riesgos locales y acciones de adaptación a nivel urbano–, convirtiendo a Baleares en una de las regiones con mayor implantación de planes locales. Además, se integran criterios de adaptación en la planificación territorial y turística; por ejemplo, el Plan Territorial Insular de Menorca ha incorporado medidas de resiliencia costera. Cabe destacar la iniciativa *"La Costa Balear frente a la Emergencia Climática"* (2022), diagnóstico participativo de riesgos en el litoral balear. En conjunto, si bien falta un plan integrado 2030 aún, Baleares cuenta con una base estratégica y normativa para emprender acciones de adaptación multiescalar.

Implicaciones para la planificación hidrológica

Los desafíos de adaptación en Baleares se centran en **garantizar los recursos hídricos y proteger el medio costero**. El cambio climático agrava la escasez endémica de agua dulce en las islas: las precipitaciones anuales han mostrado tendencia a la baja en 30 años y las proyecciones sugieren descensos adicionales. La Ley 10/2019 responde a ello incluyendo un *Programa de Adaptación* para incorporar medidas en la planificación hidráulica y territorial. En la revisión de los planes hidrológicos insulares (que son de competencia autonómica, al ser demarcaciones intracomunitarias), se deberán considerar actuaciones como la recarga artificial de acuíferos, el incremento de la capacidad de desalación sostenible y la reutilización de aguas depuradas, todas mencionadas en las estrategias baleares. Asimismo, eventos extremos recientes (tormentas súbitas e inundaciones, como la de Sant Llorenç en 2018) evidencian la necesidad de mejorar la **gestión del riesgo de inundación** en cauces torrenciales de corto recorrido típicos de las islas. Por otro lado, el ascenso del nivel del mar amenaza infraestructuras costeras y playas; la adaptación costera (e.g. recuperación de sistemas dunares, planes de retroceso en zonas erosionables) deberá ser integrada en la planificación territorial con apoyo del Estado. En síntesis, Baleares ha avanzado normativamente con una ley pionera y una estrategia emergente; el **éxito de su adaptación en el sector del agua** –recurso crítico insular– dependerá de ejecutar las hojas de ruta definidas y de una gestión integrada que considere la limitada "capacidad de maniobra" de un territorio insular frente al cambio climático.

Canarias

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/canarias

Marco competencial

La Comunidad Autónoma de Canarias gestiona la adaptación al cambio climático a través de la **Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial** (denominación vigente hasta 2023, actualmente reorganizada junto con energía). En su seno, la autoridad técnica recae en la Dirección General competente en cambio climático. La Ley 6/2022 de Canarias ha previsto además la creación de la **Oficina Canaria de Acción Climática**, como órgano ejecutivo para impulsar las acciones de la ley. Esta Oficina, de carácter administrativo, está en desarrollo y entre sus funciones estará coordinar y dar seguimiento a las medidas de adaptación. En cuanto a la coordinación horizontal, existe la **Comisión Canaria de Acción Climática y Energía**, órgano que reúne a representantes de todos los departamentos del Gobierno canario para asegurar la coherencia de las políticas de mitigación y adaptación. Adicionalmente, un aspecto innovador es la **Red Canaria de Acción Climática**, un marco de gobernanza multinivel que integra al Gobierno autonómico, los **Cabildos Insulares** (gobiernos de cada isla) y los ayuntamientos, con el fin de coordinar las acciones climáticas en todo el archipiélago. Esta red reconoce la importancia de la escala insular en la adaptación. Finalmente, para favorecer la participación social y el conocimiento, se están estableciendo las **Oficinas Verdes** en cada isla, puntos de atención para ciudadanía y empresas sobre ayudas, iniciativas y estrategias de transición ecológica.

Marco normativo

Canarias cuenta desde diciembre de 2022 con la **Ley 6/2022, de 27 de diciembre, de Cambio Climático y Transición Energética**, su primera ley integral en la materia. Esta ley –aprobada poco después de la Ley estatal– establece objetivos de reducción de emisiones y orienta la política energética, pero también dedica un título completo a la

adaptación. Entre otros mandatos, la Ley 6/2022 requiere la elaboración de varios instrumentos: una **Estrategia Canaria de Acción Climática** (aprobada por Decreto 80/2023) que fija directrices a largo plazo, y un **Plan Canario de Acción Climática** a 2030 (en proceso de redacción) que operativizará dichas directrices. Asimismo, se prevé un **Plan Canario de Adaptación Climática (PCAC)** específico de adaptación, actualmente en elaboración. A nivel subregional, la ley impulsa la redacción de **Planes Insulares de Acción Climática (PIAC)** en cada isla, aprovechando la estructura de cabildos insulares. En el ámbito municipal, se fomenta la adopción de **Planes de Acción para el Clima y la Energía Sostenible (PACES)** en línea con el Pacto de las Alcaldías. Todo este despliegue normativo sitúa a Canarias en la vanguardia, alineándose con el marco europeo y nacional. Cabe señalar que previamente Canarias no disponía de una estrategia climática formal; las bases las sentó el **Plan Canario de Lucha contra el Cambio Climático 2009-2012** y estudios regionales, pero ahora la Estrategia 2023 marca un horizonte 2040-2050 con mayor ambición. También en 2019 se declaró la **emergencia climática** en Canarias, reflejando la preocupación institucional.

Instrumentos de planificación y estudios

Dado su carácter insular subtropical, Canarias ha centrado sus estudios en los impactos específicos que ya experimenta. Observaciones de las últimas décadas revelan un **aumento de la frecuencia e intensidad de olas de calor terrestres y marinas**, mayor incidencia de invasiones de polvo sahariano (calima) y una **disminución notable de las precipitaciones** anuales. Estos cambios están generando desequilibrios ambientales y socioeconómicos, afectando desde los ecosistemas hasta sectores claves como el turismo. Para fundamentar las acciones, el Gobierno canario ha impulsado la mejora del conocimiento local: se han realizado proyecciones climáticas regionales (por la ULL y AEMET, adaptando EURO-CORDEX) enfocadas en las islas, ya que las simulaciones europeas a veces excluían Canarias. Con base en estas proyecciones y evaluaciones de vulnerabilidad (ej. *Diagnóstico de riesgos y vulnerabilidades en Canarias* de 2020), la **Estrategia Canaria de Acción Climática 2023** identifica áreas prioritarias de adaptación: gestión de recursos hídricos, protección de costas, salud pública, energía (especialmente por menor disponibilidad hidroeléctrica) y turismo. En particular, se están desarrollando planes sectoriales: p.ej., un **Plan de Adaptación del Sector Turístico** enfocado en diversificación y resiliencia, y se han incorporado criterios de adaptación en el Plan de Gestión de Riesgos de Inundación de las islas. Asimismo, Canarias participa en proyectos europeos Life (p. ej. Life Garachico para adaptación costera) y colabora con la Agencia Estatal de Meteorología en herramientas como el nuevo Visor AdapteCCa que desde 2025 incluye las islas. Un elemento innovador es la inclusión de los cabildos: algunos cabildos (Tenerife, Gran Canaria) ya elaboran sus propios planes insulares de adaptación en coordinación con el gobierno regional.

Implicaciones para la planificación hidrológica

Las Islas Canarias, por su climatología y orografía, enfrentan retos hídricos críticos amplificados por el cambio climático. La **precipitación se ha reducido y se espera que continúe disminuyendo**, exacerbando la escasez estructural de agua dulce. Las islas dependen fuertemente de la desalación y de acuíferos frágiles; por tanto, la adaptación en el sector del agua es prioritaria. La Ley 6/2022 y la Estrategia climática incorporan un Programa de Adaptación que deberá traducirse en acciones concretas en los **Planes Hidrológicos Insulares**. Cabe recordar que cada isla (o grupo de islas) constituye una demarcación hidrográfica propia, gestionada por los Consejos Insulares de Aguas, bajo supervisión autonómica. En la próxima revisión de estos planes, será imperativo incluir las proyecciones de menor recarga de acuíferos y mayor demanda por temperaturas en alza, así como medidas como la mejora de la eficiencia en riegos agrícolas, incremento de la capacidad de **almacenamiento de agua en épocas húmedas** y ampliación de plantas desaladoras con energías renovables. Igualmente, los eventos extremos merecen atención: en los últimos años se observan **periodos prolongados de sequía seguidos de lluvias torrenciales** que causan inundaciones repentinas y escorrentías que apenas infiltran; la planificación territorial y de emergencia insular deberá adaptarse a este nuevo régimen. Por último, la economía canaria, basada en el turismo, depende de su clima benigno: la adaptación en agua (garantizar abastecimiento y calidad) y en

costas (playas, infraestructuras) será determinante para su resiliencia futura. En suma, Canarias ha establecido un marco robusto con ley y estrategia; el reto será implementarlo coordinadamente en todas las islas, asegurando que la **gestión del agua y del litoral se anticipen a los impactos previstos** para preservar el equilibrio ambiental y el desarrollo socioeconómico del archipiélago.

Cantabria

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/cantabria

Marco competencial

En Cantabria, la política de cambio climático se articula desde la **Consejería de Desarrollo Rural, Ganadería, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente** (nombre vigente hasta 2023; la nueva estructura de gobierno podría cambiar competencias). Técnicamente, la **Dirección General de Medio Ambiente** del Gobierno de Cantabria actúa como órgano responsable de las acciones de adaptación. Para coordinar a nivel horizontal, Cantabria creó tempranamente la **Comisión Interdepartamental de Cambio Climático** (Decreto 145/2007), con representantes de las distintas consejerías, y su Ponencia Técnica, con el fin de integrar criterios climáticos en todas las áreas de la administración. En materia de participación pública, Cantabria aprovecha su **Consejo Asesor de Medio Ambiente** como foro donde un grupo de trabajo específico de cambio climático (creado en 2009) discute medidas y canaliza la colaboración de agentes sociales, incluyendo colegios profesionales (ej. Colegio de Veterinarios) añadidos al Consejo para tratar este tema. Es decir, Cantabria no cuenta con un consejo climático independiente, sino que integra la temática en su consejo ambiental, reflejo de una estructura de gobernanza más sencilla.

Marco normativo

Cantabria aprobó en 2018 su **Estrategia de Acción frente al Cambio Climático de Cantabria 2018-2030**, que actúa como marco estratégico regional. Esta Estrategia, adoptada por **Decreto 32/2018, de 12 de abril** del Gobierno cántabro, actualizó una estrategia previa más limitada y estableció objetivos en todos los sectores (difusos, energía, etc.) con horizonte 2030. La Estrategia 2018-2030 es *mixta*, abordando mitigación y adaptación: parte del reconocimiento de que, aunque hay que frenar las emisiones, **los impactos del cambio climático son inevitables y requieren preparar a Cantabria para resistirlos**. Cabe señalar que Cantabria **no tiene aún una ley autonómica de cambio climático**. Se llegó a plantear una Ley en la pasada legislatura (2019-2023), pero no se concretó antes del cambio de gobierno. Sin embargo, el nuevo Ejecutivo ha manifestado interés en retomar algún instrumento normativo. Mientras tanto, Cantabria declaró la emergencia climática en 2019 como gesto político de compromiso. La Estrategia 2018-2030 sigue siendo la referencia, aunque su implementación depende de planes de acción que deben activarse con cada gobierno. En 2023 se anunció la preparación de una nueva estrategia o plan energético-climático, pero está pendiente de confirmación.

Instrumentos de planificación y estudios

La Estrategia cántabra 2018-2030 fue elaborada mediante un amplio proceso participativo y contiene **numerosas acciones de adaptación organizadas en enfoques estratégicos**. De hecho, se parte de la premisa de que la adaptación es parte fundamental de las políticas contra el cambio climático en Cantabria. Entre los estudios base, Cantabria realizó proyecciones regionales que indican un aumento de temperatura y posibles cambios en el régimen de precipitación para la región norte, aunque de magnitud moderada comparada con el sur de España. También se han analizado impactos sectoriales: por ejemplo, el **Proyecto LIFE IDEAR** (2016) evaluó la influencia del clima futuro sobre ecosistemas clave (hayedos, turberas) de la Cordillera Cantábrica. La Estrategia identifica sectores críticos para la adaptación: **gestión del agua** (por la reducción prevista de caudales en estiaje), **litoral** (erosión costera por temporales en la franja cantábrica), **bosques** (riesgo de incendios en veranos más secos) y **salud** (olas de calor más frecuentes). En particular, Cantabria ha puesto foco en la costa: colabora con el Ministerio en la **Estrategia de Adaptación de la Costa Cantábrica** y ha restaurado ecosistemas dunares y marismas (p.ej., proyecto de regeneración de Marismas de Joyel). Otra área destacada es la investigación agrícola: el Gobierno cántabro encargó estudios sobre los efectos en los pastos y cultivos (ej. viñedos emergentes) para orientar al sector primario. Asimismo, se han financiado proyectos piloto a nivel municipal, a través de la Red de Municipios cántabros hacia la Sostenibilidad, para soluciones basadas en la naturaleza (como el programa **Adapta Urban** en Santander y Camargo).

Implicaciones para la planificación hidrológica

En Cantabria, comunidad verde y húmeda, el agua no es un recurso escaso en términos absolutos; sin embargo, el cambio climático puede alterar significativamente su distribución temporal y espacial. **Los escenarios apuntan a veranos más secos y calurosos, con riesgo de sequías locales, y a episodios de lluvias torrenciales en otoño-invierno** que podrían agravar inundaciones en cuencas cortas. Además, el **ascenso del nivel del mar** amenaza zonas bajas costeras (Marismas de Santoña, ría de Tina Menor, etc.). Por ello, la adaptación del agua y la costa es prioritaria. La Confederación Hidrográfica del Cantábrico (organismo estatal) gestiona la mayoría de cuencas cántabras; es fundamental que en la revisión de su Plan Hidrológico incorpore las proyecciones regionales de Cantabria y las medidas derivadas (por ejemplo, aumentar capacidad de embalse invernal para garantizar caudales en verano, protección de humedales como amortiguadores naturales). Cantabria, a través de convenios con Confederación, ya ha desarrollado planes de gestión de sequías para ríos como el Pas y el Besaya considerando escenarios climáticos. La presencia de la Confederación en el grupo de trabajo climático regional facilita estos avances. En síntesis, la comunidad cántabra ha definido estratégicamente su camino de adaptación; corresponde ahora integrar esas acciones en la planificación sectorial. **La gestión del agua –incluyendo agua dulce y sistemas costeros– será un eje central**, dada la importancia de sus ríos trucheros, su litoral y la dependencia de la calidad y regularidad hídrica para sectores agrícolas emergentes y el turismo verde de naturaleza que Cantabria promociona para diversificar su economía.

Castilla-La Mancha

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/castilla-la-mancha

Marco competencial

La Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha asigna las competencias de cambio climático a la Consejería que engloba medio ambiente (actualmente la **Consejería de Desarrollo Sostenible**). Dentro de ella, la encargada es la **Dirección General de Economía Circular y Cambio Climático** (denominación vigente hasta 2023). Este órgano es responsable de planificar la acción climática regional y coordinar a las demás consejerías en medidas de mitigación y adaptación. Para la gobernanza horizontal, se creó una **Comisión Interdepartamental de Cambio Climático de Castilla-La Mancha** en 2019, que reúne a representantes de todos los departamentos para elaborar, ejecutar y seguir la estrategia regional. En el ámbito de la participación, Castilla-La Mancha cuenta con un **Consejo Asesor de Medio Ambiente** (órgano consultivo con agentes sociales, sectoriales y administración), que aborda también aspectos de cambio climático –aunque no exista un consejo específico, este foro permite tratar medidas de adaptación con participación social–. La comunidad declaró la emergencia climática en 2019, lo que impulsó la adopción de su estrategia regional climática. Además, actualmente **se trabaja en un Anteproyecto de Ley de Cambio Climático** autonómica, que dotaría a la región de un marco legal específico para reforzar institucionalmente estas competencias.

Marco normativo

Castilla-La Mancha cuenta con la **Estrategia de Cambio Climático, Horizonte 2020-2030**, aprobada mediante la Orden 4/2019, de 18 de enero. Esta estrategia es un documento integral que persigue tanto la reducción de emisiones como la adaptación. Sus objetivos incluyen **identificar las amenazas del cambio climático y reducir la vulnerabilidad del territorio castellano-manchego, aumentando su capacidad de adaptación**. La Estrategia 2020-2030 se alinea con PNIEC y PNACC estatales e involucra a todos los sectores (energía, transporte, agricultura, etc.). En paralelo, desde 2020 CLM viene trabajando en su **Ley autonómica de Cambio Climático** –el anteproyecto estaba en elaboración en 2025–, que una vez aprobada consolidará las medidas de la estrategia en obligaciones legales. Mientras llega la ley, la Estrategia 2020-2030, respaldada por la Declaración de emergencia climática regional (2019), ha sido la guía. Cabe mencionar que Castilla-La Mancha fue pionera en incluir criterios climáticos en normativas sectoriales: por ejemplo, la Ley 7/2019 de Biodiversidad CLM incorporó la adaptación ecosistémica, y ya en 2010 la región aprobó la Ley 7/2010 de Montes que preveía adaptar la gestión forestal al clima futuro.

Instrumentos de planificación y estudios

La Estrategia 2020-2030 ha dado lugar a políticas tanto de mitigación (fomento renovables) como de adaptación en CLM. Se realizaron **análisis climáticos regionales** que evidenciaron un aumento de +1,4ºC en la temperatura media regional en 40 años y una importante reducción de precipitaciones, junto con mayor frecuencia de tormentas intensas, sequías y olas de calor. Con este diagnóstico, la estrategia definió líneas de acción adaptativas. Entre ellas, **agricultura y ganadería** (sectores clave) para afrontar sequías; **gestión del agua** ante la disminución de recursos hídricos; **incendios forestales** por mayor aridez; **planificación urbana** para adaptar ciudades al calor; y **salud**

pública (ej. planes ante olas de calor). Se han impulsado medidas concretas: por ejemplo, la incorporación obligatoria de evaluaciones de impacto climático en la *evaluación ambiental* de planes y proyectos (siguiendo mandatos europeos). También, CLM participa en proyectos nacionales como *"Adapta Agroclima"* con el Ministerio, para evaluar impactos en cultivos extensivos (trigo, vid). A nivel local, varios municipios de CLM se han adherido al Pacto de Alcaldías, elaborando PAESC que incluyen secciones de adaptación. Un caso destacado es Toledo, que desarrolla un Plan de Adaptación Municipal al calor extremo. En cuanto a estudios sectoriales, se cuenta con el informe **"Análisis de los impactos del cambio climático en CLM"** de la Universidad regional (UCLM), que sirvió de base a la estrategia, identificando que **sectores como agricultura, recursos hídricos y salud son los más vulnerables**. Por último, CLM colabora con regiones vecinas en foros de adaptación en la España semiárida (Red de regiones del sur) para intercambiar buenas prácticas, dada su ubicación geográfica especialmente expuesta.

Implicaciones para la planificación hidrológica

Castilla-La Mancha abarca parte de las cuencas hidrográficas más tensionadas de España (Tajo, Guadiana, Júcar, Segura), por lo que la **gestión del agua bajo cambio climático es un asunto crítico**. La propia Estrategia regional reconoce que el cambio climático incide en sectores clave como la agricultura y ganadería a través de la disponibilidad de recursos hídricos. En un territorio de pluviometría baja y alta evaporación, se proyectan **sequías más frecuentes y largas, y eventos de lluvias torrenciales concentradas**. Así, la adaptación deberá orientarse a: mejorar la eficiencia de riego (tecnificación, cultivos resilientes), ampliar la capacidad de regulación (pequeñas balsas, recarga de acuíferos) y reforzar la cooperación interregional en trasvases y cesiones de agua, dado que CLM es cedente y receptor en diferentes sistemas. La Junta de CLM, aunque sin competencia directa en las confederaciones, debe influir en la **revisión de los Planes Hidrológicos del Tajo, Guadiana, Júcar y Segura** para introducir escenarios de cambio climático (ya esbozados en los planes de tercer ciclo) con mayor detalle regional. Un ejemplo es el río Júcar, donde CLM y la Generalitat Valenciana comparten cuenca: la reducción proyectada de aportaciones exige planificar medidas conjuntas de adaptación, como las planteadas en la estrategia Júcar 2030. En síntesis, Castilla-La Mancha ha dado pasos normativos y de planificación robustos; ahora el gran desafío es trasladar esas directrices al **día a día de la gestión del agua**, garantizando que la revisión en curso de los planes hidrológicos incorpore plenamente la evidencia climática y las medidas de adaptación necesarias para salvaguardar agricultura, ecosistemas hídricos (acuíferos de La Mancha) y abastecimientos urbanos en décadas venideras.

Castilla y León

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/castilla-y-leon

Marco competencial

En Castilla y León las competencias de cambio climático las ejerce la Consejería con atribuciones en medio ambiente (actualmente la **Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio**). La ejecución recae en la **Dirección General de Calidad y Sostenibilidad Ambiental**, que engloba la Oficina de Cambio Climático regional. No existe una consejería exclusiva de clima; se integra en medio ambiente, lo que condiciona la priorización de adaptación. Para la coordinación, en 2020 la Junta aprobó la creación de un **Comisionado o Comisión Interconsejerías** para las medidas climáticas (derivadas del Acuerdo 26/2020), aunque su funcionamiento no ha trascen-

dido. Adicionalmente, Castilla y León aprovecha su **Consejo Regional de Medio Ambiente** como espacio participativo donde las organizaciones agrarias, ecologistas, universidades y entidades locales discuten también aspectos de cambio climático. Cabe destacar el papel activo de la Fundación CESEFOR (centro de servicios forestales regional) y del Observatorio de Sostenibilidad regional, que apoyan con investigación climática. En resumen, la gobernanza autonómica de adaptación en CyL ha sido hasta ahora algo dispersa, sin un órgano dedicado específico, pero con esfuerzos de coordinación a través de estructuras ambientales existentes.

Marco normativo

Actualmente, Castilla y León **no dispone de una estrategia autonómica actualizada en materia de adaptación**. La última fue la *Estrategia Regional de Cambio Climático 2009-2012-2020*, la cual incluía un Programa 4 dedicado a adaptación, pero este marco quedó desfasado tras 2020. En junio de 2020, la Junta de CyL aprobó el **Acuerdo 26/2020, de 4 de junio**, que contiene una batería de *Medidas contra el Cambio Climático*, entre ellas la elaboración de una ley autonómica y la actualización de la estrategia climática. Sin embargo, si bien el Acuerdo activó algunas acciones (por ejemplo, creación de un registro de huella de carbono regional), la pandemia y posteriores cambios políticos retrasaron su implementación. A fecha de 2025, Castilla y León está tramitando su **Ley del Clima** –un anteproyecto avanzado cuya aprobación se espera para 2025–. Esa ley, una vez en vigor, subsanará el vacío normativo, estableciendo objetivos y obligaciones en mitigación y adaptación (por ejemplo, la versión conocida plantea un Plan Regional de Adaptación a 2030). Mientras tanto, la comunidad se rige por planes y estrategias sectoriales (energía, forestal, etc.) y por la referida Estrategia 2009-2020 en los aspectos no cubiertos por Acuerdo 2020. También en 2019 las Cortes de CyL emitieron una Declaración de emergencia climática, instando al ejecutivo a intensificar las políticas climáticas.

Instrumentos de planificación y estudios

Aunque sin estrategia vigente, Castilla y León ha realizado diversos estudios de impactos y ha emprendido acciones sectoriales. A nivel de conocimiento, la Xunta (Junta) coordinó el proyecto CLIGAL (2008-2010) para analizar evidencias del cambio climático en la región noroeste, cuyos resultados se publicaron en el libro *"Evidencias e impactos del cambio climático en Castilla y León"*. De estos estudios se obtuvo que en el período 1961-2006 la comunidad experimentó aumentos de temperatura en torno a +0,3°C/década en verano y cambios en el régimen pluviométrico (más lluvia invernal, menos estival). Sobre esa base, la (ya antigua) Estrategia 2009-2012 delineó un *Programa de Adaptación* con una metodología: análisis de escenarios AEMET, caracterización territorial, evaluación de vulnerabilidad, diagnóstico de impactos y definición de medidas. Bajo esta orientación se realizaron **estudios sectoriales para agricultura, sanidad y turismo** (publicados hacia 2013), quedando pendientes otros (biodiversidad, recursos hídricos, etc.). Esos documentos incluyeron medidas preliminares de adaptación para cada sector. Por ejemplo, en agricultura se propuso fomentar cultivos resistentes a sequía y cambiar calendarios de siembra; en turismo de nieve (zona San Isidro) plantearon diversificación ante menor innivación; y en salud se contempló reforzar la vigilancia epidemiológica de enfermedades vectoriales. Más recientemente, la Junta ha desarrollado la **Estrategia de Economía Circular 2030** que incorpora la resiliencia climática en industria y gestión de residuos (como prevención de incendios en vertederos por calor). También se ha sumado a la Misión de la UE de Adaptación en regiones, con un proyecto piloto en la provincia de León sobre resiliencia de áreas rurales. Sin embargo, la falta de un plan integrado ha dejado sin consolidar muchas de estas iniciativas. La buena noticia es que la futura Ley prevé obligar a actualizar la Estrategia de Cambio Climático incorporando plenamente la adaptación.

Implicaciones para la planificación hidrológica

Castilla y León, al ser una región extensa que abarca cuencas del Duero, Ebro, Tajo, Miño y Norte, tiene realidades hídricas variadas. Las proyecciones climáticas indican **tendencia a menor precipitación media anual, especialmente en verano, y aumentos térmicos que implicarán mayor evapotranspiración**. Esto conlleva riesgos de **escasez hídrica** en la meseta (bajada de caudales en el Duero y sus afluentes) y potenciales **inundaciones más intensas** en épocas de lluvia concentrada (como las cuencas del norte montañoso). La adaptación del agua en CyL deberá abordar ambos extremos. La Junta, aunque sin competencias directas sobre confederaciones, tiene responsabilidad en la **Demarcación Intracomunitaria de las Cuencas de Castilla y León** (pequeñas cuencas endorreicas o internas). En esas, puede implementar medidas como la restauración de humedales para retener agua en invierno y liberar en estiaje, o construir infraestructuras verdes (áreas de laminación naturales) para amortiguar riadas. En el plano interregional, la coordinación es crucial: CyL es cabecera del Duero (que luego fluye a Portugal) y su cambio climático impactará la disponibilidad aguas abajo. Incorporar previsiones de menor aporte nival desde la Cordillera Cantábrica y Montes de León en los planes del Duero es fundamental –y en ello está involucrada la Confederación del Duero, que ya trabaja con escenarios AdapteCCa en su plan vigente–. Asimismo, en la Cuenca del Ebro (que incluye parte de Soria y Burgos) y en la del Tajo (Guadalajara), CyL deberá participar activamente en la planificación hidrológica para garantizar que las medidas de adaptación (p.ej. nuevos embalses de cabecera, modernización de canales de regadío) consideren sus intereses territoriales. En definitiva, sin una estrategia propia vigente, **Castilla y León se apoya en la planificación nacional para la adaptación del agua**, pero la futura estrategia autonómica post-2025 deberá concretar acciones locales: desde planes municipales contra inundaciones (como han desarrollado ciudades en riberas del Arlanzón o Pisuerga) hasta guías para viticultores en Rueda o Ribera del Duero frente a veranos más cálidos. La esperada Ley del Clima de 2025 es la oportunidad para integrar todas estas piezas y dotar a la comunidad de un marco sólido que oriente la adaptación hídrica en sintonía con los planes hidrológicos y de protección civil.

Cataluña

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/catalunya

Marco competencial

Cataluña cuenta con una estructura avanzada en gobernanza climática. La implementación recae en la **Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC)**, organismo técnico dentro de la administración catalana (actualmente adscrito al Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural). La OCCC, creada en 2008, tiene la misión de desarrollar las políticas de mitigación y adaptación en Cataluña, asegurando su integración en todas las áreas sectoriales. A nivel político, la autoridad es el mencionado **Departament d'Acció Climàtica** (denominación desde 2021, que elevó el rango de la temática climática al crear una conselleria específica). En cuanto a coordinación, la Ley catalana 16/2017 estableció la **Comisión Interdepartamental del Cambio Climático**, órgano que reúne a representantes de todas las consejerías para asegurar el cumplimiento transversal de la Ley y la Estrategia de adaptación. Existe también un **Consejo Catalán de Medio Ambiente y Sostenibilidad**, órgano consultivo donde expertos independientes asesoran en políticas ambientales, incluyendo el cambio climático. Adicionalmente, Cataluña ha fomentado la participación local mediante la **Xarxa de Ciutats i Pobles cap a la Sostenibilitat**, una red de municipios que colabora con la Generalitat (vía Diputaciones) en compartir herramientas y proyectos de adaptación local. Esta red ha sido fundamental para, por ejemplo, desarrollar planes de adaptación en ciudades como Barcelona, Terrassa o Girona en coordinación con la estrategia regional.

Marco normativo

Cataluña fue la primera comunidad en dotarse de una ley específica de cambio climático: la **Llei 16/2017, de l'1 d'agost, del canvi climàtic**. Esta ley persigue cinco finalidades fundamentales: reducir emisiones, reforzar la adaptación, impulsar la investigación, promover la participación ciudadana y transitar hacia la neutralidad. En particular, refuerza la adaptación obligando a integrar el cambio climático en la planificación territorial, urbanística y sectorial. La Ley 16/2017 también crea instrumentos como el impuesto al CO_2 (actualmente en vigor) y mecanismos de participación (Asamblea ciudadana deliberativa, etc.). Si bien partes de la ley fueron recurridas, los aspectos de adaptación se mantuvieron. Cataluña cuenta además con una estrategia de adaptación de largo plazo: la **Estrategia Catalana de Adaptación al Cambio Climático 2013-2020 (ESCACC)**, aprobada en 2012, que fue su primer plan integral de adaptación. Cumplido ese periodo, la Generalitat elaboró la nueva **Estrategia ESCACC30 (2021-2030)**, **aprobada en 2023** como marco estratégico de referencia para la adaptación hasta 2030. La ESCACC30 alinea Cataluña con la Estrategia de Adaptación de la UE a 2030 y con el PNACC nacional. Además, en mitigación, Cataluña aprobó el **Pla Integrat d'Energia i Canvi Climàtic 2012-2020** (Pla ESCACC) y recientemente el **Pla Nacional d'Energia i Clima de Catalunya 2030**, asegurando la coherencia entre mitigación y adaptación. Por último, cabe citar la **Declaració d'emergència climàtica de Catalunya** (gener 2020), que instó a acelerar tanto la reducción de emisiones como las medidas adaptativas.

Instrumentos de planificación y estudios

Cataluña dispone de un robusto aparato de estudios científicos de apoyo. La OCCC elabora informes periódicos (**"Tercer Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya"** publicado en 2020) que evalúan los impactos en detalle por sectores: recursos hídricos, bosques, agricultura (especialmente viñedos), salud, energía, infraestructuras, etc. Fruto de estos análisis, la nueva **ESCACC30** estructura la adaptación en 3 objetivos y 13 líneas de acción. Por ejemplo, el **Objetivo 4** de la estrategia es *"Incrementar la resiliència als impactes del canvi climàtic"*, con líneas dedicadas a **recursos naturals, població i aigua**. Esto implica fortalecer la planificación territorial (p.ej. incorporando mapas de riesgo de inundación en planes urbanísticos), proteger ecosistemas acuáticos y garantizar el suministro urbano ante sequías. Se han puesto en marcha iniciativas como el programa **Life MEDACC** para adaptar cuencas mediterráneas (en Muga, Segre y Ter) mediante la recuperación de mosaicos agrícolas y boscosos que reduzcan la evapotranspiración y el riesgo de incendios. También destaca el proyecto **Life MIDMACC** (con La Rioja y Aragón) sobre adaptación en áreas de media montaña mediterránea. En agricultura, el INCAVI (Instituto de la Viña y el Vino) investiga variedades de uva resistentes a calor y estrés hídrico para mantener la denominación Priorat o Penedès bajo clima cambiante. En gestión del agua, la Agencia Catalana del Agua (ACA) ha adaptado el **Pla Hidrològic de les Conques Internes de Catalunya 2022-2027** integrando escenarios de reducción de aportaciones de hasta el 18% en 2050 y contemplando medidas de ahorro, reutilización y desalación para compensarlo. Asimismo, Cataluña ha invertido en **modelos climáticos regionales**: a través del Meteocat y el Servei Meteorològic de Catalunya, mantiene redes de observación climática específicas (p.ej. red de alta montaña) y corre modelos de muy alta resolución que alimentan planes sectoriales (por ejemplo, estimaciones de aumento de noches tropicales en el Área Metropolitana de Barcelona para dimensionar refugios climáticos). Finalmente, se promueve la adaptación local: más de 200 municipios catalanes se han adherido al Pacte dels Alcaldes, muchos con planes de adaptación municipales apoyados por la Diputació de Barcelona (proyecto *ORDINAL*). Por todo ello, Cataluña es considerada un referente de planificación adaptativa subnacional en Europa.

Implicaciones para la planificación hidrológica

Cataluña enfrenta en adaptación un desafío complejo en materia de agua: **equilibrar la disponibilidad hídrica decreciente con unas demandas elevadas** (agricultura de regadío en Lleida, área metropolitana de Barcelona, sector turístico en la Costa Brava). Los estudios catalanes muestran una tendencia a descensos significativos de los caudales en ríos mediterráneos (por ej., el Ter podría ver reducciones >10% en 2050), aumento del riesgo de **sequías plurianuales** y mayor irregularidad (décadas más secas seguidas de episodios de gota fría devastadores). La respuesta de Cataluña ha sido integrarlo en su planificación: el **Plan Hidrológico de las Cuencas Internas 2022** ya incluye un escenario de cambio climático y un Programa de medidas específico (inversión en nuevas plantas desalinizadoras –ya en proyecto ampliar la de Blanes–, interconexión de redes para mayor flexibilidad, protección y restauración de acuíferos costeros contra la intrusión marina, etc.). En las cuencas compartidas (Ebro), la Generalitat participa activamente en la Confederación del Ebro para que los próximos planes recojan las necesidades catalanas ante el cambio climático (por ejemplo, mantener caudales ecológicos en el Delta del Ebro para evitar su salinización y subsidencia frente al nivel del mar). De hecho, **la adaptación del Delta del Ebro es prioritaria**: se están ejecutando proyectos de sedimentación controlada y creación de marismas artificiales para ganar altura y resistir la subida del mar. Además, la **gestión de sequías** se ha vuelto una política permanente: Cataluña actualizó en 2020 su Plan de Sequía, endureciendo umbrales de alerta antes de lo previsto históricamente, lo que ha permitido anticipar restricciones graduales en la sequía de 2022-2023. En resumen, Cataluña ha incorporado la adaptación del agua en todos los niveles de planificación, pero los retos persisten –especialmente si las proyecciones pesimistas se materializan–. La coordinación con la planificación hidrológica nacional es ejemplar mediante convenios ACA-CHE, y sirve de modelo. La **consideración futura en la revisión de planes hidrológicos** deberá profundizar estas sinergias, garantizando que la robusta estrategia catalana (ESCACC30) y sus medidas se reflejen en los instrumentos de gestión del agua, y viceversa, para construir una Cataluña resiliente donde, como indica la Estrategia 2050, *"los impactos del cambio climático sa afronten sin comprometer el progreso y bienestar de la sociedad"*.

Comunidad de Madrid

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/comunidad-de-madrid

Marco competencial

La Comunidad de Madrid aborda el cambio climático a través de la **Consejería de Medio Ambiente, Agricultura e Interior** (estructura vigente en 2023), bajo la cual la **Dirección General de Transición Energética y Economía Circular** es la encargada de las políticas climáticas. Esta Dirección General formula y ejecuta la Estrategia regional de energía y clima, incluyendo las medidas de adaptación, y coordina a otras áreas. Para asegurar la acción transversal, se creó la **Comisión Interdepartamental de Cambio Climático** de la Comunidad de Madrid. Según su regulación (Acuerdo de Gobierno de 2020), esta Comisión formula propuestas para el desarrollo de la estrategia climática, emite informes preceptivos antes de la aprobación de dicha Estrategia o sus modificaciones, y evalúa recursos y necesidades presupuestarias. Está integrada por representantes de todas las consejerías con competencias relacionadas (transporte, sanidad, urbanismo, etc.), lo que facilita la integración de la adaptación en cada sector. Asimismo, la Comunidad cuenta con un **Comité Científico-Técnico de Cambio Climático**, órgano de participación y asesoramiento compuesto por expertos independientes de universidades, centros de investigación y organismos públicos. Este Comité asesora en planificación climática regional, por ejemplo revisando escenarios climáticos y proponiendo

indicadores de adaptación, y elabora un informe anual. Con estos mecanismos, Madrid asegura tanto la coordinación política como el apoyo científico en su gobernanza climática.

Marco normativo

Madrid no dispone de una ley autonómica específica de cambio climático (al menos hasta 2025 no se ha aprobado ninguna, aunque ha habido propuestas legislativas por parte de grupos políticos). El marco principal es la **Estrategia de Energía, Clima y Aire de la Comunidad de Madrid 2023-2030 (EECAM)**, aprobada en marzo de 2023. Esta Estrategia sustituye al anterior *Plan Azul+ (2013-2020)* de calidad del aire y cambio climático, y amplía su alcance incorporando de forma explícita la adaptación como uno de sus ejes junto a la mitigación. La EECAM 2023-2030 establece la visión de hacer de Madrid un territorio descarbonizado y **resiliente a los efectos climáticos adversos**. Entre sus objetivos está preparar la región ante olas de calor, sequías, inundaciones y demás riesgos proyectados. Complementariamente, Madrid se adhirió en 2019 a la Declaración de Emergencia Climática a nivel nacional. En cuanto a normativa sectorial, la Ley 7/2021 estatal (de alcance en todo el país) impone obligaciones en la materia que también aplican en Madrid, como la integración de la evaluación de riesgos climáticos en proyectos. Por iniciativa de la oposición, en 2021 se presentó un anteproyecto de Ley de Cambio Climático para la Comunidad de Madrid, pero no prosperó en la Asambleahttps://masmadrid.org/mas-madrid-registra-una-ley-de-cambio-climatico-para-que-madrid-lidere-la-transicion-ecologica-en-espana-y-europa/. Así, el peso recae en la Estrategia 2030 mencionada, que es de carácter administrativo (aprobada por Acuerdo de Gobierno). A nivel municipal, cabe destacar que el Ayuntamiento de Madrid tiene su propio Plan de Adaptación 2024-2030 en desarrollo, pero en el nivel autonómico la EECAM es la referencia.

Instrumentos de planificación y estudios

La EECAM 2023-2030 incluye un amplio apartado de adaptación, sustentado en diversos estudios técnicos previos. En particular, se elaboró el documento **"Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático de los municipios madrileños"**, en el que se identificaron los principales riesgos para la región. Los riesgos prioritarios definidos fueron: **olas de calor y sus efectos en salud**, **inundaciones fluviales en entornos urbanos**, **episodios de frío extremo y nevadas** (recordando Filomena 2021), **sequías prolongadas y sus impactos en agricultura y suministro**, y **incendios forestales en el medio natural**. Este análisis de riesgos por municipios permite focalizar las medidas adaptativas donde más se necesitan. Con base en ello, la Estrategia 2030 contempla actuaciones sectoriales: por ejemplo, en urbanismo se promoverá la infraestructura verde (sombra, revegetación) para mitigar olas de calor en ciudades; en gestión de recursos hídricos, se impulsa un Plan de Mejora de los Ríos y Humedales de la región, con medidas para mantener caudales ecológicos y renaturalizar tramos fluviales (ya se han ejecutado proyectos en el río Manzanares y el Guadarrama). En agricultura, se fomenta la modernización de regadíos de Canal de Isabel II para ahorrar agua. Además, la Comunidad de Madrid participa en proyectos innovadores, como el programa **LIFE SHARA** de sensibilización en adaptación y el **proyecto ADAPTA-Blues** de adaptación basada en ecosistemas costeros (aplicable en riberas de ríos). En salud, existe un **Plan de Vigilancia de Olas de Calor** coordinado con la Consejería de Sanidad y AEMET, que ha ido adaptándose al incremento de días de calor extremo. Por otro lado, en 2020 se publicó el informe *"Impactos y vulnerabilidad de Madrid al cambio climático"* con colaboración de la Universidad Politécnica, que sirvió para concienciar sobre amenazas como la disminución de precipitaciones un 5-10% para mitad de siglo y el aumento de noches tropicales. A nivel local, numerosos municipios de la región (Madrid capital, Alcalá, Leganés, etc.) han desarrollado evaluaciones de riesgo climáticos en el marco de la Red de Municipios Madrileños ante el Cambio Climático (impulsada por la propia Comunidad). En síntesis, Madrid ha pasado de centrarse en calidad del aire a integrar también la adaptación climática en su planificación, sustentada por análisis técnicos rigurosos.

Implicaciones para la planificación hidrológica

La Comunidad de Madrid, pese a no ser una región costera, enfrenta importantes retos hídricos derivados del cambio climático. Por un lado, los modelos indican un **ligero descenso en la precipitación media anual y, sobre todo, mayor irregularidad: periodos secos más prolongados seguidos de episodios de lluvia intensa**. Esto afecta a la recarga de los embalses que abastecen al más de 6.5 millones de habitantes. Para adaptar la gestión del agua, el Canal de Isabel II (empresa pública regional de aguas) ha puesto en marcha medidas como la interconexión de embalses, la ampliación de la planta de reutilización de aguas depuradas para riego de parques, y la promoción de ahorro en consumos. Sin embargo, la Comunidad de Madrid depende en gran medida de la **cuenca del Tajo** (embalses de la Sierra), gestionada por la Confederación del Tajo. Por ello, es crucial que en la revisión del **Plan Hidrológico del Tajo** se consideren las proyecciones de menor aportación desde el Sistema Central por la reducción de nieves. Del mismo modo, el **riesgo de inundaciones fluviales urbanas** (Manzanares, Jarama, Guadarrama) aumentará con tormentas más concentradas; la planificación territorial debe evitar construcciones en zonas inundables y el Plan de Gestión de Riesgo de Inundación de la Demarcación (competencia estatal) ya incorpora escenarios climáticos, gracias en parte a la colaboración técnica del Gobierno regional. En general, la EECAM 2030 subraya que **la seguridad hídrica es un pilar de la resiliencia madrileña**: su cumplimiento requiere actualizar las infraestructuras (ej. reduciendo pérdidas en redes), proteger las fuentes (guardando bosques de cuenca alta del Lozoya, que actúan como reguladores naturales) y concienciar a ciudadanos y sectores sobre el uso eficiente del agua. Todos estos elementos deberán reflejarse en los planes hidrológicos de tercer ciclo (2022-2027) y siguientes. En conclusión, Madrid ha fortalecido su marco adaptativo recientemente; su reto más palpable será adaptarse al agua que previsiblemente **será algo más escasa y distribuida de forma más extrema**, de modo que la región siga garantizando el abastecimiento, el control de inundaciones y la calidad ecológica de sus ríos en un clima menos previsible.

Comunidad Foral de Navarra

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/comunidad-foral-de-navarra

Marco competencial

Navarra ha desarrollado una estructura institucional sólida en torno al cambio climático. La implementación recae en el **Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente** (tras 2023, las competencias pueden reubicarse, pero tradicionalmente este departamento u otro similar ha llevado la iniciativa climática). Técnicamente, existe un **Servicio de Cambio Climático** dentro de la Dirección General de Medio Ambiente, encargado de coordinar la acción climática. Además, la Ley Foral 4/2022 ha previsto la creación de la **Agencia Navarra de Transición Energética y Cambio Climático** (ANTECAN), entidad instrumental para ejecutar políticas de mitigación y adaptación. Dicha Agencia, cuya puesta en marcha está en curso, centralizará programas y ayudas climáticas, y será clave en asesorar a municipios. En cuanto a coordinación, Navarra instauró ya en 2010 la **Comisión Interdepartamental de Cambio Climático** para asegurar que todas las consejerías integrasen la perspectiva climática. Esta comisión fue reforzada con la Ley 4/2022. En el ámbito participativo, destaca la figura de la **Asamblea Ciudadana Navarra del Cambio Climático**, innovadora en España, establecida por la Ley 4/2022 como órgano de participación deliberativa de la sociedad civil en las políticas climáticas. Esta Asamblea (ya constituida en 2022) formula recomendaciones que el Gobierno Foral debe considerar. Asimismo, Navarra cuenta con el **Consejo Navarro de Medio Ambiente** en el que, a través de su Mesa de Cambio Climático, participan

ONGs, sindicatos, sector privado y entidades locales. A nivel local, la **Red Navarra de Entidades Locales hacia la Sostenibilidad (Red NELS)** apoya a los municipios en la elaboración de sus planes de clima y energía (PACES), en coordinación con el Gobierno Foral.

Marco normativo

Navarra es una de las regiones más avanzadas normativamente. Su **Ley Foral 4/2022, de 22 de marzo, de Cambio Climático y Transición Energética** constituye el marco legal e institucional para la acción climática. Esta ley fija objetivos (reducción del 45% de emisiones a 2030, neutralidad 2050) y medidas concretas en mitigación, y **establece por primera vez obligaciones en adaptación**, como la elaboración de un **Plan Navarro de Adaptación al Cambio Climático** y la integración de la adaptación en la planificación sectorial (ordenación del territorio, protección civil, sanitaria, etc.). Previamente, Navarra ya contaba con la *Hoja de Ruta de Cambio Climático de Navarra (HCCN-KLINA) 2017-2030*, aprobada en 2017, que era una estrategia no vinculante orientada a los mismos horizontes. La HCCN estableció 8 áreas de actuación con 42 líneas, incluyendo adaptación en gestión hídrica, agrícola, forestal y salud. La nueva Ley 4/2022 consolida y actualiza esa hoja de ruta, dándole carácter vinculante. Además, se complementa con la **Estrategia Navarra de Desarrollo Sostenible 2030**, aprobada en 2023, que integra la acción climática en el marco de la Agenda 2030. Navarra también ha aprobado planes específicos: el **Plan Energético de Navarra (PEN) 2030**, que incorpora la resiliencia energética; y sectoriales, como el Plan Forestal y la Estrategia de Economía Circular, ambos alineados con la adaptación. Finalmente, Navarra declaró la emergencia climática en 2019 y adoptó compromisos como la adhesión a la campaña Race to Resilience de la ONU, reforzando su compromiso normativo.

Instrumentos de planificación y estudios

Navarra ha apostado fuertemente por la acción práctica de adaptación a través del proyecto europeo integrado **LIFE-IP NAdapta-CC (2017-2025)**. Este proyecto, dotado con 15M€, ha sido la *hoja de ruta* de adaptación de Navarra, articulando la implementación en 6 sectores: agua, bosques, agricultura, salud, infraestructuras y ordenación del territorio. Gracias a LIFE NAdapta se han desarrollado múltiples herramientas y planes: por ejemplo, se han obtenido **15 cadenas de impacto con indicadores** que relacionan amenazas climáticas (olas de calor, lluvias torrenciales, etc.) con receptores (agua, bosques, salud humana, etc.), definiendo métricas de peligro, vulnerabilidad, impacto y adaptación para cada caso. Estos indicadores se actualizan en un **portal web** público, permitiendo seguir la evolución del riesgo. También en NAdapta se elaboró un **Análisis de vulnerabilidad y riesgo municipal** frente a calor e inundaciones en distintos horizontes (observado 1991-2019 y futuros 2050-2080), del cual se derivaron **fichas de vulnerabilidad para cada municipio** con datos específicos. Toda esta base técnica alimenta las decisiones. En cuanto a planificación, destaca que Navarra integró la adaptación en su **Plan Territorial Sectorial de Recursos Hídricos** y en el **Plan de Gestión de Sequías** de su parte del Ebro (Navarra participa en la Confederación del Ebro). En bosques, se implementan cambios en las ordenaciones forestales para anticipar especies más resilientes. El sector agrario es crítico: ya se observa migración de cultivos (viñedos subiendo a zonas más altas en Baja Montaña) y NAdapta ha introducido prácticas piloto de siembra en diferentes fechas y riegos eficientes. Navarra también ha potenciado la **I+D**: ha apoyado a su centro de investigación climática (el **Instituto Navarro de Cambio Climático, ICCN**) y colabora estrechamente con el **BC3 (Basque Centre for Climate Change)** en modelos socioeconómicos de impacto. Cabe resaltar la iniciativa *"Navarra Green Deal"*, que integra fondos NextGen para resiliencia en regadíos (Canal de Navarra) y prevención de inundaciones en la Comarca de Pamplona. En suma, Navarra posee tanto una planificación estratégica (HCCN, Ley) como un despliegue práctico vía LIFE NAdapta que la sitúan como referencia en adaptación.

Implicaciones para la planificación hidrológica

Para Navarra, comunidad de diversidad climática (de Pirineos húmedos a zonas semiáridas en el sur), la **gestión del agua es el eje vertebrador de su adaptación**. Los indicadores climáticos navarros evidencian ya un incremento de ~1°C en temperatura media reciente y proyecciones de hasta +2,5°C a 2080, lo que implica más evaporación y estrés hídrico. En paralelo, aunque la lluvia anual media podría no variar drásticamente, **sí se redistribuirá**: más concentrada en eventos intensos y menos nieve en montañas (menos regulación natural). Este panorama amenaza la disponibilidad de agua para riego en la Ribera (sur navarro) y la seguridad ante inundaciones en la Cuenca de Pamplona y valles pirenaicos. Conscientes de ello, las instituciones navarras han priorizado medidas: construcción de nuevas infraestructuras (la **segunda fase del Canal de Navarra** para asegurar agua de Itoiz a zonas secas), planes integrales de inundación (se dragaron cauces tras riadas de 2019, y se proyectan áreas de laminación en el Arga), y modernización de regadíos en zonas tradicionales (Ribera Alta) para ahorrar hasta un 15-20% de agua. La **Confederación Hidrográfica del Ebro**, que cubre Navarra casi en su totalidad, ha integrado las aportaciones navarras en su Plan Hidrológico 2022-27: de hecho, el **Plan de Adaptación al Cambio Climático de la Cuenca del Ebro (PACC-Ebro)** incluye a Navarra como territorio piloto. La coordinación es ejemplar: el Gobierno de Navarra preside la Comisión de Desembalse del Ebro en ciertas épocas, lo que permite introducir consideraciones como mantener caudales en estiajes más secos. De cara al futuro, la **revisión del Plan Hidrológico del Ebro** deberá seguir incorporando los resultados de LIFE NAdapta (por ejemplo, los mapas de riesgo de sequía municipal) para focalizar inversiones donde se anticipan déficits. En conclusión, Navarra ha pasado del plano estratégico a la acción concreta con rapidez; su esfuerzo en adaptación del agua –en cantidad y calidad– es notorio y seguirá siendo su piedra de toque. Garantizar caudales para su importantísima agricultura (incluyendo la joya de la huerta tudelana) y proteger a la población de crecidas en su entramado fluvial (ríos Arga, Ega, Bidasoa, etc.) son objetivos explícitos en su Ley y Estrategia. Gracias a su enfoque integrado, Navarra está bien posicionada para que, en la próxima revisión de planes hidrológicos, **sus instrumentos autonómicos de adaptación y los estatales actúen en sinergia**, consolidando a la Comunidad Foral como un modelo de territorio que incrementa su resiliencia sin dejar de prosperar.

Comunidad Valenciana

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/comunitat-valenciana

Marco competencial

La Generalitat Valenciana articula su acción climática a través de la Conselleria con competencias ambientales (hasta 2023 era la **Conselleria de Emergencia Climática y Transición Ecológica**). En la estructura administrativa, la **Subdirección General de Cambio Climático y Educación Ambiental**, dependiente de la Dirección General de Calidad y Educación Ambiental, es el órgano responsable de planificar, dirigir y coordinar las políticas de adaptación. Esta Subdirección implementa la Estrategia valenciana de cambio climático bajo la supervisión de la Secretaría Autonómica correspondiente. En 2020, la Generalitat creó la **Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático de la Comunitat Valenciana**, un órgano técnico colegiado con representantes de distintos departamentos (agricultura, agua, infraestructuras, sanidad, etc.), encargado de supervisar la elaboración, ejecución y seguimiento de la Estrategia Valenciana de Cambio Climático y los planes derivados. Para la participación social e interinstitucional, Valencia cuenta con el **Consejo Asesor y de Participación del Medio Ambiente (CAPMA)**, en el cual una comisión específica trata el cambio climático, involucrando a administraciones locales, universidades, ONG ecologistas, sindicatos y empresas. Adicionalmente, existen mesas sectoriales como la **Mesa Forestal** (para temas de bosques

y clima) y la **Comisión de Temperaturas Extremas** en salud pública. En resumen, la CV dispone de una arquitectura institucional participativa para la adaptación, apoyada por la ley autonómica.

Marco normativo

La Comunitat Valenciana ha dado un salto reciente con la aprobación de la **Ley 6/2022, de 5 de diciembre, de cambio climático y transición ecológica**. Esta ley autonómica establece el marco jurídico para abordar el cambio climático de forma alineada con la UE y la normativa estatal. En materia de adaptación, la Ley 6/2022 dispone la creación de un *Programa Valenciano de Adaptación* cuyo objetivo es **reducir los riesgos económicos, ambientales y sociales del cambio climático mediante la incorporación de medidas adaptativas en los instrumentos de planificación autonómicos y locales**. Asimismo, la ley refuerza la obligación de evaluar el impacto climático en proyectos y políticas públicas. Previamente, existieron dos **Estrategias Valencianas ante el Cambio Climático** (2008-2012 y 2013-2020), que sentaron bases pero quedaron desactualizadas. Ahora, al amparo de la ley, se ha elaborado la **Estrategia Valenciana de Cambio Climático y Energía 2030**, aprobada en 2023, que es el nuevo marco de acción climática regional. Esta Estrategia 2030 define objetivos y líneas en diferentes ámbitos (ciclo del agua, territorio, costas, agricultura, salud, etc.) y orienta la elaboración del futuro **Plan Valenciano Integrado de Energía y Cambio Climático 2030** (en proceso). Complementariamente, la Generalitat declaró la emergencia climática en 2019, comprometiéndose a medidas urgentes. También está integrada en la *Misión de Adaptación Europea*, habiéndose ofrecido como región piloto. En síntesis, el nuevo marco legal y estratégico coloca a la CV en una posición avanzada, subsanando la falta de una ley que antes la distinguía (es de las pocas CCAA con ley climática propia).

Instrumentos de planificación y estudios

La adaptación en la CV se sustenta en el conocimiento de su vulnerabilidad mediterránea. Estudios de la Universitat Politècnica y el CEAM han señalado que el territorio valenciano ya sufre **aumento de temperaturas y reducción de precipitaciones**, con mayor frecuencia de olas de calor y lluvias torrenciales seguidas de periodos secos prolongados. Con estos datos, la Estrategia 2030 prioriza sectores: **recursos hídricos, litoral, agricultura y salud**. En recursos hídricos, se elaboró el **Estudio de Impacto del Cambio Climático en la Demarcación del Júcar** (2018) que proyecta disminuciones de aportes de ~11% a 2039, sirviendo de base para medidas adaptativas en ese plan hidrológico. La Generalitat, vía la Confederación del Júcar, impulsa proyectos como la interconexión de acueductos y la recarga de acuíferos litorales para contener la intrusión marina. En el litoral, el **Observatorio de la Costa de la CV** monitorea la regresión de playas (por ejemplo, en la Malvarrosa de Valencia) y colabora con Costas en proyectos de soluciones basadas en la naturaleza, como restauración de dunas en Guardamar. En agricultura, el IVIA investiga nuevas variedades cítricas más resistentes a estrés hídrico y plagas que proliferan con el calor (el cotonet de Sudáfrica es un caso reciente). Se fomenta además el riego por goteo inteligente: hoy la gran mayoría de regadíos valencianos lo utilizan, reduciendo pérdidas y aumentando la resiliencia frente a la escasez. También se están desarrollando planes de adaptación municipales a través de la Red de Ciudades por el Clima valenciana; València capital, por ejemplo, ha presentado su **Plan de Adaptación 2030** con acciones como creación de refugios climáticos, ampliación de zonas verdes y drenaje urbano sostenible para mitigar inundaciones. En el frente de salud, la CV cuenta con un plan de prevención de efectos de calor desde hace años, actualizado para cubrir más municipios y rangos de temperatura, y la Estrategia 2030 prevé integrar la adaptación en la planificación sanitaria. En síntesis, con el nuevo marco, la CV está consolidando iniciativas pre-existentes en un programa coherente: su estrategia 2030 es integradora, pero su éxito dependerá de la ejecución a través del Plan 2030 y de la coordinación con los órganos del Estado (CHJ, CHS, etc.).

Implicaciones para la planificación hidrológica

La Comunitat Valenciana es particularmente vulnerable en materia de agua por su climatología y demanda hídrica: **ya sufre estrés hídrico estructural que se agravará**. La Estrategia valenciana reconoce las amenazas a sus recursos hídricos, su biodiversidad y su economía. Afortunadamente, la nueva Ley 6/2022 exige incorporar la adaptación en planificación hídrica y local. En la práctica, esto significa que los **Planes Hidrológicos del Júcar, del Segura y del Ebro (que cubren territorio valenciano)** deberán integrar plenamente evaluaciones de cambio climático y medidas adaptativas. La Generalitat ha logrado incluir, por ejemplo, en el Plan del Júcar 2022-27 un Programa de Medidas ante escenarios de cambio climático (con proyectos de reutilización en depuradoras de l'Horta y la Safor, o el aumento de capacidad de la desaladora de Torrevieja en convenio con Murcia y Acuamed). No obstante, persiste el desafío de la **gestión compartida de cuencas**: Valencia depende en gran medida del Júcar y del Segura, cuyas aguas nacen fuera de su territorio. La adaptación requiere por tanto cooperación interterritorial: un reparto flexible de caudales que permita en años secos priorizar abastecimientos y regadíos de alto valor, y en años húmedos recuperar acuíferos sobreexplotados. Por otro lado, el **riesgo de inundaciones** en la CV es elevado (caso de la Dana de 2019 en Vega Baja); la Confederación del Segura, con apoyo de la Generalitat, está reforzando infraestructuras de drenaje y alerta temprana en esas zonas, pero hará falta planificar más *"espacios para el agua"* (polderes, zonas inundables controladas) para eventos extremos. Igualmente, la **erosión costera** acelerada (playas de Castellón y Valencia retrocediendo varios metros) necesita un plan adaptativo: la Estrategia 2030 menciona la necesidad de definir un Plan Litoral Resiliente, que debería coordinarse con la Estrategia Nacional de Adaptación de la Costa en elaboración por el MITERD. En conclusión, la Comunitat Valenciana ha dado pasos importantes –un sólido marco legal y estratégico– para afrontar su vulnerabilidad climática. **El agua, tanto por defecto (sequías) como por exceso (inundaciones), es su principal frente de batalla**. La consideración de la adaptación en la revisión de los planes hidrológicos en curso será determinante: de ello dependen no solo cultivos emblemáticos (arrozales de l'Albufera, huerta de Valencia) sino también la seguridad de núcleos urbanos costeros y la disponibilidad de agua para una población de cinco millones de personas y millones de turistas. La alineación de los instrumentos autonómicos (Ley, Estrategia) con los estatales (Planes de cuenca, Plan Nacional de Adaptación) es muy alta, lo que permite augurar que la CV podrá implementar con éxito muchas de sus medidas adaptativas en los próximos años.

Extremadura

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/extremadura

Marco competencial

Extremadura gestiona el cambio climático a través de la **Consejería para la Transición Ecológica** (denominación en la anterior legislatura), integrando medio ambiente y energía. En ella destaca el **Observatorio Extremeño de Cambio Climático** como órgano técnico y participativo central. Este Observatorio, creado por Decreto 2/2021, está adscrito a la Dirección General de Sostenibilidad. Funciona como el organismo responsable de estudiar, analizar y difundir la información sobre cambio climático en la región, además de asesorar al gobierno extremeño en las políticas climáticashttp://adaptecca.es/en/comunidades-autonomas/extremadura. En su composición incluye a la propia administración autonómica, universidades, asociaciones conservacionistas, agrarias, diputaciones provinciales, Confederaciones Hidrográficas, AEMET, centros de investigación, etc., reflejando una gobernanza multinivel muy amplia. Junto al Observatorio, Extremadura cuenta con una **Comisión Interdepartamental de Cambio Climático** (creada por Decreto 3/2021) para coordinar las acciones de las distintas consejerías. Esta Comisión, presidida por la Consejería de Transición Ecológica, busca mejorar la

eficacia de las políticas climáticas fomentando la colaboración entre departamentos. En el plano consultivo, el **Consejo Asesor de Medio Ambiente de Extremadura** (creado por Decreto 1/1999) actúa como el órgano de participación social en materia ambiental, incluyendo el cambio climático en su agenda. Con todo, Extremadura ha construido desde 2021 una arquitectura institucional fuerte –Observatorio y Comisión– para impulsar tanto la mitigación como la adaptación de forma horizontal y transparente.

Marco normativo

Extremadura fue de las primeras en contar con una estrategia climática: la **Estrategia de Cambio Climático de Extremadura 2009-2012**, aprobada en 2009. Le siguió la **Estrategia de Cambio Climático de Extremadura 2013-2020**, aprobada en enero de 2014. Esta última guió la acción climática hasta 2020, incluyendo un capítulo específico de adaptación. En 2021, Extremadura dio un paso integrador con la aprobación del **Plan Extremeño Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PEIEC)**. El PEIEC, adoptado por Acuerdo de Gobierno de 30 de junio de 2021, actúa como la hoja de ruta actual para alcanzar los objetivos de mitigación a 2030, e incorpora también líneas de adaptación sectorial (especialmente en energía y medio natural). Sin embargo, Extremadura **no cuenta aún con una Ley de Cambio Climático** autonómica ni con una estrategia de adaptación específica a 2030. En la anterior legislatura se trabajó en un anteproyecto de Ley (hubo un borrador en 2022 sometido a información pública), pero quedó pendiente de aprobación tras las elecciones de 2023. Ese anteproyecto preveía la creación de una Agencia Extremeña de Clima y contemplaba medidas obligatorias de incorporación de riesgos climáticos en la evaluación ambiental. Es de esperar que en el futuro se retome. No obstante, mediante decretos, Extremadura institucionalizó su Observatorio y Comisión (como vimos), lo que suple parcialmente la falta de ley. Por último, en 2019 la Asamblea de Extremadura declaró la emergencia climática, pidiendo acelerar la transición ecológica regional.

Instrumentos de planificación y estudios

A pesar de sus recursos limitados, Extremadura ha desarrollado trabajos técnicos valiosos en adaptación. Ya en 2010 elaboró los **Escenarios Regionalizados de Cambio Climático de Extremadura** para 2011-2040 y 2041-2070, bajo escenarios A2 y B2 del IPCC. Esos escenarios concluyeron los principales cambios esperables: **subida generalizada de temperaturas (máximas y mínimas), aumento de fenómenos extremos de calor, reducción del nivel anual de precipitaciones y cambios en su patrón temporal**. Con esa base científica, la Junta confeccionó un **Mapa de Impactos del Cambio Climático en Extremadura** y, muy relevante, **Planes de Adaptación sectoriales** para 7 sectores prioritarios: **agricultura, ganadería, riesgos naturales y seguros, recursos hídricos, salud, energía y turismo**. Estos planes sectoriales –pioneros a nivel autonómico– diagnosticaron la vulnerabilidad en cada ámbito y propusieron medidas concretas. Por ejemplo, en agricultura recomendó diversificar cultivos y mejorar técnicas de conservación de suelo ante mayor aridez; en energía instó a adaptar la red eléctrica para tolerar olas de calor; en turismo señaló la oportunidad de promover ecoturismo en estaciones fuera del tórrido verano. Quedaron pendientes de concluir los planes de **biodiversidad y forestal** (en progreso hasta 2020). Muchas de estas acciones se han ido incorporando a instrumentos existentes: p.ej., la **Estrategia Forestal de Extremadura 2030** integra la adaptación al fuego creciente, fomentando bosques mixtos menos inflamables; o el **Plan de Salud de Extremadura** incorporó un programa específico de vigilancia de enfermedades vectoriales (dengue, leishmaniasis) que podrían aumentar con el cambio climático. En cuanto a agua, el plan de adaptación hídrica subrayó la importancia de modernizar canales de riego tradicionales (como el Canal de Orellana) para reducir pérdidas –lo cual se ha iniciado con apoyo de fondos FEADER–. Extremadura también participa en proyectos interregionales: destaca su implicación en el proyecto **LIFE SHARA**, con acciones de capacitación en adaptación a técnicos municipales extremeños, y en la iniciativa **Adaptación de la Dehesa** junto con Andalucía (intercambio de experiencias para manejar encinares bajo sequía). En resumen, Extremadura ha sido proactiva en generar planes y conocimiento, aunque la ejecución de medidas depende de recursos financieros que a menudo son escasos en la región.

Implicaciones para la planificación hidrológica

Extremadura, de clima mediterráneo continental, afronta un **incremento notable del estrés hídrico** por el cambio climático. Sus propios escenarios apuntan a una **reducción de precipitaciones anuales y, especialmente, a veranos mucho más secos**. Esto impacta directamente en su principal riqueza natural: las dehesas y embalses. Extremadura es tierra de grandes embalses (Alqueva, Cíjara, etc.) que regulan los ríos Guadiana y Tajo; si las aportaciones disminuyen y la evaporación aumenta, la gestión tendrá que adaptarse. De hecho, se proyecta que áreas de regadío en las Vegas del Guadiana podrían requerir un 15% más de agua debido a mayor evapotranspiración. Por ello, la adaptación en agua se enfocará en **aumentar la eficiencia del regadío** (ya en marcha con telecontrol y riego nocturno en zonas arroceras), explorar cultivos alternativos menos consumidores y potenciar sistemas tradicionales de captación (aljibes y charcas ganaderas) con mejoras para retener la escorrentía en fincas. La buena noticia es que Extremadura tiene relativa abundancia de agua en promedio y baja densidad poblacional, lo que le da margen. Sin embargo, en eventos extremos, la región sufre inundaciones (riadas en pueblos ribereños como en Don Benito en 2019) e incendios forestales potentes en veranos secos. Por tanto, su adaptación hídrica deberá ser integral: **reservar más agua en épocas húmedas** (quizá revisando la regla de desembalse ecológico en invierno), restaurar humedales estacionales para amortiguar riadas (ej. embalse de Arrocampo convierte crecidas en lámina calmada protegiendo el río Tajo aguas abajo) y reforzar planes de emergencia de presas ante lluvias torrenciales. En la revisión de los **Planes Hidrológicos del Guadiana y del Tajo**, Extremadura, como territorio aguas arriba importante, ha de plantear estos cambios. Sus representantes en las Confederaciones ya abogan por incorporar los escenarios regionales y mantener volúmenes de reserva en embalses mayores de lo histórico para asegurar el suministro a ciudades como Mérida, Cáceres o Badajoz en ciclos secos. En definitiva, **el agua es a la vez fortaleza y desafío en Extremadura**: posee importantes recursos hídricos (clave para su producción energética hidroeléctrica y de regadío), pero su disponibilidad futura es incierta. Las iniciativas que la región adopte hoy (modernización de regadíos, protección de humedales, prevención de incendios que protejan cuencas) determinarán su resiliencia mañana. La inclusión de la Confederación del Guadiana y del Tajo en el Observatorio Climático Extremeñoes una señal positiva de trabajo conjunto. Con ese espíritu, la adaptación hídrica extremeña se integrará en la próxima generación de planes hidrológicos, asegurando que el **legado de grandes infraestructuras hidráulicas** con que cuenta la región siga cumpliendo su función en un clima más adverso.

Galicia

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/galicia

Marco competencial

La Xunta de Galicia aborda la adaptación al cambio climático bajo el paraguas de la **Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda**, donde la **Dirección Xeral de Calidade Ambiental, Sostibilidade e Cambio Climático** es el organismo responsable. Esta Dirección General formula las políticas de adaptación y coordina su ejecución. Para la coordinación interdepartamental, se ha constituido la **Comisión Interdepartamental para o Impulso e Coordinación da Estratexia Galega de Cambio Climático e Enerxía 2050**, que incluye representantes de todas las consellerías relevantes (ordenación del territorio, agricultura, pesca, sanidad, educación, etc.). Su objetivo es supervisar la implementación de la Estrategia 2050 de forma transversal. En la práctica, Galicia ha empleado un enfoque muy participativo: durante la elaboración de su Estrategia 2050 se crearon **Mesas de Traballo sectoriais** que reunieron a agentes clave de cada sector (agro, forestal, pesca, energía, transporte, urbanismo, etc.). Estas mesas permitieron que distintos actores (administraciones locales, empresas, universidades, ONGs) tuvieran un espacio común para discutir problemas y soluciones de adaptación en su

ámbito. Como apoyo científico, Galicia cuenta con MeteoGalicia y con universidades (UVigo, USC, UDC) activas en investigación climática; la Xunta suele apoyarse en ellas para estudios técnicos. Cabe resaltar la coordinación con el Gobierno central en la zona costera a través de la Demarcación de Costas de Galicia, dada la importancia del litoral en la adaptación gallega.

Marco normativo

Galicia está ultimando su Ley del Clima. Actualmente (2025) se encuentra *en proceso de elaboración* la **Lei do clima de Galicia**, cuyo borrador superó la consulta pública previa en 2023. Se espera que esta ley se apruebe en 2025, dotando a la Comunidad de objetivos vinculantes de mitigación y adaptación. Mientras tanto, el principal marco vigente es la **Estratexia Galega de Cambio Climático e Enerxía 2050 (EGCCE 2050)**. Esta Estrategia, aprobada por el Consello da Xunta el 3 de octubre de 2019, es el instrumento de planificación a largo plazo frente al cambio climático y para la transición energética. La EGCCE 2050 tiene un carácter eminentemente participativo y aborda el cambio climático sectorialmente, planteando metas para 2050 coherentes con la neutralidad climática. Dentro de ella se incluyen los objetivos de adaptación (Objetivos 3, 4 y 5 relacionados con observación y resiliencia, detallados más abajo). Para el corto plazo, Galicia aprobó asimismo un **Plan Rexional Integrado de Enerxía e Clima 2019-2023**, alineado con la Estrategia. Adicionalmente, la Lei 7/2021 estatal es de aplicación directa en Galicia, y la comunidad cuenta con leyes sectoriales sensibles al clima (por ejemplo, la Lei 5/2019 do patrimonio natural de Galicia incorpora el cambio climático en la gestión de áreas protegidas). La Declaración de emergencia climática se produjo en 2019 con el compromiso de reducir emisiones y adaptarse, pero el motor real es la Estrategia 2050. Cabe notar que Galicia, a diferencia de otras, desde 2019 integró clima y energía en una misma estrategia, entendiendo las sinergias entre mitigación y adaptación.

Instrumentos de planificación y estudios

Galicia, por su ubicación particular (influencia atlántica), requirió estudios específicos, ya que las conclusiones para el Mediterráneo o el norte de Europa no se aplican directamente a su territorio. Por ello, la Xunta impulsó el proyecto de investigación **"Clima de Galicia (CLIGAL)"**, coordinado con la Universidad de Vigo, para analizar evidencias e impactos del cambio climático en Galicia. Los resultados se publicaron en un volumen técnico y destacan evidencias como: **incremento de temperatura de +0,18°C por década (1961-2006)**, cambios en la distribución estacional de las lluvias, alteraciones en migración de aves, fenómenos fenológicos (adelanto de floración), subida de la temperatura del mar +0,2°C/década y aumento del nivel del mar ~2-2,5 cm/década en la costa gallega. Estos hallazgos sirvieron de base para la EGCCE 2050. La Estrategia establece tres grandes objetivos de adaptación: (3) mejorar la observación y modelización climática adaptada a Galicia, (4) aumentar la resiliencia en sectores transversales/naturales, y (5) aumentar la resiliencia en sectores socioeconómicos específicos. Para el objetivo 3, se han fortalecido las redes de observación meteorológica y oceanográfica (MeteoGalicia opera radares meteorológicos, boyas costeras y estaciones de alta montaña en Ancares y Courel). Asimismo, se están desarrollando modelos climáticos regionales en colaboración con el Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA) para disponer de **proyecciones de alta resolución adaptadas al Noroeste Ibérico**. Para el objetivo 4 (resiliencia general), se puso en marcha la iniciativa **"Observatorio Galego de Cambio Climático"**, una plataforma digital con indicadores de impactos (por ejemplo, analiza duplicación de tiempos de renovación en rías debido a menos afloramiento, o estrés hídrico en bosques de zonas ourensanas). También, en ordenación territorial, Galicia está incorporando la variable climática en las Directrices de Ordenación del Territorio en revisión, y en los Planes de Ordenación del Litoral (POL). Para el objetivo 5 (sectores específicos), se han desarrollado líneas de trabajo: en pesca y marisqueo (estudios sobre desplazamiento de especies hacia el norte, ex. sardina y caballa), en agricultura (programas de I+D en mejora genética de viñedos de Rías Baixas para resistir a mildiu con más calor y humedad), en ganadería (seguimiento de la salud del ganado ante nuevas enfermedades como la lengua azul), en turismo (planes para diversificar oferta más allá de sol y playa en Rías Baixas, potenciando turismo

interior en temporadas templadas). Mención especial merece la gestión forestal: tras grandes incendios (2017), Galicia está reordenando masas forestales fomentando la **"paisaxe mosaico"** (mezcla de cultivos, pastos y bosque) para reducir el combustible continuo que favorece incendios devastadores, en línea con recomendaciones de adaptación (Galicia participa en el proyecto LIFE MIDMACC sobre este tema junto a La Rioja y Aragón). En cuanto al agua, Augas de Galicia ha incluido la adaptación en el Plan Hidrolóxico das Concas Internas de Galicia, considerando escenarios de caudal para ríos de la vertiente gallega. En síntesis, Galicia ha avanzado notablemente en el conocimiento y en la planificación estratégica, aunque muchos planes sectoriales específicos están en etapas iniciales de ejecución y la futura Lei do Clima podría impulsarlos.

Implicaciones para la planificación hidrológica

Galicia, tradicionalmente verde y húmeda, no es inmune a los cambios: **si bien seguirá siendo la región peninsular con menos impacto relativo en precipitaciones, se esperan alteraciones importantes**. Modelos recientes sugieren que Galicia podría experimentar ligeros descensos en precipitación anual, pero sobre todo cambios en su régimen: inviernos algo más secos y veranos más tormentosos, con periodos prolongados sin lluvia seguidos de episodios intensos. También, aumentos de temperatura más moderados que la media española, pero suficientes para afectar cultivos y bosques templados. Para su gestión del agua, esto implica retos como: garantizar el **abastecimiento en épocas de estiaje en zonas periurbanas** (ej. área de Vigo, con embalses pequeños sensibles a sequías como la de 2017 que casi dejó sin agua a la ciudad), y manejar **caudales ecológicos en ríos trucheros** (Miño, Sil, Ulla) cuando las temperaturas suban y el caudal baje, para proteger la biodiversidad fluvial. La Xunta, a través de Augas de Galicia, ya ha actualizado el Plan Hidrológico Gallego (conca Galicia-Costa) incorporando escenarios de descenso de caudal veraniego y propone medidas como la interconexión de sistemas de abastecimiento (e.g. conectar embalse de Eiras con el de Zamáns en Vigo) para mayor resiliencia. En las cuencas que dependen del Estado (Miño-Sil, Duero), Galicia participa en los órganos de planificación y ha solicitado que se consideren sus estudios regionales (por ejemplo, el **proyecto RISC Miño-Limia**, conjunto con Portugal, evaluó el impacto en esa cuenca internacional). Además, en el frente costero, **el aumento del nivel del mar y la modificación de los afloramientos costeros** afectan a las rías: se prevé incremento de la estratificación de las aguas y menor entrada de nutrientes fríos, lo que podría reducir la productividad marisquera. Adaptarse implicará diversificar la actividad pesquera (cultivo de algas, cría de especies más cálidas) y proteger los humedales costeros (Complejo intermareal Umia-O Grove, etc.) para que sigan siendo funcionales como barreras naturales. La Estrategia 2050 aborda esto planteando "aumento da resiliencia dos recursos hídricos e sistemas costeiros" como línea prioritaria. En conclusión, Galicia, con su Estrategia y próxima Ley, tiene el marco para integrar la adaptación en sus planes del agua. **La futura revisión de los planes hidrológicos deberá reforzar estas medidas**, asegurando que la comunidad autónoma aproveche su relativa ventaja climática (impactos moderados) para adaptarse con tiempo. Los esfuerzos en observación y modelización local serán clave para gestionar un clima complejo –al influjo de Atlántico y Cantábrico– que demandará respuestas flexibles. Galicia históricamente ha lidiado con lluvias torrenciales y sequías episódicas, por lo que su bagaje de gestión (p. ej. encoros de regulación, sistemas de alerta de inundaciones) es un activo que, actualizado con la ciencia climática moderna, le permitirá mantener su riqueza hídrica y natural en las próximas décadas.

País Vasco

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/pais-vasco

Marco competencial

El País Vasco ha desarrollado un entramado institucional robusto para la acción climática. La reciente **Ley 1/2024, de Transición Energética y Cambio Climático** asigna competencias claras: el **Departamento competente en medio ambiente** (actualmente Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente) es la autoridad política que formula las políticas de mitigación y adaptación. Dentro de él, se ubica la **Oficina Vasca de Transición Energética y Cambio Climático** (OVTECC), órgano colegiado creado para la coordinación y seguimiento técnico de las políticas climáticas. Esta Oficina (antecedente de la que la nueva Ley consolida) tiene funciones de elaborar inventarios, desarrollar metodologías, analizar vulnerabilidades y coordinar actuaciones de los distintos entes públicos en materia de energía, cambio climático y aguas. De hecho, integrados en la OVTECC están la **Agencia Vasca del Agua (URA)**, el **Ente Vasco de la Energía (EVE)** y la sociedad pública Ihobe, entre otros, garantizando así la transversalidad. A nivel de coordinación interna, la Ley 1/2024 crea la **Comisión de Transición Energética y Cambio Climático de la Administración General** del País Vasco, que evalúa y recomienda sobre políticas climáticas, incluyendo normativas, dentro del Gobierno. En el ámbito de asesoramiento científico, la Ley establece un **Comité Científico en materia de Transición Energética y Cambio Climático**, formado por expertos propuestos por el Parlamento, cuya tarea principal es elaborar un informe anual independiente sobre el progreso en adaptación y mitigación. Asimismo, existe la **Comisión Ambiental del País Vasco**, de la cual una sección específica se dedica al cambio climático, asegurando la participación y coordinación entre administraciones de distintos niveles (Gobierno Vasco, Diputaciones Forales de Álava, Bizkaia, Gipuzkoa, Ayuntamientos a través de Eudel). Finalmente, un pilar importante es la red **Udalsarea 2030 – Red Vasca de Municipios hacia la Sostenibilidad**, que actúa como plataforma de colaboración interinstitucional para la sostenibilidad local, con 200+ municipios miembros y la implicación de departamentos del Gobierno Vasco, Diputaciones, URA, EVE, Ihobe, etc.. Esta red impulsa que los municipios vascos (el 99% ya adheridos al Pacto de Alcaldías) desarrollen sus planes locales de clima. En conjunto, la gobernanza vasca del cambio climático es altamente integradora, con niveles claros de responsabilidad, coordinación horizontal y vertical, y asesoramiento experto.

Marco normativo

El País Vasco cuenta con un marco normativo y estratégico completo. La **Ley 1/2024, de 2 de marzo, de Transición Energética y Cambio Climático** es su pieza central. Entre otras cosas, esta ley fija objetivos (reducción del 55% de emisiones en 2030 respecto a 1990, neutralidad en 2050), regula la adaptación y crea instrumentos de gobernanza (como los mencionados comité científico, etc.). Además, el Gobierno Vasco había aprobado en 2015 la **Estrategia Vasca de Cambio Climático - Klima 2050**, que sigue vigente como hoja de ruta general. Klima 2050 establece metas y 9 áreas de actuación, incorporando la adaptación como uno de sus ejes fundamentales. Sus objetivos de adaptación apuntan a reducir la vulnerabilidad en sectores naturales y socioeconómicos para mitad y finales de siglo. Complementando a Klima 2050, el País Vasco adoptó la **Estrategia de Transición Energética y Cambio Climático 2030** (ETECC 2030) junto a la **Hoja de Ruta a Largo Plazo (2050)**, ambas actualmente pendientes de aprobación final (estaban en fase de proyecto en 2022-2023). Estas estrategias actualizan a medio plazo los compromisos de Klima 2050, detallando acciones hasta 2030 en ámbitos como energía renovable, movilidad, resiliencia costera, etc. A nivel sectorial, existe la **Estrategia de Biodiversidad del País Vasco 2030**, que incluye acciones de adaptación basadas en ecosistemas. El País Vasco también contó con planes operativos: el **Plan de Lucha contra el Cambio Climático 2008-2012** fue su primer plan, ya no vigente, y más reciente

el **Plan de Transición Energética y Cambio Climático 2021-2024** (no vigente al finalizar su periodo), que ejecutó proyectos piloto e inversiones a corto plazo. Asimismo, la Comunidad Autónoma se alineó con la Declaración de emergencia climática en 2019. En resumen, con la nueva Ley 2024 y la estratégica Klima 2050/ETECC 2030, el País Vasco dispone de un marco completo –legal, estratégico y operativo– donde la adaptación tiene peso equivalente a la mitigación.

Instrumentos de planificación y estudios

El País Vasco, a través de su sociedad pública Ihobe y en colaboración con centros de investigación como el **BC3 (Basque Centre for Climate Change)**, ha generado un amplio conocimiento sobre impactos y vulnerabilidad. Desde 2010 publica periódicamente el informe **"Análisis de la vulnerabilidad del País Vasco al cambio climático"**, que en su última edición evalúa en detalle 10 ámbitos de impacto. Las conclusiones clave señalan que en Euskadi se espera un **incremento generalizado de temperaturas**, alteración del **régimen de precipitaciones** (tendencia a menos lluvia media, pero con más eventos extremos en corto tiempo) y **calentamiento del agua** (marina y continental), así como **subida del nivel del mar** en la costa. Con base en esto, se han identificado los **impactos esperados prioritarios**: más **olas de calor** afectando a la población urbana (riesgo sanitario), mayor **riesgo de inundaciones fluviales** (ej. cuencas del Nervión y Bidasoa), **periodos de sequía más intensos** que incrementan el estrés hídrico y agravan incendios forestales, **inundaciones costeras** y erosión en el litoral (especialmente en marismas y playas bajas, como Urdaibai, Txingudi), **deslizamientos de ladera** en zonas húmedas del interior, y mayor estrés en especies de flora y fauna que están en su límite climático. Para enfrentar esto, Klima 2050 estableció 4 líneas de adaptación: (1) introducir criterios climáticos en la planificación territorial y urbanística, (2) proteger el litoral frente al cambio del nivel del mar, (3) garantizar la disponibilidad de agua y gestionar sequías e inundaciones, y (4) desarrollar la investigación y generación de conocimiento. En ejecución, el País Vasco ha sido pionero en proyectos demostrativos: por ejemplo, realizó el proyecto **"Kostaegoki"** de adaptación del litoral, con acciones piloto de defensa blanda (restauración de dunas en la playa de Laida, construcción de humedales en estuario del Oria para absorber mareas vivas). También financia, vía programa **Klimatek**, proyectos de I+D aplicada a la adaptación, como modelos bioclimáticos para prever distribución futura de hábitats (colaboración con universidades). En infraestructura verde, ha impulsado **soluciones basadas en la naturaleza en ciudades** (Vitoria-Gasteiz, "anillo verde" periurbano que regula inundaciones; Bilbao, parques inundables en margen de la ría). En gestión del agua, la Agencia URA actualizó el Plan de Gestión de Inundaciones incorporando escenarios de lluvias más intensas, y ha construido ya infraestructuras de retención (polder de Arteaga en el río Ibaizabal) para proteger Bilbao. En cuanto a sequías, si bien Euskadi parte de una situación hídrica holgada, ha empezado a analizar la vulnerabilidad de sus embalses ante veranos más secos, mejorando la interconexión de redes entre territorios históricos (por ejemplo, el enlace Zadorra-Baypas del Consorcio de Aguas de Gipuzkoa). En agricultura, se están probando cultivos alternativos (kiwi, más adaptado a clima suave que manzanos tradicionales que sufren con calor) y avanzando en viticultura adaptativa (denominación Rioja Alavesa, identificando cotas más altas para viñedos futuros). El **Observatorio Vasco del Cambio Climático (Azti-BRTA)** difunde indicadores anuales de estos sectores. En resumen, el País Vasco combina una sólida planificación de alto nivel con proyectos concretos en territorio, apoyándose fuertemente en ciencia y tecnología local.

Implicaciones para la planificación hidrológica

En el País Vasco, **los recursos hídricos y la gestión de riesgos ligados al agua son una prioridad adaptativa**. Aunque la CAV es lluviosa comparada con otras regiones, la distribución irregular (muy húmedo en la costa y zonas norte, más seco en Rioja Alavesa) y el previsto descenso de precipitación media requieren medidas. Los planes hidrológicos de las cuencas internas del País Vasco (competencia de URA) ya integran escenarios: por ejemplo, se espera una ligera disminución de aportaciones anuales a los embalses del Zadorra, lo que se compensará reduciendo fugas y optimizando consumos. En la vertiente cantábrica, se enfatiza la **gestión de inundaciones**: ríos cortos de pendiente fuerte pueden desbordarse con lluvias torrenciales. URA, en su Plan de Gestión de Inundaciones 2022-27, prioriza proyectos adaptativos como la ampliación

de llanuras aluviales en el Oria y Urumea. Además, la **subida del nivel del mar**, proyectada en unos +20 cm para 2050 en la costa vasca, conllevará intrusión salina en rías y mayor frecuencia de mareas vivas que superen defensas actuales. La respuesta en el Plan de Costa es combinada: proteger puntos críticos (se ha elevado el dique de la Zurriola en Donostia) y retroceder o acomodar en otros (p.ej., se está discutiendo dejar espacio en la marisma de Plentzia para que inunde sin daños). Otra cuestión es la calidad del agua: temperaturas más altas del mar y del agua dulce pueden afectar a ecosistemas (floraciones de algas en embalses, etc.), por lo que se intensificará la vigilancia (ya operan redes de sensores en pantanos como Ullibarri-Gamboa). En agricultura alavesa, **el estrés hídrico** podría incrementar la demanda de riego; el Plan Hidrológico del Ebro (que cubre Rioja Alavesa) deberá tenerlo en cuenta asignando caudales oportunos del Ebro para los regadíos de Rioja, en coordinación con La Rioja y Navarra. En definitiva, el País Vasco ha integrado la adaptación en sus propios planes (hidrológicos, de inundaciones, de costa) y debe seguir colaborando en planos supra-regionales (Cuenca del Ebro, Cantábrico Oriental). Gracias a su red institucional, que incluye al **agua (URA) y la energía (EVE) en la oficina climática**, el feedback es continuo. Por tanto, en la próxima revisión de planes hidrológicos, se espera que las proyecciones climáticas más recientes se incorporen fluidamente, asegurando un suministro suficiente a población e industria (pensar en Bilbao y su conurbación) a la vez que se protege un patrimonio hídrico crucial –como son los bosques húmedos y ríos trucheros vascos–. Con su énfasis en soluciones basadas en la naturaleza y en innovación, Euskadi está bien encaminada para **aumentar su resiliencia hídrica y territorial**, manteniendo su calidad de vida y ecosistemas pese a los cambios climáticos en marcha.

Región de Murcia

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/region-de-murcia

Marco competencial

La Región de Murcia orienta sus políticas climáticas desde la **Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca, Medio Ambiente y Emergencias** (nombre agrupado en la última legislatura). En la práctica, la estrategia climática murciana ha sido impulsada por la antigua **Consejería de Desarrollo Sostenible** (2020) y, tras reorganizaciones, se mantiene en una consejería con peso del agua dado el carácter crítico de este recurso en Murcia. Existe una **Oficina Regional de Cambio Climático** de carácter técnico, integrada en la Dirección General de Medio Ambiente, que coordina las acciones de mitigación y adaptación. Sin embargo, a diferencia de otras CCAA, Murcia no ha desarrollado órganos interdepartamentales específicos; en su lugar, aprovecha las estructuras relacionadas con el agua (como la Mesa del Agua regional) y la planificación de riesgos (Plan Infomur de incendios, Plan sequía) para integrar la adaptación. Un avance en gobernanza fue la creación en 2018 del **Observatorio Regional del Cambio Climático**, concebido como órgano asesor y de participación con presencia de universidades (UPCT, UMU), sectores económicos (agricultura intensiva, turismo) y entidades ecologistas. Este Observatorio elaboró recomendaciones para la Estrategia regional. Adicionalmente, Murcia declaró la emergencia climática en 2019, y reorganizó competencias creando inicialmente una Consejería de Medio Ambiente y Mar Menor que enfatizaba la adaptación costera. Actualmente, tras cambios de gobierno, el liderazgo recae en la consejería mencionada, manteniéndose la Oficina técnica y el Observatorio (aunque con menor actividad pública desde 2021).

Marco normativo

La Región de Murcia aprobó en abril de 2022 su primera estrategia integrada, la **Estrategia Regional de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático (ERMACC)**. Esta Estrategia surge de mandatos de la Asamblea Regional y el Consejo de Gobierno, y fue formulada por el departamento competente en cambio climático, con consulta a otros departamentos y al Observatorio Regional. La ERMACC fija dos objetivos principales: reducir un 26% las emisiones difusas en 2030 (respecto a 2005) y **lograr una región menos vulnerable al cambio climático**. Para este segundo gran objetivo, la Estrategia desarrolla 15 líneas estratégicas de actuación, muchas de ellas adaptativas. Por ejemplo, establece la **incorporación obligatoria de la variable climática en la evaluación ambiental de nuevos planes y proyectos**, fomentar acuerdos voluntarios con empresas para la adaptación, identificar medidas "ecoeficientes" (favorables ambiental y económicamente), y aplicar los escenarios de subida del nivel del mar en la planificación urbanística costera. Otras líneas adaptativas incluyen: **naturalización de espacios urbanos e infraestructura verde** (ya se impulsa un Plan de Arbolado Urbano regional), **adaptación del medio natural** (bosques y biodiversidad) para hacerlo más resiliente a sequías e incendios, **reforzar la salud pública frente a olas de calor**, impulsar la adaptación y mitigación a nivel municipal vía los PAES/PACES del Pacto de Alcaldes, e integrar la vulnerabilidad climática como criterio en la asignación de fondos europeoshttps://transparencia.carm.es/-/estrategia-regional-de-mitigacion-y-adaptacion-al-cambio-climatico?p_p_state=maximized. La ERMACC fue aprobada mediante Acuerdo de Consejo de Gobierno el 20/04/2022, sin rango de ley pero con valor estratégico. Cabe destacar que Murcia preparó un Anteproyecto de Ley de Cambio Climático en 2020, pero quedó congelado; tras la Estrategia, en 2023 se insinuó reactivarlo, pero aún sin concretar. Por tanto, actualmente la ERMACC es la guía principal. También subsiste la *Estrategia de Economía Circular Región de Murcia 2020* con sinergias (por ejemplo, reutilización de aguas depuradas –importante adaptación–). Normativa sectorial relevante incluye el Plan Director de Defensa contra Inundaciones del Mar Menor (2022) y el Decreto-Ley Mar Menor 2020 que incorpora resiliencia en la cuenca vertiente de la laguna.

Instrumentos de planificación y estudios

La Región de Murcia, con clima semiárido, ha estado siempre atenta a los riesgos climáticos: sus planes de sequía e inundaciones llevan décadas en marcha. Sin embargo, en el contexto de cambio global, se han intensificado estudios específicos. La ERMACC se sustentó en un **Estudio de Escenarios Climáticos para Murcia** (2017) realizado por AEMET, que proyecta para fin de siglo aumentos de temperatura de +3-4°C y disminuciones de precipitación de hasta -20% en escenarios RCP8.5. Estos cambios implican un **riesgo creciente de desertificación**. De hecho, un estudio de 2021 indicaba que **más del 80% de las tierras de regadío murcianas podrían entrar en categoría árida** bajo escenarios de emisiones altas. La Estrategia identificó sectores críticos: recursos hídricos, agricultura, zonas costeras (especialmente el Mar Menor), salud (golpe de calor, contaminación por ozono), turismo y protección civil. En agua, se realizaron análisis de las **Cuencas del Segura y del Guadalentín**, constatando que las aportaciones del Segura podrían caer un ~7% en 2039 y hasta 11-14% en 2070. Esto se refleja ya en el Plan Hidrológico del Segura 2022-27, que incorpora esas previsiones. Como medidas adaptativas, Murcia ha apostado fuerte por la **desalación y reutilización**: hoy más del 98% de las aguas residuales depuradas se reutilizan para riego, y se está ampliando la capacidad de desalación (planta de Torrevieja compartida con C. Valenciana). Otro ámbito es la costa: el **Mar Menor** sufre episodios de temperaturas inusualmente cálidas del agua que precipitan crisis ambientales (anoxia). La adaptación aquí pasa por restaurar su equilibrio: se implementan humedales artificiales para filtrar escorrentías agrarias y se regula la extracción ilegal de agua para evitar vertidos de nutrientes que agravan la vulnerabilidad de la laguna a olas de calor. En infraestructura, tras la **Dana de 2019** que anegó la Vega Baja y áreas de Murcia, se aceleró la construcción de tanques de tormentas y encauzamientos (Plan Vertido Cero al Mar Menor incluye obras de drenaje). Por último, Murcia fomenta la investigación local: la Universidad de Murcia lidera proyectos sobre resiliencia de cultivos leñosos (almendro, olivo) a sequía prolongada, y el CEBAS-CSIC estudia la recuperación de suelos salinizados, vital ante la eventual subida del nivel freático por menos recarga y más intrusión marina. A nivel

municipal, Murcia capital aprobó en 2022 su Plan de Acción Climática con medidas como corredores verdes para refrescar la ciudad y aumentar capacidad de drenaje. Otros municipios como Cartagena y Lorca avanzan en planes similares.

Implicaciones para la planificación hidrológica

En la Región de Murcia, **el agua es el centro neurálgico de la adaptación**. Con unas precipitaciones medias anuales en torno a 300 mm y gran variabilidad interanual, el cambio climático amenaza con hacer permanente la situación de escasez. La adaptación en la planificación hidrológica del Segura es por tanto esencial. El Plan Hidrológico del Segura 2022-27 ya reconoce un déficit estructural de ~400 hm^3/año que podría ampliarse con el cambio climático. La Confederación del Segura, en coordinación con la Comunidad, plantea medidas como: maximizar la producción de agua no convencional (desalación hasta sus límites energéticos, reutilización al 100%), mejorar la eficiencia de riego por encima del 85% (actualmente ya muy alta gracias al riego por goteo extendido en Murcia), y desarrollar bancales y infraestructuras verdes en cuencas vertientes para laminar avenidas y recargar acuíferos cuando llueva (por ejemplo, se proponen diques de retención en ramblas). Asimismo, la Región participa en la gestión del **Trasvase Tajo-Segura**, cuya disponibilidad futura puede menguar por las sentencias que aumentan caudales ecológicos en el Tajo (también por cambio climático). Aquí la adaptación pasa por planificar una agricultura más resiliente: cultivos de mayor valor añadido por gota de agua, tecnología de sensorización para riego a demanda, e incluso cambios de modelo (incorporar energías renovables a desalación para que sea más asequible). En cuanto a riesgos de inundación, la planificación territorial murciana ha aprendido de eventos pasados: se han actualizado mapas de riesgo y PATRICOVA (plan de inundabilidad) para evitar nuevos desarrollos en zonas inundables –aspecto que deberá respetarse estrictamente para reducir daños futuros. Por el lado costero, la subida del Mediterráneo (estimada ~+20 cm en 2050) puede afectar playas turísticas (La Manga, Mazarrón). Murciaplanea trabajar con Costas para mantener la **playa-duna como defensa natural** y no recurrir solo a diques duros que a veces agravan la erosión en otros tramos. En síntesis, el **futuro de Murcia dependerá de su capacidad de gestionar cada gota de agua eficientemente y de convivir con un clima todavía más extremo**. La Estrategia regional y las actuaciones en curso muestran el compromiso de hacerlo. La consideración de estas acciones en la revisión continua de los Planes Hidrológicos (Segura, Guadalentín y, en menor medida, Júcar en el Altiplano murciano) es fundamental. Murcia, por experiencia, ha sabido adaptarse históricamente a la escasez con innovación (invernaderos, riego localizado, cultivos hidropónicos); esa misma resiliencia tendrá que redoblarse con el cambio climático, y los planes hidrológicos deben ser el reflejo de esa adaptación colaborativa entre usuarios, administración regional y confederaciones. En conclusión, la Región de Murcia afronta uno de los mayores desafíos de adaptación en España, pero cuenta con la determinación y conocimientos para enfrentarlo, consolidándose como un **"laboratorio" de adaptación hídrica** del que extraer lecciones para otras zonas áridas del mundo.

La Rioja

Vínculo a resumen y enlaces en AdapteCCa	https://adaptecca.es/comunidades-autonomas/la-rioja

Marco competencial

En La Rioja, la adaptación al cambio climático se articula desde la **Consejería de Agricultura, Ganadería, Mundo Rural y Medio Ambiente**, con un papel central de la **Dirección General de Calidad Ambiental, Cambio Climático y Agua**. El **Servicio de Cambio Climático (Sección de mitigación y adaptación)** asume la coordinación técnica, incluida la

elaboración, coordinación y seguimiento de planes y programas de adaptación. Como marco de participación y contraste, la Comunidad dispone de órganos ambientales de carácter consultivo por ejemplo, el **Consejo Asesor de Medio Ambiente**), que facilitan el intercambio con agentes sociales, económicos y científicos en materias vinculadas con la adaptación.

Marco normativo

El principal instrumento vigente es el **Plan Regional de Adaptación al Cambio Climático de La Rioja 2023-2030 (PRACC)**, aprobado mediante Resolución 631/2025 de la Consejería y publicado en el Boletín Oficial de La Rioja. Este Plan se alinea con los principios y escenarios del **PNACC** y se ha tramitado mediante **Evaluación Ambiental Estratégica**, incorporando documentación pública de apoyo (diagnóstico, cartografía, estudio ambiental e indicadores). Complementariamente, el Gobierno de La Rioja adoptó en 2022 una **Declaración de emergencia climática y de biodiversidad** que fija compromisos transversales y refuerza el mandato institucional de integrar la variable climática en las políticas públicas, incluyendo la gestión de los recursos hídricos.

Instrumentos de planificación y estudios

El **PRACC (2023-2030)** se apoya en un **diagnóstico climático regional** y en una **evaluación sectorial del riesgo climático (amenaza, exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación)** aplicada a doce sectores, con priorización de ámbitos de actuación y un despliegue operativo en metas, líneas de actuación y fichas de medidas, con seguimiento mediante indicadores. La importancia del **sector agrario** (en particular, el vitivinícola) y su dependencia de la climatología y del agua se reconocen como elementos prioritarios de la adaptación regional. En materia de agua, destacan instrumentos autonómicos que facilitan la traducción de la adaptación a la gestión cotidiana: el **Plan Director de Abastecimiento de Agua a Poblaciones 2016-2027** (orientado a garantizar suministro en calidad y cantidad, con programas de eficiencia y gobernanza del agua) y el **Plan Director de Saneamiento y Depuración 2016-2027** (desarrollo coordinado de infraestructuras y cumplimiento normativo). Estos instrumentos constituyen un soporte operativo para integrar medidas de resiliencia (eficiencia, reducción de pérdidas, planificación de inversiones y gestión de servicios) coherentes con los objetivos del PRACC.

Implicaciones para la planificación hidrológica

La Rioja se integra mayoritariamente en la cuenca del Ebro, donde el calentamiento, la **mayor irregularidad hidrológica y el incremento de episodios extremos** (sequías e inundaciones repentinas) condicionan la garantía de suministro, la demanda agrícola y la calidad del agua, con potenciales efectos sobre el estado de las masas de agua y el cumplimiento de objetivos ambientales. En este contexto, el PRACC aporta un marco regional útil para los estudios de adaptación vinculados a la revisión de los planes hidrológicos: (i) ofrece una **priorización sectorial y territorial de riesgos** que puede apoyar la identificación de medidas y su secuenciación; (ii) facilita la **coordinación** entre planificación autonómica (abastecimiento/saneamiento, ordenación territorial, agricultura y biodiversidad) y la planificación hidrológica de cuenca; y (iii) aporta una **base documental** (diagnóstico, indicadores y fichas) aprovechable para justificar medidas de adaptación, reforzar la coherencia con los programas de medidas y orientar el seguimiento. Para maximizar su valor, conviene asegurar la trazabilidad de las medidas relevantes hacia las presiones e impactos hidrológicos (escasez, calidad, alteración hidromorfológica y riesgo de inundación) y el encaje con los instrumentos de sequías e inundaciones del ámbito de cuenca.

Ceuta y Melilla

Fuentes de información	https://www.cambioclimaticoceuta.com/ https://www.melilla.es/melillaportal/

Marco competencial

Las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla, por su estatus, no disponen de consejerías análogas a una comunidad autónoma, pero sí han desarrollado órganos locales para el cambio climático.

En **Ceuta**, la responsabilidad recae en la Consejería de Medio Ambiente y Servicios Urbanos de la Ciudad de Ceuta. En 2020 se creó la **Oficina de Cambio Climático y Rehabilitación Energética de Ceuta**, que funciona como ventanilla única para asesorar y promover iniciativas de mitigación y adaptación en la ciudad. Esta Oficina impulsa medidas de eficiencia energética, despliegue de renovables y concienciación ciudadana, todos relevantes también para la adaptación (por ejemplo, rehabilitación energética de edificios frente a olas de calor). Ceuta se apoya además en la **autoridad portuaria** y la **Delegación del Gobierno central** en áreas como adaptación costera y protección civil.

En **Melilla**, la Consejería de Medio Ambiente y Sostenibilidad lidera las políticas climáticas. Melilla se adhirió en 2014 al Pacto de los Alcaldes y elaboró su **Plan de Acción para el Clima y la Energía Sostenible (PACES)**, aprobado en 2020. El PACES de Melilla, considerado un documento estratégico local, integra acciones de mitigación y adaptación: es la hoja de ruta climática de la ciudad. Ambas ciudades, Ceuta y Melilla, colaboran con el MITECO en programas nacionales (han sido incluidas en proyectos piloto del PNACC).

No cuentan con leyes propias climáticas, pero la **Ley 7/2021 estatal de Cambio Climático** es de aplicación directa en ellas, sirviendo de marco para sus actuaciones.

Marco normativo

Ceuta y Melilla, al no legislar en esta materia, basan su marco en planes municipales y estrategias nacionales.

Ceuta publicó en 2011 su **Estrategia de Desarrollo Sostenible** que contenía lineamientos climáticos, actualizados luego por planes sectoriales (energía solar, movilidad eléctrica, etc.). Más recientemente, Ceuta declaró la emergencia climática e incorpora objetivos de la Ley 7/2021 en sus políticas (por ejemplo, la reducción del 55% de emisiones para 2030 y la neutralidad 2050).

Melilla, por su parte, con su **PACES 2020**, estableció metas al 2030 en mitigación (40% menos emisiones) y varias medidas adaptativas. Adicionalmente, Melilla participa en la iniciativa *Ciudades Circulares 2030*, integrando resiliencia climática en su Plan Estratégico Melilla 2029. Un hito normativo específico fue la aprobación por Melilla en 2020 de la figura de la **Reserva de la Biosfera Transfronteriza del Mar de Alborán**, que incluye compromisos de adaptación marina compartidos con Andalucía y Marruecos. Tanto Ceuta como Melilla han firmado convenios con ministerios (Transición Ecológica) para proyectos de adaptación: por ejemplo, en 2022 Ceuta suscribió un acuerdo para mejora de la calidad del aire y adaptación sanitaria con el ISCIII.

Instrumentos de planificación y estudios

Ceuta enfrenta retos adaptativos similares a zonas áridas litorales: escasez de recursos hídricos, calor extremo y amenazas costeras. La ciudad depende casi totalmente de la **desalación de agua de mar** para suministro; ya en la actualidad produce ~60% de su agua vía desaladora, y esto aumentará con el cambio climático. Ceuta ha invertido en modernizar su planta desaladora (mejorando eficiencia energética para reducir coste e impacto) y en campañas de ahorro de agua. Respecto a calor, Ceuta experimenta olas de calor severas; la ciudad, densamente urbanizada, ha iniciado un plan de **reforestación urbana** (plantación de árboles en calles y parques) para mitigar el efecto isla de calor, alineado con recomendaciones del Pacto de Alcaldes del Mediterráneo. En cuanto a fenómenos costeros, Ceuta sufre ocasionalmente temporales de levante que provocan inundaciones en el litoral sur. Para ello, se reforzaron espigones y se implementó un sistema de alerta temprana meteorológico en colaboración con Puertos del Estadohttp://www.puertodeceuta.com/informacion/puerto-informa/6586/. La Autoridad Portuaria de Ceuta y la Ciudad firmaron un convenio en 2021 para mejorar la resiliencia del frente portuario (infraestructura crítica) ante la subida del nivel del mar.

Melilla comparte muchas vulnerabilidades: con un **clima semiárido** similar al de Almería, la disponibilidad de agua es su principal preocupación. Melilla obtiene agua de una desaladora y de acuíferos sobreexplotados; para adaptarse, su PACES prevé aumentar la capacidad desaladora con energías renovables e implementar sistemas de captación de agua de lluvia (aunque las lluvias son escasas, se busca aprovecharlas). También se plantea recuperar la práctica tradicional de **almacenar agua de lluvia en aljibes** para usos no potables. Melilla padece fuertes lluvias ocasionales que causan inundaciones en barrios bajos; en 2022 inició un estudio de riesgos climáticos con la Universidad Politécnica de Cartagena para identificar puntos críticos de drenaje urbano. Otro eje es la adaptación del litoral: Melilla posee una franja costera baja (playa de San Lorenzo) susceptible a la erosión y mareas meteorológicas. Se han realizado obras de protección (espigones sumergidos) y la ciudad participa en el proyecto **Adapta Costas** de MITECO para monitorear su línea de costa. En salud pública, tanto Ceuta como Melilla desarrollan en veranos planes especiales por calor y calidad del aire (el polvo sahariano incide en ellas con frecuencia, agravando enfermedades respiratorias), en coordinación con el Instituto de Salud Carlos III.

Implicaciones para la planificación hidrológica

Si bien Ceuta y Melilla no tienen planes hidrológicos propios (dependen de la Administración General del Estado para la planificación hidráulica), la **gestión del agua es el factor crítico de su adaptación**. Ambas ciudades comparten la situación de enclaves costeros aislados, sin cuencas extensas: **su seguridad hídrica depende de la desalación y de pequeños acuíferos locales**. En un escenario de cambio climático con menor pluviometría y mayor evaporación, deben avanzar hacia la autosuficiencia hídrica mediante desalación eficiente, diversificación de fuentes (proyectos de reutilización de aguas grises a nivel urbano) y reducción de pérdidas en redes (los planes de Ceuta y Melilla incluyen inversiones para modernizar tuberías antiguas). Por otra parte, **el aumento del nivel del mar** proyectado amenaza con salinizar los acuíferos costeros de Melilla y Ceuta; por ello, será vital monitorear la intrusión salina e, idealmente, recargar artificialmente esos acuíferos con excedentes (si los hubiera en episodios de lluvia). A nivel de protección civil, estas ciudades deberán integrar en sus Planes de Emergencia Municipal las nuevas realidades climáticas: olas de calor más largas (preparando refugios climatizados y protocolos para población vulnerable) y tormentas más intensas (limpieza preventiva de drenajes, sistemas de alerta por SMS a la población). En resumen, la adaptación de Ceuta y Melilla se enfoca en **soluciones locales de alto impacto**: garantizar el agua potable y reducir impactos de extremos climáticos en sus entornos urbanos densos. Aunque su escala es pequeña, su experiencia resulta ilustrativa de los retos de adaptación en entornos urbanos áridos. En futuras revisiones del Plan Nacional de Adaptación, convendrá prestar atención a estas ciudades, cuyas peculiaridades (isolación geográfica, dependencia de suministros externos) las hacen necesitadas de un apoyo específico –por ejemplo, en financiación de infraestructuras adaptativas–. No obstante, Ceuta y Melilla están dando pasos en la dirección correcta: han planificado

(vía PACES y oficinas climáticas) y están **implementando medidas concretas** que, aunque modestas en alcance, contribuirán a mejorar su resiliencia y la calidad de vida de sus habitantes ante un clima en transformación.

Anejo 2. Notas metodológicas sobre el tratamiento de los datos hidrológicos y climáticos

1. Modelo SIMPA (CEDEX)

El Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX desarrolla y mantiene el **modelo SIMPA (Sistema Integrado de Modelación Precipitación-Aportación)**, utilizado en España para la evaluación de los recursos hídricos en régimen natural.

https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/cedex-informeerh2019_tcm30-518171.pdf

El modelo SIMPA proporciona información mensual en formato ráster, con una resolución espacial de 500 x 500 m, desde octubre de 1940 hasta septiembre de 2023, para diferentes variables: Aportación acumulada en la red de drenaje (hm^3), Escorrentía superficial (mm), Escorrentía subterránea (mm), Escorrentía total (mm), Evapotranspiración Potencial (mm), Evapotranspiración Real (mm), Humedad en el suelo (mm), Infiltración (mm), Precipitación (mm), Temperatura media (ºC) y Volumen almacenado en forma de nieve (mm).

Partiendo de estas series mensuales se han obtenido mes a mes, tres parámetros adicionales:

- El balance hídrico: representado como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial.
- El déficit hídrico: obtenido como diferencia entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real.
- El índice de Aridez: calculado como el cociente entre la precipitación y la evapotranspiración potencial.

Adicionalmente, con el fin de disponer de la información en diferentes unidades, todas las variables se han expresado tanto en mm como en hm^3. La conversión de mm a hm^3 se ha realizado multiplicando el valor de cada celda por un factor de conversión dependiente de su superficie.

Por último, se han agregado los archivos mensuales de cada variable y se han obtenido los ráster anuales por año hidrológico. A partir de estos archivos se han construido los dos periodos de referencia (1940-1980 y 1980-2023) y se han calculado los ráster estadísticos representativos de la mediana anual de cada periodo.

2. Modelo SIMPA + Escenarios de Cambios Climático (CEDEX)

La evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos se ha realizado a partir de la información facilitada por el CEDEX en 2025, en el marco de la actualización de los trabajos de Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España (CEDEX, 2017), así como de la Memoria de la Encomienda de Gestión correspondiente.

El conjunto de datos de proyecciones climáticas proporcionado por el CEDEX integra archivos en formato ráster, con una resolución espacial de 500 × 500 m y cobertura para todo el territorio nacional.

Los archivos facilitados se corresponden con las variables de escorrentía total (mm), evapotranspiración potencial (mm), evapotranspiración real (mm), recarga de acuíferos (mm), precipitación (mm), acumulación nival (mm) y aportación (hm^3). Para cada una de estas variables se dispone de un ráster representativo del valor medio anual para cada combinación de modelo climático (11 en total), horizonte temporal (2030–2060, 2050–2080 y 2070–2100) y escenario de emisiones (emisiones medias, SSP2-4.5 y emisiones muy altas, SSP5-8.5). Esta información se facilita junto con los archivos correspondientes al periodo de control (1980–2010).

El ensemble definitivo de modelos climáticos utilizados se basa en la selección realizada por AEMET, que identifica los mejores modelos por familia climática según su posición en la clasificación de Correa et al. (2023). En total, se consideran 11[18] modelos climáticos globales (GCM), de los cuales se derivan 33 escenarios climáticos regionalizados (ECR): 11correspondientes al periodo histórico o de control y 22 proyecciones futuras, 11 para el escenario SSP2-4.5 (emisiones intermedias) y 11 para el escenario SSP5-8.5 (altas emisiones de gases de efecto invernadero). A continuación, se describe el conjunto de modelos climáticos considerados:

- CMCC-CM2-SR5_r1i1p1f1 (I): Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Italia
- CNRM-ESM2- 1_r1i1p1f2 (F): Centre National de Recherches Meteorologiques, Francia
- EC-Earth3- Veg_r1i1p1f1 (E): EC-Earth Consortium, Europa
- MIROC6_r1i1p1f1 (R): JAMSTEC (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology), Japón
- MPI-ESM1-2- HR_r1i1p1f1 (M): Max Planck Institute (MPI) for Meteorology, Alemania
- NorESM2- MM_r1i1p1f1 (G): Consorcio (CICERO, MET-Norway, NERSC, NILU, UiB, UiO y UNI), Noruega
- ACCESS-CM2_r1i1p1f1 (A): CSIRO y Bureau of Meteorology (BoM), Australia
- IITM-ESM_r1i1p1f1 (D): Centre for Climate Change Research, Indian Institute of Tropical Meteorology, India
- KACE-1-0-G_r1i1p1f1 (K): National Institute of Meteorological Sciences/Korea Meteorological Administration, Climate Research Division, Corea del Sur
- MRI-ESM2- 0_r1i1p1f1 (U): Meteorological Research Institute, Tsukuba, Japón
- UKESM1-0- LL_r2i1p1f2 (H): Met Office Hadley Centre, Reino Unido

Con el objetivo de disponer de un valor ensemble representativo, a partir de esta información se ha obtenido el ráster de la media del conjunto de los 11 modelos climáticos, para cada combinación de variable, horizonte y escenario, así como para el periodo de control.

Posteriormente, a partir de estos resultados se han generado una serie de archivos adicionales para cada combinación de variable, horizonte temporal y escenario, que permiten un análisis espacial detallado celda a celda:

- Ráster de valor absoluto, incluyendo el correspondiente al periodo de control.
- Ráster de variación absoluta, que representa el cambio de la variable respecto al periodo de control en términos absolutos.
- Ráster de variación porcentual, que representa el cambio de la variable respecto al periodo de control en términos relativos.

Adicionalmente, se generado esta misma información para las variables derivadas de balance hídrico (calculado como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial), déficit hídrico (diferencia entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real) e índice de aridez (cociente entre la precipitación y la evapotranspiración potencial).

Por último, y con el fin de facilitar su integración en distintos análisis, todas las variables se han expresado tanto en milímetros (mm) como en hectómetros cúbicos (hm^3). La conversión de mm a hm^3 se ha realizado multiplicando el valor de cada celda por un factor de conversión dependiente de su superficie.

[18] Con el sufijo _r1i1p1f1 se indica la variante de la simulación con un único MCG y hace referencia al miembro del ensemble (r), condiciones iniciales (i), parametrización física (p) y forzamiento (f).

3. Escenarios de Cambio climático (Adaptecca)

El Visor de Escenarios de Cambio Climático (AdapteCCa), desarrollado en el marco del PNACC, facilita la consulta de los escenarios de cambio climático para España, proporcionando valores medios y extremos de distintas variables climáticas para diferentes modelos, escenarios de emisiones y periodos temporales.

Las proyecciones se basan en el conjunto de modelos del CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6), regionalizados sobre una rejilla observacional de 5 × 5 km. Los resultados se presentan como media del ensemble, obtenida a partir del promedio de varios modelos climáticos globales previamente reescalados a una resolución espacial común. El uso de la media del ensemble permite reducir la incertidumbre asociada a modelos individuales y proporciona una señal climática más estable y robusta para el área de estudio.

Estas proyecciones han sido elaboradas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), mediante técnicas de regionalización estadística. En concreto, se emplea el método ESDRegBA, desarrollado por AEMET, para los índices dependientes de la temperatura, y el método DeepESD, desarrollado por el CSIC, para los índices dependientes de la precipitación y de la evapotranspiración potencial.

Los escenarios de emisiones considerados son SSP2-4.5 (emisiones intermedias) y SSP5-8.5 (emisiones muy altas). A diferencia de los escenarios RCP, los SSP incorporan explícitamente un contexto socioeconómico asociado a las trayectorias de concentración de gases de efecto invernadero. Los periodos futuros analizados corresponden a los horizontes cercano (2011–2040), medio (2041–2070) y lejano (2071–2100), tomando como periodo de control el intervalo 1971–2000.

Para la representación de la evolución futura de cada variable se han elaborado seis mapas, correspondientes a cada combinación de periodo futuro y escenario de emisiones, utilizando ráster agregados por año completo.

Con el fin de mantener la coherencia con el resto de las variables empleadas en el documento, también se han generado mapas representativos del periodo histórico para dos intervalos adicionales (1951/52–1979/80 y 1980/81–2020/21). Estos datos no se encuentran disponibles directamente a través del visor AdapteCCa, pero han sido obtenidos mediante el servicio THREDDS Data Server (TDS), que permite la descarga de los conjuntos de datos utilizados por la aplicación.

Finalmente, se han calculado los mapas de variación de las proyecciones futuras respecto al periodo de control para cada combinación de escenario y horizonte temporal: variación 2011–2040, 2041–2070 y 2071–2100, tanto para el escenario SSP2-4.5 como para el SSP5-8.5.

Anejo 3. Identificación de riesgos e impactos relevantes para la planificación hidrológica

Introducción

Este anejo establece el catálogo de situaciones de impacto/riesgo sectoriales que se consideran relevantes para la planificación hidrológica en el marco del Estudio de Adaptación al Cambio Climático (EACC). En esta primera generación de estudios, el catálogo actúa como un lenguaje común entre demarcaciones: delimita un conjunto manejable y comparable de consecuencias potenciales del cambio climático sobre sistemas y usos dependientes del agua, que sirve de base para el contraste con el diagnóstico del plan y para orientar la priorización de líneas de adaptación.

Tal y como se describe en el capítulo 4 de la Memoria (evaluación de riesgos), el EACC se apoya en el marco conceptual del IPCC y en las guías elaboradas por la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), combinando peligro (amenaza climática), exposición y vulnerabilidad. A efectos operativos se trabaja con una lista única de situaciones de impacto/riesgo que integra, para cada caso, la consecuencia esperable (impacto) y su potencial materialización (riesgo). Esta aproximación mantiene la distinción conceptual entre impacto (consecuencia) y riesgo (posibilidad de consecuencia adversa), y facilita una evaluación homogénea en un ejercicio que, por diseño, es de alcance general y pretende ser comparable entre demarcaciones.

El catálogo constituye el universo homogéneo de referencia para la caracterización posterior mediante fichas de impacto (Anejo 4) y para la priorización y selección de impactos clave (Anejo 5). En la práctica, cada situación de impacto/riesgo funciona como un nodo de la cadena causal: permite relacionar amenazas climáticas con exposición y vulnerabilidad, y mantener una trazabilidad consistente desde la identificación inicial hasta (i) la evaluación espacial del riesgo (capítulo 6) y (ii) la formulación de medidas de adaptación y de refuerzo de la resiliencia (capítulo 7).

La catalogación responde al mandato normativo y estratégico (art. 4bis del RPH, Ley 7/2021, de 20 de mayo y normativa conexa) y se orienta a los ámbitos sobre los que la planificación hidrológica tiene capacidad de diagnóstico y respuesta: (i) el estado de las masas de agua y ecosistemas asociados, (ii) las garantías y la calidad del recurso para usos socioeconómicos dependientes del agua, y (iii) los extremos hidrológicos y procesos relevantes para la gestión (p. ej., inundaciones, sequías, procesos de sedimentación), incluyendo su repercusión sobre infraestructuras y servicios esenciales.

El catálogo se ha construido apoyándose en las tipologías de impactos recogidas en la «Guía metodológica para el desarrollo de los trabajos de evaluación de riesgos y estudios específicos de adaptación al cambio climático en las demarcaciones hidrográficas» (UPV, 2025) y en las cadenas de impacto sectoriales de ERICC, complementadas con otras referencias nacionales e internacionales. La correspondencia con dichas tipologías se explicita en las secciones de Justificación y alcance de cada familia, donde se aclara también cuándo un impacto se recoge de forma desagregada o, en su caso, se sintetiza para evitar duplicidades (p. ej., entre calidad fisicoquímica, efectos biológicos y estado DMA) y mantener un catálogo operativo para su caracterización homogénea.

El catálogo se organiza en ocho familias (SW, GW, ECS, AU, AG, EI, RE, AC) y explicita, cuando procede, interacciones y eventos compuestos de manera representativa y comparable entre demarcaciones. La presencia de impactos síntesis responde a este objetivo: recoger señales integradas relevantes para la priorización sin impedir que, en fases posteriores, se profundice con el diagnóstico específico de presiones, indicadores y masas afectadas.

Los criterios de inclusión han sido: relevancia para objetivos ambientales y gestión (DMA, caudales ecológicos, disponibilidad y calidad), importancia socioeconómica, representatividad sectorial, correspondencia con peligros climáticos clave (sequías, crecidas, incremento de temperatura y elevación del nivel del mar), coherencia con cadenas de impacto y viabilidad de una caracterización homogénea con la información disponible. El catálogo no pretende ser exhaustivo ni sustituye a evaluaciones sectoriales

detalladas: sirve como base común para el contraste y la priorización en los anejos posteriores y podrá refinarse en ciclos futuros conforme se disponga de mejor evidencia, indicadores y experiencia de implementación.

SW. Impactos en aguas superficiales

Justificación y alcance

La **categoría SW** reúne impactos que se manifiestan principalmente en ríos, arroyos, lagos, embalses y aguas de transición asociadas a la dinámica fluvial, afectando a su régimen hidrológico y, especialmente, a condiciones fisicoquímicas y de calidad que determinan el estado de las masas de agua y su aptitud para usos. En planificación hidrológica, estos impactos son críticos por su vínculo con: (i) objetivos ambientales (DMA), (ii) condicionantes de explotación (disponibilidad, regulación y restricciones), y (iii) fiabilidad de usos dependientes de caudales y calidad.

En línea con la tipología de impactos propuesta en UPV 2025 (sección 4.7, Tabla 2), la selección SW –estrechamente vinculados a los grupos de amenazas regionales hidro-meteorológicas (p) e hidrológicas (H)– prioriza las vías hidrológicas y fisicoquímicas con mayor relevancia operativa en el ciclo de planificación: intermitencia/estiajes, menor dilución y concentración de contaminantes, cambios de salinidad y pH, turbidez y eutrofización, y picos de contaminación asociados a inundaciones. Los impactos biológicos más desagregados (hábitats, indicadores bióticos, invasoras), así como los procesos de sedimentos e incendios, se recogen en ECS o se sintetizan en SW7 (estado DMA), evitando duplicidades y manteniendo un catálogo manejable para su caracterización homogénea.

Impactos considerados

SW1. Aumento de la intermitencia de ríos y arroyos. Incremento de tramos con caudal nulo o muy bajo, estiajes prolongados y desconexión hidrológica, con pérdida de funcionalidad ecológica y de servicio. Puede traducirse en restricciones operativas, pérdida de hábitat acuático y mayor sensibilidad a episodios de contaminación por falta de capacidad de autodepuración.

SW2. Aumento de la concentración de contaminantes por menor dilución. Con caudales más bajos, las cargas puntuales y difusas generan concentraciones más altas (nutrientes, sales, materia orgánica, microcontaminantes), incrementando el riesgo de incumplimientos de objetivos y usos. Afecta tanto a masas de agua como a la aptitud de agua bruta para potabilización y a costes de tratamiento.

SW3. Alteraciones de parámetros fisicoquímicos (pH, salinidad). Cambios en salinidad, pH y otros parámetros (conductividad, alcalinidad) por combinación de menor aportación, mayor evaporación, cambios en retornos y procesos biogeoquímicos. Estas alteraciones condicionan comunidades biológicas, corrosividad, compatibilidad con usos y procesos de tratamiento.

SW4. Incremento de turbidez y sólidos en suspensión. Mayor frecuencia de episodios de alta turbidez por eventos de lluvia intensa, erosión y remoción de sedimentos, con impacto directo sobre hábitats, captaciones y potabilización. Puede incrementar necesidades de pretratamiento, limpieza de infraestructuras y, en casos severos, interrupciones temporales de captación.

SW5. Eutrofización de masas de agua lénticas. Condiciones más favorables para proliferación de algas/cianobacterias en embalses y lagos por mayor temperatura, estratificación y aportes de nutrientes, con efectos sobre oxígeno disuelto, olores/sabores y toxinas. Se traduce en deterioro de estado, restricciones de uso recreativo y mayores costes de potabilización.

SW6. Contaminación difusa provocada por inundaciones. Episodios de inundación y escorrentía intensa pueden movilizar fertilizantes, pesticidas, patógenos y sedimentos desde suelos agrarios/urbanos hacia la red fluvial. Genera picos de concentración, mortalidad de fauna y afectación a usos aguas abajo, con una dinámica pulsátil difícil de gestionar.

SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales (DMA). Impacto agregado que sintetiza el resultado neto de cambios hidrológicos, térmicos, de calidad, hábitat y presiones asociadas. Es particularmente relevante como señal integrada para priorizar verificación y medidas, sin sustituir el análisis de presiones/indicadores específicos.

GW. Impactos en aguas subterráneas

Justificación y alcance

La **categoría GW** agrupa impactos que se expresan en acuíferos y masas de agua subterránea, afectando su cantidad (recarga, niveles) y calidad (salinización, concentración y evolución geoquímica), con efectos directos sobre garantías de suministro, estado (DMA) y costes de tratamiento/gestión. Se mantiene una categoría específica por la naturaleza diferenciada de los procesos subterráneos, su inercia temporal y su papel estratégico en sequías y regulación natural.

De la tipología recogida en la Guía UPV 2025, se han seleccionado los procesos subterráneos con mayor relevancia para demarcaciones mediterráneas y litorales: intrusión salina en acuíferos costeros (GW1), deterioro químico por concentración y cambios geoquímicos (GW2) y el desajuste del balance cuantitativo junto con el deterioro del estado (GW3). El impacto "balance de aguas subterráneas" de la Guía se conceptualiza como factor de peligro (H2 Descenso de niveles freáticos y agotamiento de manantiales) y su impacto se incorpora en GW3 como componente cuantitativo de evaluación del estado (recarga-extracciones y descensos piezométricos).

Impactos considerados

GW1. Intrusión salina en acuíferos costeros. Intrusión salina en acuíferos costeros. Avance de la cuña salina y salinización por combinación de ascenso del nivel del mar, descenso de niveles piezométricos y cambios en la recarga. Reduce la disponibilidad de recurso utilizable, afecta a abastecimientos/regadíos y puede implicar irreversibilidades o recuperaciones lentas.

GW2. Merma de calidad química de las aguas subterráneas. Aumento de concentraciones (nitratos, sales, contaminantes) por menor dilución, cambios geoquímicos y movilización/entrada de contaminantes; incluye empeoramiento de parámetros que condicionan el buen estado químico. Incrementa costes de tratamiento y restricciones de uso, y puede agravar presiones sobre masas superficiales al desplazar demandas.

GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA). Impacto síntesis que refleja el resultado neto de presiones cuantitativas (desajuste recarga-extracciones, descensos piezométricos) y cualitativas, con efectos directos sobre objetivos ambientales y medidas del plan. Se utiliza como indicador agregado de tensión, a contrastar con diagnóstico específico de cada masa.

ECS. Impactos territoriales y ecosistémicos

Justificación y alcance

La **familia ECS** reúne impactos de amplio espectro que afectan a la funcionalidad ecológica y territorial vinculada al agua y, en muchos casos, a la actividad económica, la seguridad hídrica y al riesgo de desastres. Incluye efectos del calentamiento, alteraciones hidromorfológicas y biológicas, riesgos emergentes (invasoras, patógenos), procesos de sedimentación y, especialmente, impactos sistémicos por sequías e inundaciones (fluviales/pluviales y costeras), además del papel de incendios en la dinámica hidrológica y de sedimentos.

En consonancia con la Guía UPV 2025 y con ERICC, la familia ECS agrupa los impactos ecosistémicos y territoriales que no quedan plenamente descritos por las variables fisicoquímicas de SW/GW y que son determinantes para los objetivos ambientales, la reducción del riesgo de desastres y la continuidad de servicios. Se incluyen: calentamiento y efectos ecológicos (hábitats, comunidades, especies), procesos amplificadores (invasoras, patógenos/contaminantes emergentes, sedimentación) y daños sistémicos por extremos (sequías, inundaciones fluviales/pluviales y costeras) e incendios. Esta selección mantiene el catálogo sintético sin renunciar a la consideración de interacciones e impactos en cascada.

Impactos considerados

ECS1. Elevación de la temperatura del agua en ríos, lagos y embalses. Aumento térmico con efectos sobre oxígeno disuelto, estratificación, metabolismo y aptitud de hábitats. Puede agravar episodios de eutrofización, favorecer patógenos y reducir la idoneidad para especies sensibles.

ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos. Pérdida de refugios, conectividad y calidad de hábitat por combinación de estiajes, cambios morfológicos, temperatura y presión antrópica. Afecta a reproducción, migración y resiliencia ecológica, con implicaciones para objetivos ambientales y caudales ecológicos.

ECS3. Alteración de las comunidades biológicas (fauna y flora). Cambios en composición, fenología y estructura trófica por calentamiento, extremos y calidad; incluye desplazamientos de rangos y simplificación de comunidades. Puede reflejarse en deterioro de indicadores biológicos y pérdida de servicios ecosistémicos.

ECS4. Afección a especies emblemáticas y endémicas. Mayor riesgo para especies con nichos estrechos o alta dependencia de condiciones frías/estables y caudales suficientes. La pérdida local de poblaciones puede tener impacto ecológico y social (conservación, patrimonio natural, pesca recreativa).

ECS5. Degradación de ecosistemas ribereños y terrestres asociados. Estrés hídrico y térmico sobre bosques de ribera, humedales y mosaicos dependientes de niveles freáticos y caudales, con pérdida de sombra/refugio, filtración natural y estabilización de márgenes. Repercute en calidad del agua, biodiversidad y dinámica de sedimentos.

ECS6. Expansión de especies exóticas invasoras. Condiciones más cálidas y alteraciones hidrológicas pueden favorecer establecimiento y expansión de invasoras, con competencia, depredación o alteración del hábitat. Incrementa costes de gestión y puede comprometer objetivos de conservación y estado.

ECS7. Proliferación de patógenos y contaminantes emergentes. Mayor probabilidad de presencia/efecto de patógenos y microcontaminantes por calentamiento, menor dilución y eventos extremos que movilizan cargas. Afecta a ecosistemas y puede trasladarse a riesgos para usos recreativos y abastecimiento.

ECS8. Incremento de la sedimentación en embalses y cauces. Aumento del aporte sólido por erosión y extremos, y/o movilización post-incendio, con colmatación de embalses, pérdida de capacidad útil y alteración de hábitats. Es especialmente relevante para planificación por su efecto sobre regulación, laminación de avenidas y vida útil de infraestructuras.

ECS9. Daños sistémicos (sociales, económicos, ambientales) por sequía prolongada. Efectos agregados de sequías persistentes: restricciones multisectoriales, degradación ecológica, tensiones socioeconómicas y deterioro de servicios. Se trata de un impacto "transversal" que captura la naturaleza compuesta del riesgo de sequía y sus cascadas.

ECS10. Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales. Daños a población, activos e infraestructuras por crecidas y lluvias intensas, incluyendo impactos simultáneos en movilidad, servicios, actividad económica y medio ambiente. Relevante por su componente de riesgo de desastre y por las implicaciones de ordenación y medidas estructurales/no estructurales.

ECS11. Daños sistémicos por inundaciones costeras y temporales marítimos. Daños por combinación de nivel del mar, oleaje y tormentas, afectando a llanuras litorales, deltas, infraestructuras y actividades económicas. Conecta con riesgos costeros y puede afectar a desembocaduras, estuarios y sistemas de drenaje.

ECS12. Elevación del nivel freático y drenaje deficiente en llanuras litorales. Aumento de niveles freáticos y dificultades de drenaje en zonas bajas, con encharcamientos, salinización secundaria y afecciones a infraestructuras y usos. Es relevante para planificación por su relación con redes de drenaje, bombeos y gestión integrada litoral–acuífero–río.

ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima. Mayor recurrencia/severidad de incendios con efectos hidrológicos: pérdida de cubierta, aumento de escorrentía y erosión, deterioro de calidad y aportes sólidos a cauces y embalses. Es un amplificador clave de procesos de sedimentación y de degradación ecosistémica.

AU. Impactos en abastecimiento y saneamiento urbano

Justificación y alcance

La **categoría AU** recoge impactos sobre el ciclo urbano del agua (captación, potabilización, almacenamiento, distribución, saneamiento, depuración y drenaje urbano), con afección directa a la salud pública y a la continuidad de un servicio esencial. En planificación hidrológica, AU es clave por su prioridad de uso, por su dependencia de recursos de calidad suficiente y por su exposición a sequías, inundaciones y fallos de infraestructura.

De los impactos urbanos recogidos en la Guía UPV 2025 (sección 4.7, Tabla 3) se seleccionan aquellos directamente vinculados a la garantía y calidad del suministro y a la resiliencia de infraestructuras del ciclo urbano del agua: garantía de suministro (AU1), demanda (AU2), calidad del agua bruta (AU3) y afectación del saneamiento/drenaje

e infraestructuras en episodios de lluvia intensa e inundación (AU4-AU5). Los impactos de la Guía relativos a aliviaderos, colapso de colectores e inundaciones se integran en AU4 y AU5 para mantener una tipología homogénea y comparable. Se incorpora AU6 para recoger el efecto sobre salud pública, coherente con el énfasis de Guía t ERICC en la seguridad de las personas.

Impactos considerados

AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento. Mayor probabilidad de restricciones por menor disponibilidad, sequías más frecuentes o competencia por el recurso, afectando continuidad y niveles de servicio. Incluye vulnerabilidades en sistemas dependientes de una sola fuente o con limitada capacidad de regulación/interconexión.

AU2. Incremento de la demanda de agua potable. Aumento de consumos por olas de calor, cambios estacionales, turismo y adaptación doméstica (refrigeración, higiene), con picos que pueden tensionar captaciones, depósitos y redes. Puede amplificar déficits en periodos secos y exigir ajustes operativos y de gestión de la demanda.

AU3. Deterioro de la calidad del agua bruta para potabilización. Empeoramiento de turbidez, materia orgánica, nutrientes, salinidad u otros parámetros en fuentes, elevando complejidad y coste de tratamiento. Puede ocasionar episodios de no aptitud temporal, necesidad de fuentes alternativas o mezclas, y mayores exigencias de control.

AU4. Estrés en las redes de saneamiento y drenaje urbano. Sobrecarga de redes y aliviaderos por lluvias intensas, incremento de caudales punta y entrada de aguas parásitas, con riesgo de vertidos y contaminación. Afecta a cumplimiento normativo, a calidad de aguas receptoras y a salud pública.

AU5. Daños en los servicios del ciclo urbano del agua por inundaciones. Afecciones a ETAP/EDAR, bombeos, colectores y activos críticos por inundación fluvial o pluvial, con interrupciones de servicio y vertidos accidentales. Puede requerir medidas de protección de infraestructuras, redundancias y planes de emergencia.

AU6. Problemas de salud pública asociados al agua. Riesgos sanitarios por cortes de suministro, baja presión, intrusión de contaminantes, desbordamientos y proliferación microbiana en condiciones cálidas. Incluye brotes de enfermedades de origen hídrico y exposición a patógenos, especialmente en eventos extremos.

6. AG. Impactos en el sector agrario

Justificación y alcance

La **familia AG** reúne impactos del cambio climático sobre agricultura y ganadería en lo que respecta a su relación con el agua: (i) disponibilidad y garantía de suministro del regadío; (ii) demanda de riego y cambios en necesidades; y (iii) efectos productivos y territoriales (secano, idoneidad de cultivos, plagas, daños por extremos, degradación del suelo). Es una categoría central para planificación hidrológica por el peso del regadío en la demanda y por su exposición simultánea a sequías y extremos.

En correspondencia con los impactos agrarios de la Guía UPV 2025 el conjunto AG cubre el estrés hídrico en secano (AG1), el incremento de la demanda de riego (AG3), la pérdida de garantía de suministro al regadío (AG2) y los cambios en la idoneidad y calendarios de cultivo (AG4). Se completa con presiones bióticas y productivas (AG5-AG7), daños por eventos extremos (AG8) y degradación del suelo (AG9), como vías relevantes de vulnerabilidad y de presión sobre los recursos hídricos que afectan en diversos grado a la planificación hidrológica y sectorial.

Impactos considerados

AG1. Mayor estrés hídrico en cultivos de secano. Reducción de rendimientos por sequías más frecuentes/intensas y aumento de evapotranspiración, con riesgo de abandono, cambios de uso y pérdida de viabilidad en zonas marginales. Aunque no consume agua regulada, su adaptación incide en el territorio y el ciclo hidrológico (cobertura, erosión, recarga).

AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío. Mayor frecuencia de restricciones y menores dotaciones por menor disponibilidad, priorización de usos y sequías prolongadas, afectando estabilidad económica y planificación de campañas. Puede aumentar la demanda de fuentes alternativas y tensiones en acuíferos.

AG3. Incremento de la demanda de riego. Aumento de necesidades netas por temperaturas más altas y cambios fenológicos, elevando consumos potenciales y competencia por el agua. Puede traducirse en presión adicional sobre regulación, asignaciones y caudales ambientales, incluso con mejoras de eficiencia.

AG4. Cambios en la idoneidad de cultivos y en los calendarios agrícolas. Desplazamientos de áreas aptas, cambios en fechas de siembra/cosecha y en ciclos de cultivo, con implicaciones para demanda estacional de riego y planificación de recursos. Puede inducir transiciones a cultivos distintos (incluidos más demandantes) o relocalizaciones.

AG5. Proliferación de plagas, malas hierbas y enfermedades. Mayor presión de plagas y patógenos favorecida por temperaturas altas y cambios de humedad, con potencial aumento de tratamientos y costes. Puede incrementar riesgos indirectos sobre calidad del agua por mayor uso de fitosanitarios y escorrentía asociada a episodios extremos.

AG6. Impactos en la producción ganadera intensiva. Afección por estrés térmico, aumento de consumos y costes de refrigeración, y vulnerabilidad de suministro de agua para animales y limpieza. Además, la menor disponibilidad y el encarecimiento de piensos (por impactos agrícolas) pueden amplificar riesgos económicos.

AG7. Impactos en la producción ganadera extensiva. Reducción de pastos y disponibilidad de agua en fuentes naturales por aridez y estiajes, con menor capacidad de carga y riesgo de abandono. Puede acelerar procesos de degradación en sistemas agrosilvopastoriles y aumentar exposición a incendios.

AG8. Daños agrícolas por eventos hidrometeorológicos extremos distintos de la sequía. Pérdidas por inundaciones, tormentas intensas, granizo u olas de calor que afectan directamente a cosechas e infraestructuras agrarias. Puede generar impactos económicos abruptos y contribuir a erosión y arrastre de contaminantes hacia cursos de agua.

AG9. Pérdida de fertilidad o erosión de suelos. Intensificación de erosión por pérdida de cubierta, lluvias intensas y manejo inadecuado en condiciones más áridas. Es un impacto estructural por su posible irreversibilidad, por su vínculo con desertificación y por su contribución a sedimentación y deterioro de calidad aguas abajo.

EI. Impactos en los sectores energético e industrial

Justificación y alcance

La **categoría EI** agrupa impactos del cambio climático en usos energéticos e industriales dependientes del agua, incluyendo generación hidroeléctrica, refrigeración en centrales e industria, continuidad de infraestructuras y disponibilidad de agua para procesos. En planificación hidrológica, esta familia es relevante por la competencia intersectorial por recursos en sequía, por el papel de embalses y caudales en la operación energética y por la exposición de activos críticos a extremos.

En línea con la Guía UPV 2025, se incorporan los impactos energéticos directamente relacionados con hidrología y temperatura del agua (EI1-EI2). Se completan con impactos sobre infraestructuras y procesos industriales (EI3-EI4) por su dependencia del agua y su papel en riesgos en cascada. EI5 recoge posibles tensiones asociadas a bioenergía y nuevos sistemas energéticos cuando impliquen presión adicional o cambios en la demanda/gestión del agua. Así se mantiene coherencia con la tipología de referencia y se capturan tensiones hidrológicas relevantes para el plan.

Impactos considerados

EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica. Reducción del caudal turbinable por menores aportaciones y mayor frecuencia de sequías, afectando generación media y capacidad de regulación. Puede alterar operación de embalses y competencia por volúmenes, con efectos económicos y de seguridad energética.

EI2. Limitaciones en la refrigeración de centrales térmicas e industriales. Restricciones por menor disponibilidad de agua, mayores temperaturas y límites ambientales, reduciendo rendimiento o forzando paradas. Afecta tanto a centrales térmicas como a instalaciones industriales con altas necesidades de refrigeración/proceso.

EI3. Daños en infraestructuras energéticas por eventos extremos. Daños directos por inundaciones, tormentas o incendios sobre redes, subestaciones, instalaciones y accesos, con interrupciones de servicio. Incluye riesgos compuestos cuando coinciden extremos (p. ej., inundación + fallo de suministro).

EI4. Afectación de la producción industrial por escasez de agua. Reducción o parada de procesos por falta de agua suficiente en cantidad/calidad, especialmente en industrias intensivas en agua o localizadas en cuencas tensionadas. Puede generar pérdidas económicas y efectos en cadena en cadenas de suministro regionales.

EI5. Impacto en la bioenergía y nuevos sistemas energéticos. Cambios en disponibilidad de biomasa y agua requerida para producción/transformación (bioenergía), y posibles nuevas demandas asociadas a sistemas emergentes (p. ej., hidrógeno, refrigeración adicional). Puede reconfigurar competencia por el agua y requerir planificación preventiva de compatibilidad sectorial.

RE. Impactos en los usos recreativos y turismo vinculados al agua

Justificación y alcance

La **categoría RE** incorpora impactos sobre usos recreativos (baño, deportes acuáticos, navegación interior) y turismo dependiente de ríos, embalses, humedales, cascadas y paisajes vinculados al agua. En planificación hidrológica, estos usos suelen ser de menor prioridad legal, pero pueden tener alto valor socioeconómico local y ser sensibles a la calidad del agua, a niveles/caudales y a extremos (olas de calor, temporales, inundaciones).

Partiendo del impacto identificado en la Guía UPV 2025 y del carácter transversal de los usos recreativos y el turismo vinculados al agua, se priorizan cuatro vías: calidad sanitaria de aguas de baño y recreo (RE1), disponibilidad de caudales y niveles (RE2), pérdida de atractivos naturales dependientes del agua (RE3) y alteraciones de la temporada turística por clima extremo (RE4). Otros efectos más específicos pueden c onsiderarse integrados en estas rutas de impacto, manteniendo un catálogo sintético y comparable.

Impactos considerados

RE1. Deterioro de la calidad de aguas de baño y recreo. Mayor probabilidad de episodios de mala calidad por eutrofización, patógenos, contaminación por aliviaderos o arrastres, con cierres temporales y pérdida de atractivo. Incluye impactos reputacionales y económicos en destinos dependientes del baño interior o litoral asociado a desembocaduras.

RE2. Reducción de caudales y niveles en ríos y embalses. Menores niveles que limitan navegación, deportes acuáticos, pesca recreativa y disfrute paisajístico, además de reducir la calidad estética/ecológica. Puede afectar a concesiones recreativas y economías locales ligadas a embalses y tramos regulados.

RE3. Pérdida de atractivos naturales vinculados al agua (cascadas, lagunas…). Desecación estacional o pérdida de permanencia de lagunas, humedales y cascadas, con impacto directo en turismo de naturaleza. También puede reducir biodiversidad observable y servicios ecosistémicos culturales.

RE4. Alteraciones en la temporada turística por clima extremo. Cambios en estacionalidad, olas de calor, incendios, inundaciones o temporales que modifican patrones de demanda y seguridad, con cancelaciones o desplazamiento de actividades. Puede requerir adaptación de infraestructuras, gestión de riesgos y diversificación de oferta.

AC. Impactos en la acuicultura y la pesca continental

Justificación y alcance

Finalmente, la **categoría AC** aborda impactos sobre acuicultura de agua dulce y pesca continental (incluida la pesca recreativa cuando depende del recurso biológico), altamente sensibles a temperatura del agua, oxigenación, calidad, caudales/niveles y extremos. Aunque varios determinantes se solapan con SW/ECS (temperatura, hábitat, calidad), se mantiene una familia específica para captar la afección sectorial directa sobre producción, sanidad, disponibilidad de organismos y viabilidad económica de explotaciones y actividades.

En correspondencia con el impacto AC1 de la Guía UPV 2025, se desagrega en cuatro impactos para reflejar las principales rutas de afección en sistemas continentales y estuarinos: condiciones ambientales (temperatura, oxígeno y caudal) sobre el rendimiento (AC1), enfermedades y parásitos (AC2), cambios en poblaciones de peces continentales (AC3) e intrusión salina y cambios en estuarios que afectan cultivos marinos y pesca (AC4). La desagregación facilita la identificación de medidas específicas sin perder consistencia con la tipología de referencia.

Impactos considerados

AC1. Descenso del rendimiento de la acuicultura por condiciones adversas. Aumento de temperatura del agua, menor oxígeno disuelto y episodios de calidad deficiente pueden reducir crecimiento, aumentar mortalidad y elevar costes (energía, aireación, recambios) en piscifactorías y cultivos de agua dulce. Puede implicar cambios de especie, relocalización o reducción de producción.

AC2. Nuevas enfermedades y parásitos en sistemas de cría. El calentamiento y el estrés por baja calidad/caudal favorecen proliferación de patógenos, episodios de enfermedad y necesidad de tratamientos. Esto afecta productividad, bioseguridad y puede generar impactos indirectos sobre el medio receptor si se intensifican manejos o se producen escapes.

AC3. Cambios en las poblaciones de peces continentales. Alteraciones térmicas e hidrológicas pueden desplazar especies, afectar reproducción y supervivencia, y favorecer sustituciones por especies más tolerantes o invasoras. Se traduce en cambios en capturas, pérdida de especies frías o endémicas en ciertos tramos y efectos en pesca continental (recreativa o profesional donde exista).

AC4. Intrusión salina y cambios en estuarios que afectan cultivos marinos. Estiajes, intermitencia, eventos extremos y restricciones de caudal pueden reducir hábitats funcionales (freza, refugio, alimentación) y dificultar migraciones, con descenso de productividad y resiliencia. Afecta especialmente a sistemas regulados o con múltiples presiones, donde el margen adaptativo puede ser limitado.

Anejo 4. Caracterización de impactos (fichas)

Criterios de cumplimentación de las fichas de impactos y riesgos

Este anejo recoge, para cada impacto/riesgo de la lista establecida en el EACC, una ficha sintética orientada a: (i) describir el mecanismo de impacto y sus manifestaciones más probables en la demarcación, (ii) identificar receptores y sectores afectados, (iii) vincular el impacto con las amenazas climáticas definidas en la Memoria (sección 4.5), y (iv) facilitar la trazabilidad con el marco conceptual del IPCC AR5–AR6 y con marcos de referencia estatales y europeos (ERICC, PNACC, EUCRA). Para cada campo de la ficha, se detallan los criterios considerados.

Riesgo (denominación)

Siguiendo las premisas trasladadas por la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), se ha buscado estandarizar la denominación del riesgo, incorporando de forma explícita: las consecuencia(s) negativa(s) principal(es); el receptor o receptores del riesgo (qué se ve afectado); los impulsore) o "drivers" climáticos. Como patrón de redacción, se ha utilizado la estructura habitual: "Riesgo de [consecuencias negativas] en [receptor] por [impulsor de impacto climático]", admitiendo flexibilidad cuando el impacto deriva de múltiples impulsores (riesgos compuestos). Esta lógica es coherente con la práctica de la ERICC y con la evolución del marco de riesgo del IPCC hacia la consideración de riesgos compuestos/en cascada.

En el caso de los impactos referidos a las masas de agua superficiales /SW, ECS), se especifican las tipologías de masas de agua receptoras cuando aporta claridad, diferenciando sistemas lóticos (ríos/arroyos) y lénticos (lagos/embalses/humedales/lagunas). Esta distinción se incorpora porque determinados impactos pueden manifestarse de forma diferente —o afectar simultáneamente— a ambos tipos de sistemas (p. ej., transición hacia intermitencia/temporalidad, sobrecalentamiento y procesos de eutrofización).

Descripción del impacto

La descripción del impacto se ha redactado de forma homogénea, siguiendo en todas las fichas una misma lógica narrativa. En primer lugar, se explica la cadena causal que conecta la amenaza climática con la respuesta del sistema y con el efecto final sobre el receptor. A continuación, se describen las manifestaciones más habituales del impacto, es decir, cómo se expresa en la práctica y qué señales serían esperables. Seguidamente, se incorporan los principales condicionantes que modulan la intensidad del impacto en la demarcación, atendiendo a elementos de exposición y vulnerabilidad cuando resultan relevantes. Por último, se resumen las implicaciones para la planificación y la gestión, indicando por qué el impacto es material desde el punto de vista de los usos del agua y del cumplimiento de objetivos ambientales.

Componentes ambientales y sectores afectados

Este campo se ha entendido como una identificación sintética de receptores, añadiendo una indicación somera del tipo de afección. Para homogeneidad, se han utilizado familias de receptores recurrentes: (i) **masas de agua y estado ecológico/químico**: alteración hidrológica, deterioro fisicoquímico, pérdida de funcionalidad de hábitats, cambios en biota y redes tróficas; (ii) **ecosistemas dependientes del agua y servicios ecosistémicos**: contracción/degradación, pérdida de regulación, depuración natural,

soporte de biodiversidad; (iii) **usos del agua y servicios**: abastecimiento (tratabilidad/garantía), regadío, industria, recreo, acuicultura (según el impacto), (iv) **infraestructuras y operación del sistema**: estrés operacional, incremento de costes, necesidad de medidas de emergencia/gestión adaptativa.

Amenazas climáticas asociadas

Las amenazas se han asignado conforme a la nomenclatura normalizada de la Memoria (sección 4.5), utilizando códigos consistentes en todo el anejo. En la práctica, se ha buscado que cada impacto tenga: (i) al menos **una amenaza "primaria"** (señal atmosférica/oceánica dominante: temperatura, precipitación, nivel del mar/temporales); (ii) **amenazas "derivadas"** cuando la traducción hidrológica sea parte esencial del mecanismo (p. ej., menos recurso, descenso piezométrico, mayor irregularidad); (iii) **amenazas compuestas** cuando la coocurrencia o persistencia explique el impacto (p. ej., sequías prolongadas que refuerzan estiaje + calentamiento). Como guía de lectura, según se emplea en las fichas:

- **T1** / **T2**: temperatura del aire y/o aumento de demanda evaporativa (ETP).
- **P1–P4**: cambios en precipitación media/estacionalidad, sequías y precipitación extrema.
- **H1–H3** / **N1**: respuestas hidrológicas (recurso, régimen) y componente nival.
- **M1** / **M2**: nivel medio del mar y temporales marítimos.

Impactos asociados

Este campo recoge interdependencias operativas entre impactos (para evitar redundancias y reflejar, en primera aproximación, riesgos compuestos/en cascada), con una etiqueta breve del tipo de relación, alineada con el enfoque de "cadenas de impacto" y con la ampliación del marco AR6 hacia riesgos compuestos, en cascada y sistémicos.

Se han considerado, de forma consistente, los siguientes tipos de asociación:

- **Causa / impulsor**: el impacto analizado actúa como factor que detona o agrava el impacto asociado.
- **Consecuencia**: el impacto analizado tiende a materializarse como resultado del impacto asociado.
- **Riesgo compuesto / concurrencia**: comparten driver(s) y se refuerzan mutuamente (co-ocurrencia).
- **Cascada**: propagación transversal (ambiental → usos → economía/servicios; o evento extremo → contaminación → salud/abastecimiento).
- **Retroalimentación**: bucles en los que el deterioro inducido incrementa la probabilidad/severidad del impacto original (p. ej., degradación de estado que reduce resiliencia ante sequías/olas de calor).

Elementos de calidad afectados (DMA)

Se ha utilizado la codificación de "*Quality elements*" de la guía de reporte WFD/WISE, en particular la lista de elementos (Annex 8h), para asegurar trazabilidad y consistencia. Se listan los elementos de calidad directamente sensibles al mecanismo del impacto (biológicos, hidromorfológicos o fisicoquímicos). Se presenta primero la traducción española y, entre paréntesis, el término original en inglés.

En impactos de aguas subterráneas, cuando procede, se listan elementos de calidad de aguas superficiales asociadas (conectividad río–acuífero, manantiales, etc.) y se incluye una nota aclaratoria, dado que el reporte específico de estado químico/cuantitativo de subterráneas se estructura en esquemas propios.

Tipo de impacto (DMA)

Se ha aplicado la tipología de "impact types" del mismo marco de reporte WFD/WISE (Annex 1 / Annex 1B), manteniendo coherencia con las fichas y con la lógica de planificación hidrológica. Se asignan uno o varios "tipos de impacto" cuando el mecanismo lo exige (p. ej., impactos integradores o con transmisión entre compartimentos).

Se ha prestado especial atención a que la clasificación del "tipo de impacto" refleje correctamente los mecanismos más relevantes para la planificación hidrológica. En particular, cuando el impacto se relaciona con cambios en el régimen de caudales o en la disponibilidad de agua, se ha priorizado la tipología asociada a la alteración del hábitat por cambios hidrológicos. Del mismo modo, cuando el impacto se explica principalmente por una presión de extracción que reduce de forma sostenida los niveles de agua subterránea, se ha utilizado la tipología correspondiente a extracciones que superan el recurso disponible. Esta diferenciación es importante porque condiciona directamente la garantía de los usos, la capacidad de mantener los caudales ecológicos y, en último término, el cumplimiento de los objetivos ambientales.

El tipo "Otros impactos significativos (OTHE – Other significant impact type)" se utiliza cuando el impacto es claramente relevante para la planificación, pero no encaja de forma inequívoca en una tipología específica o su mecanismo es mixto e integrador. Se aplica especialmente en impactos sistémicos que agregan varios procesos, en impactos cuyo efecto principal es operativo o sobre un servicio o uso del agua, y en casos en los que concurren varios mecanismos comparables sin que uno domine con claridad. Debe interpretarse, por tanto, no como una menor importancia, sino como una forma de reflejar impactos significativos de carácter transversal, manteniendo la trazabilidad del mecanismo mediante las amenazas de la sección 4.5, la descripción causal y, cuando procede, los elementos de calidad afectados y las relaciones con otros impactos.

SW. Impactos en aguas superficiales

SW1. Aumento de la intermitencia de ríos y arroyos

Riesgo	Riesgo de pérdida de conectividad hidráulica e incremento de la intermitencia en masas de agua lóticas (ríos y arroyos, especialmente tramos pequeños / mediterráneos) por alteraciones del régimen hidrológico estacional y reducción de recursos superficiales.
Descripción del impacto	La mayor irregularidad del régimen y el refuerzo de estiajes prolongados favorecen el paso de cursos permanentes a intermitentes o efímeros, con fragmentación de hábitat (pozas aisladas), pérdida de refugios y deterioro de procesos ecológicos (deriva, reproducción, alimentación). Se reduce la conectividad longitudinal y lateral, aumentando mortalidad de biota y simplificación del hábitat. En sistemas ligados, puede disminuir la aportación a humedales y zonas encharcables, aumentando su temporalidad. El resultado es un deterioro funcional que predispone a incumplimientos de objetivos ambientales y a tensiones de asignación en estiaje.
Componentes ambientales y sectores afectados	Ríos / arroyos (lóticos): pérdida de continuidad, contracción del hábitat, interrupción de procesos ecológicos. Humedales conectados / riberas: menor aporte y mayor estacionalidad (afección indirecta). Abastecimientos rurales / captaciones someras: menor disponibilidad y mayor variabilidad intraanual.
Amenazas climáticas asociadas	H1 - Reducción del volumen de recursos hídricos superficiales (derivada de P1 / P2 y T2). H3 - Alteraciones del régimen hidrológico estacional (derivada de P2, N1 y P4). P3 - Aumento frecuencia / intensidad de sequías meteorológicas (compuesta por P1 / P2 + T2).
Impactos asociados	SW7 - *Consecuencia / integración:* agrega el deterioro ecológico derivado de la intermitencia. RE2 - *Causa / impulsor:* menor caudal / nivel en ríos y embalses por estiajes más severos. AU1 / AG2 / EI1 - *Cascada socioeconómica:* menos recurso disponible y mayor conflictividad en estiaje. ECS9 - *Riesgo compuesto:* contribuye a daños sistémicos por sequía prolongada.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
	QE2-2 - Continuidad del río (River continuity conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Alteración de hábitats debida a cambios hidrológicos (HHYC - Altered habitats due to hydrological changes)

SW2. Aumento de la concentración de contaminantes por menor dilución

Riesgo	Riesgo de incremento de concentraciones (nutrientes, contaminantes específicos y otros) en masas de agua superficiales (lóticas y lénticas) y aguas asociadas por reducción de caudales de dilución y estiajes más largos, con afección a usos y a los objetivos ambientales.
Descripción del impacto	Con caudales bajos y tiempos de residencia mayores, las cargas relativamente constantes (puntuales o difusas) se traducen en mayores concentraciones y, a menudo, en episodios críticos durante estiaje. Ello eleva el riesgo de incumplimiento de umbrales ambientales y sanitarios (p. ej., nutrientes, contaminantes específicos), y puede intensificar toxicidad y estrés biológico. En embalses y tramos lentificados se refuerzan procesos de acumulación y reacciones (consumo de oxígeno, formación de subproductos), complicando el tratamiento. El deterioro puede propagarse a aguas subterráneas conectadas y a captaciones de abastecimiento.
Componentes ambientales y sectores afectados	Masas superficiales: deterioro químico, mayor exposición biológica a tóxicos / nutrientes. Abastecimiento (agua bruta): aumento de costes / limitaciones de potabilización y necesidad de mezclas. Riego e industria: restricciones por calidad (salinidad / contaminantes) y riesgos en procesos.
Amenazas climáticas asociadas	H1 - Reducción de recursos superficiales (menos dilución). H3 - Alteración del régimen estacional (concentración de impactos en estiaje). P3 - Sequías meteorológicas más frecuentes / intensas (prolongan condiciones de baja dilución). P4 - Precipitaciones extremas: arrastres puntuales que pueden empeorar la calidad tras eventos (vinculación con SW6 / SW4).
Impactos asociados	SW7 - *Consecuencia / integración:* contribuye al deterioro del estado de masas superficiales. AU3 - *Causa / impulsor:* empeora la calidad del agua bruta para potabilización. RE1 - *Causa / impulsor:* reduce aptitud recreativa por episodios de mala calidad. GW2 - *Concurrencia / conectividad:* posible transferencia o agravamiento en sistemas conectados.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants) QE3-1-6-1 - Condiciones relativas a nitrógeno (Nitrogen conditions) QE3-1-6-2 - Condiciones relativas a fósforo (Phosphorus conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Contaminación química (CHEM - Chemical pollution) Disminución de la calidad de las aguas continentales asociadas a las subterráneas por cambios químicos o cuantitativos en estas últimas (QUAL - Diminution of quality of associated surface waters for chemical / quantitative reasons) *(QUAL aplica cuando la degradación se transmite por conexión con aguas subterráneas y / o por menor aportación de baseflow.)*

SW3. Alteraciones de parámetros fisicoquímicos (pH, salinidad)

Riesgo	Riesgo de alteración de salinidad y pH en masas de agua lénticas (lagunas / humedales / embalses someros) y tramos lóticos lentificados, por mayor evaporación, cambios en aportes y mezcla, y eventos de intrusión / retorno salino, con efectos ecológicos y de uso.
Descripción del impacto	El refuerzo de estiajes y el calentamiento incrementan la concentración por evaporación y reducen el intercambio / renovación, favoreciendo salinización en cuerpos someros y humedales con balance frágil, y alteraciones de pH por cambios en alcalinidad y procesos biogeoquímicos. En ámbitos litorales, la elevación del nivel del mar y temporales pueden inducir entradas salinas en zonas de transición y afectar masas superficiales conectadas. Estos cambios desplazan condiciones fuera del rango tolerable para especies sensibles (anfibios, invertebrados, peces), alteran comunidades y pueden comprometer usos (abastecimiento, riego, industria) por corrosión, incrustaciones o necesidad de tratamiento.
Componentes ambientales y sectores afectados	Lénticos someros / humedales: salinización / variaciones de pH; pérdida de especies sensibles. Transición litoral-estuarina: entradas salinas episódicas o persistentes. Abastecimiento / riego / industria: tratamientos (neutralización / desalación), impactos en suelos / cultivos y procesos.
Amenazas climáticas asociadas	T1 - Incremento de la temperatura del aire (transmisión al agua; refuerzo evaporativo y estiajes). T2 - Incremento de la evapotranspiración potencial (concentración por balance evaporativo). H3 - Alteraciones del régimen estacional (más estiaje; menor renovación). M1 / M2 - Aumento del nivel medio del mar y temporales costeros (intrusión / entradas salinas en transición).
Impactos asociados	SW7 - *Consecuencia / integración:* contribuye a deterioro del estado. GW1 / GW2 - *Conectividad / Concurrencia:* vínculos con intrusión salina y calidad química subterránea. AC2 - *Causa / impulsor:* cambios en estuarios e intrusión salina que afectan cultivos marinos.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-1-4 - Condiciones de salinidad (Salinity conditions) QE3-1-5 - Estado de acidificación (Acidification status)
Tipo de impacto (DMA)	Contaminación salina / intrusión (SALI - Saline pollution / intrusion) Acidificación (ACID - Acidification)

SW4. Incremento de turbidez y sólidos en suspensión

Riesgo	Riesgo de incremento abrupto de turbidez y sólidos en suspensión en masas de agua lóticas y embalses por precipitaciones extremas, erosión y arrastres, con afección a la biota, a la potabilización y a la funcionalidad fluvial.
Descripción del impacto	Los episodios de lluvia extrema elevan la escorrentía y el arrastre de sedimentos, generando picos de turbidez que reducen la transparencia y pueden transportar contaminantes adheridos a partículas. En ríos, la colmatación de sustratos afecta a frezaderos y macroinvertebrados; en embalses, la turbidez prolongada reduce la producción primaria y complica el tratamiento. La combinación con suelos desnudos, incendios recientes o pendientes degradadas intensifica el problema. Durante eventos, puede haber fallos operativos en ETAP por sobrecarga de pretratamiento / filtración, con riesgos de interrupción o de empeoramiento del agua bruta.
Componentes ambientales y sectores afectados	Ríos y embalses: afección hidromorfológica, colmatación y estrés biológico. Abastecimiento: incremento de carga en potabilización, posibles restricciones temporales. Suelos y cuencas aportantes: erosión y pérdida de fertilidad (vínculo con AG9).
Amenazas climáticas asociadas	P4 - Aumento de intensidad / frecuencia de precipitaciones extremas (primaria). H3 - Alteraciones del régimen estacional (irregularidad y picos súbitos). M2 (cuando aplique en ámbitos costeros) - Temporales: resuspensión / arrastres en tramos bajos y estuarios.
Impactos asociados	SW6 - *Concurrencia:* turbidez suele acompañar a contaminación difusa en avenidas. ECS8 - *Causa / impulsor:* contribuye a sedimentación / colmatación (en embalses y cauces). AU3 - *Causa / impulsor:* empeora agua bruta para potabilización. AG9 - *Causa / impulsor:* erosión y pérdida de suelo como origen del aporte sólido.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-1-1 - Transparencia (Transparency conditions) QE2-3 - Condiciones morfológicas: ríos (Morphological conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type) *(el efecto principal se expresa en condiciones físicas / morfológicas y en múltiples QEs, sin encajar de forma exclusiva en un tipo químico único.)*

SW5. Eutrofización de masas de agua lénticas

Riesgo	Riesgo de eutrofización y floraciones algales nocivas en masas de agua lénticas (embalses, lagos, lagunas y humedales) por mayor tiempo de residencia, calentamiento y concentración de nutrientes, con impacto ecológico y sobre usos (especialmente abastecimiento y recreo).
Descripción del impacto	El calentamiento y los estiajes prolongados favorecen estratificación, menor mezcla, menor oxigenación del hipolimnion y mayor permanencia del agua, aumentando la probabilidad de blooms. Con nutrientes disponibles, se incrementan episodios de cianobacterias potencialmente tóxicas, con riesgo de degradación de la calidad del agua de abastecimiento (cianotoxinas) y necesidad de cierres / mezclas o tratamientos avanzados. Además, se refuerzan episodios de olor y sabor (p. ej., geosmina / MIB) en embalses y agua de consumo, con impactos operativos y de aceptación social. El déficit de oxígeno y toxinas puede causar mortalidad de peces, pérdida de biodiversidad y restricciones a baño / pesca.
Componentes ambientales y sectores afectados	Embalses / lagos / humedales: desequilibrios tróficos, anoxia, pérdida de biodiversidad. Abastecimiento: riesgo sanitario por toxinas y eventos de olor / sabor; aumento de costes. Recreo / turismo: cierres de baño, pérdida de atractivo y conflictos de uso.
Amenazas climáticas asociadas	T1 - Incremento de la temperatura del aire (calentamiento del agua, refuerzo de estratificación). T2 - Incremento de la ETP (concentración y descenso de niveles). H3 / H1 - Estacionalidad más marcada y menor recurso superficial (más residencia y menor renovación). P4 - Precipitaciones extremas: pulsos de nutrientes / sedimentos que pueden disparar blooms (asociación operativa).
Impactos asociados	SW7 - *Consecuencia / integración:* contribuye al deterioro del estado en lénticos. RE1 - *Causa / impulsor:* pérdida de calidad recreativa (baño / pesca). AC1 - *Causa / impulsor:* condiciones adversas para acuicultura (oxígeno / temperatura). ECS1 - *Riesgo compuesto:* calentamiento del agua refuerza eutrofización y viceversa.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE1-1 - Fitoplancton (Phytoplankton) QE3-1-6-1 - Condiciones relativas a nitrógeno (Nitrogen conditions) QE3-1-6-2 - Condiciones relativas a fósforo (Phosphorus conditions) QE3-1-2 - Condiciones térmicas (Thermal conditions) QE3-1-3 - Condiciones de oxigenación (Oxygenation conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Contaminación por nutrientes (NUTR - Nutrient pollution)

SW6. Contaminación difusa provocada por inundaciones

Riesgo	Riesgo de contaminación difusa y episodios agudos de mala calidad en masas de agua superficiales (y, localmente, captaciones someras) por avenidas e inundaciones que movilizan contaminantes (urbanos, agrarios e industriales) y sedimentos.
Descripción del impacto	Las inundaciones movilizan y redistribuyen mezclas de contaminantes (nutrientes, materia orgánica, hidrocarburos, metales, patógenos) desde suelos agrarios, redes unitarias, lodos, instalaciones y superficies impermeables. Se producen picos de concentración y episodios de anoxia en aguas estancadas o de lenta renovación, con mortalidad de fauna y riesgos sanitarios. En zonas con pozos o manantiales poco protegidos, puede haber contaminación puntual del recurso, obligando a restricciones, desinfección y suministro alternativo. Tras el evento, la deposición de lodos puede dejar contaminación residual en suelos e infraestructuras y prolongar efectos.
Componentes ambientales y sectores afectados	Ríos / llanuras de inundación: episodios de contaminación aguda; arrastre y deposición de lodos. Abastecimiento y ciclo urbano: afectación a captaciones e infraestructuras; medidas de emergencia. Salud pública y ecosistemas: exposición a patógenos / tóxicos; mortalidad y pérdida temporal de servicios.
Amenazas climáticas asociadas	P4 - Aumento de intensidad / frecuencia de precipitaciones extremas (primaria). H3 - Mayor irregularidad y picos súbitos (derivada). M2 - Temporales costeros (cuando afecten zonas litorales con inundación / arrastre).
Impactos asociados	SW4 - *Concurrencia:* turbidez y sólidos acompañan la contaminación difusa. AU5 - *Cascada operativa:* daños en servicios del ciclo urbano del agua por inundación. ECS10 - *Parte del riesgo sistémico:* componente ambiental / sanitario dentro de inundaciones.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants) QE3-1-6-1 - Condiciones relativas a nitrógeno (Nitrogen conditions) QE3-1-6-2 - Condiciones relativas a fósforo (Phosphorus conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Contaminación química (CHEM - Chemical pollution) Contaminación por nutrientes (NUTR - Nutrient pollution) Contaminación orgánica (ORGA - Organic pollution)

SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales (DMA)

Riesgo	Riesgo de deterioro del estado ecológico y / o químico de masas de agua superficiales (ríos, lagos / embalses y aguas de transición asociadas) por la combinación de alteraciones hidrológicas, térmicas y de calidad, intensificadas por el cambio climático.
Descripción del impacto	Este impacto integra el efecto combinado de menor recurso y mayor irregularidad (estiajes más severos, picos más abruptos), calentamiento y cambios fisicoquímicos, junto con episodios de contaminación por menor dilución o por avenidas. La suma de presiones reduce resiliencia, altera hábitats y comunidades biológicas y aumenta la probabilidad de incumplimiento de objetivos ambientales. En lénticos, se refuerzan eutrofización, anoxia y eventos de calidad (incluyendo episodios de olor / sabor y blooms nocivos); en lóticos, la intermitencia y la alteración morfológica y de continuidad incrementan la degradación. En conjunto, aumenta la necesidad de medidas adicionales y de gestión adaptativa para evitar deterioros.
Componentes ambientales y sectores afectados	Masas superficiales: deterioro ecológico / químico; pérdida de funciones y biodiversidad. Planificación hidrológica: mayor presión para lograr / no deteriorar estado; potenciales excepciones / medidas. Usos (abastecimiento, regadío, recreo): restricciones por calidad / cantidad y mayor variabilidad.
Amenazas climáticas asociadas	T1 / T2 - Calentamiento y mayor demanda evaporativa (efectos térmicos y concentración). P1 / P2 / P3 - Menos precipitación, estacionalidad alterada y sequías más frecuentes / intensas. P4 - Precipitaciones extremas (picos de turbidez / contaminación y daños hidromorfológicos). H1 / H3 - Menor recurso superficial y alteración del régimen estacional (traducción hidrológica).
Impactos asociados	SW1–SW6 - *Causas / impulsores directos:* presiones específicas que alimentan el deterioro de estado. ECS1 / ECS2 - *Causas / impulsores:* calentamiento y deterioro funcional de hábitats contribuyen al estado.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE1-1 - Fitoplancton (Phytoplankton) QE1-3 - Macroinvertebrados / invertebrados bentónicos (Benthic invertebrates) QE1-4 - Fauna ictiológica (Fish) QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime) QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants) QE3-1-2 - Condiciones térmicas (Thermal conditions) QE3-1-3 - Condiciones de oxigenación (Oxygenation conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type) *(SW7 es integrador (hidrológico, térmico, químico y biológico) y suele materializarse en combinaciones de tipos.)*

GW. Impactos en aguas subterráneas

GW1. Intrusión salina en acuíferos costeros

Riesgo	Riesgo de intrusión salina y salinización en masas de agua subterránea costeras y zonas de transición, con afección a captaciones, ecosistemas dependientes y, cuando exista conexión, a aguas superficiales asociadas, por elevación del nivel del mar / temporales y descenso piezométrico.
Descripción del impacto	La elevación del nivel medio del mar y la mayor energía de temporales incrementan la presión salina sobre acuíferos litorales y favorecen entradas salinas en sectores vulnerables. Este efecto se intensifica cuando concurren descensos piezométricos por menor recarga y / o mayores demandas, aumentando el gradiente hacia el interior. La intrusión eleva cloruros y conductividad, compromete el uso para abastecimiento y riego, y puede degradar humedales litorales o surgencias costeras. Además, puede generar procesos de difícil reversibilidad (almacenamiento de sales, mezcla), requiriendo gestión preventiva y control de bombeos y captaciones.
Componentes ambientales y sectores afectados	Acuíferos costeros / captaciones: salinización del recurso; pérdida de aptitud para consumo / riego. Humedales / estuarios conectados: cambios de salinidad y composición ecológica. Agricultura litoral: salinización de suelos / cultivos por riego con agua salobre (impacto indirecto).
Amenazas climáticas asociadas	M1 - Aumento del nivel medio del mar (primaria). M2 - Aumento de temporales costeros (primaria). H2 - Descenso de niveles freáticos y agotamiento de manantiales (derivada de P1 / P2 y T2; condiciona la intrusión). P3 - Sequías meteorológicas más frecuentes / intensas (refuerzo de déficits y bombeos).
Impactos asociados	ECS11 - *Riesgo compuesto:* inundación / temporal costero puede coexistir con intrusión y salinización. ECS12 - *Concurrencia:* ascenso freático / drenaje deficiente en llanuras litorales y salinidad. AC2 - *Causa / impulsor:* intrusión y cambios estuarinos afectan cultivos marinos.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-1-4 - Condiciones de salinidad (Salinity conditions) Nota: para aguas subterráneas, la evaluación de estado químico / cuantitativo se reporta en esquemas específicos; aquí se listan QEs vinculados cuando hay afección a aguas superficiales asociadas.
Tipo de impacto (DMA)	Alteración de la dirección de flujo subterráneo con resultado de intrusión salina (INTR - Alterations in flow directions resulting in saltwater intrusion) Contaminación salina / intrusión (SALI - Saline pollution / intrusion)

GW2. Merma de calidad química de las aguas subterráneas

Riesgo	Riesgo de deterioro de la calidad química en masas de agua subterránea (p. ej., aumento de nitratos / contaminantes específicos y otros) por menor recarga y menor atenuación / dilución, y por redistribución de cargas en eventos extremos, con repercusión sobre usos y ecosistemas conectados.
Descripción del impacto	La reducción de recarga y el descenso piezométrico disminuyen la capacidad de dilución y pueden concentrar contaminantes, especialmente donde existan presiones agrarias (nitratos) o plumas urbanas / industriales preexistentes. El mayor tiempo de residencia y cambios redox pueden modificar movilidad de ciertos compuestos. En episodios intensos, la infiltración rápida puede arrastrar contaminantes hacia zonas no impactadas, complicando la protección de captaciones. El deterioro químico limita el uso para abastecimiento (mezclas, tratamientos) y puede afectar humedales o ríos conectados por intercambio subterráneo-superficial.
Componentes ambientales y sectores afectados	Acuíferos en agricultura intensiva: riesgo de concentración de nitratos / fitosanitarios. Abastecimiento con pozos: necesidad de mezcla / tratamiento; restricciones por normativa. Ecosistemas dependientes: degradación por aportes subterráneos de peor calidad.
Amenazas climáticas asociadas	P1 / P2 - Menor precipitación y cambio estacional (reducción de recarga efectiva). T2 - Mayor ETP (reduce recarga; refuerza déficits). H2 - Descenso de niveles freáticos y agotamiento de manantiales (traducción hidrogeológica). P4 - Precipitaciones extremas (infiltración rápida y movilización puntual).
Impactos asociados	SW2 - *Conectividad:* deterioro químico puede transmitirse a aguas superficiales asociadas y viceversa. AU3 / RE1 - *Cascada por calidad:* empeora agua bruta y aptitud recreativa si hay conexión.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants) QE3-1-6-1 - Condiciones relativas a nitrógeno (Nitrogen conditions) QE3-1-6-2 - Condiciones relativas a fósforo (Phosphorus conditions) Nota: para aguas subterráneas, la evaluación de estado químico / cuantitativo se reporta en esquemas específicos; aquí se listan QEs vinculados cuando hay afección a aguas superficiales asociadas.
Tipo de impacto (DMA)	Contaminación química (CHEM - Chemical pollution) Contaminación por nutrientes (NUTR - Nutrient pollution)

GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA)

Riesgo	Riesgo de deterioro del estado cuantitativo y / o químico de masas de agua subterránea, por reducción de recarga, descensos piezométricos y empeoramiento de la calidad, con impactos sobre usos, manantiales y sistemas conectados.
Descripción del impacto	El cambio climático puede reducir la recarga efectiva y aumentar la duración / intensidad de periodos secos, favoreciendo descensos de niveles freáticos y agotamiento de manantiales. Esto limita la disponibilidad sostenible y puede intensificar impactos por sobreexplotación previa, elevando la probabilidad de incumplir el buen estado cuantitativo. En paralelo, la menor dilución y cambios geoquímicos pueden degradar el estado químico (nitratos / contaminantes específicos y, en costa, salinidad). El deterioro se traduce en restricciones de uso, necesidad de medidas de recuperación y riesgos en ecosistemas dependientes o en ríos conectados (reducción de baseflow).
Componentes ambientales y sectores afectados	Acuíferos y manantiales: descensos piezométricos, pérdida de surgencias y servicios asociados. Abastecimiento / regadío / industria dependientes de pozos: restricciones y costes de adaptación. Ecosistemas dependientes y ríos conectados: menor baseflow; deterioro de hábitats.
Amenazas climáticas asociadas	P1 / P2 / P3 - Menor precipitación, estacionalidad alterada y sequías más frecuentes / intensas. T2 - Mayor ETP (menor recarga). H2 - Descenso de niveles freáticos y agotamiento de manantiales (derivada).
Impactos asociados	AU1 / AG2 / EI4 - *Cascada socioeconómica:* menor garantía / producción por restricción de recurso subterráneo. ECS9 - *Riesgo compuesto:* contribuye a daños sistémicos por sequía prolongada.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime) QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants) QE3-1-4 - Condiciones de salinidad (Salinity conditions) Nota: para aguas subterráneas, la evaluación de estado químico / cuantitativo se reporta en esquemas específicos; aquí se listan QEs vinculados cuando hay afección a aguas superficiales asociadas.
Tipo de impacto (DMA)	Extracciones que exceden el recurso disponible de agua subterránea (disminución del nivel de agua) (LOWT - Abstraction exceeds available groundwater resource (lowering water table)) Contaminación química (CHEM - Chemical pollution) Disminución de la calidad de las aguas continentales asociadas a las subterráneas por cambios químicos o cuantitativos en estas últimas (QUAL - Diminution of quality of associated surface waters for chemical / quantitative reasons)

ECS. Impactos territoriales y ecosistémicos

ECS1. Elevación de la temperatura del agua en ríos, lagos y embalses

Riesgo	Riesgo de sobrecalentamiento en masas de agua lóticas y lénticas por incremento de temperatura del aire y refuerzo de estiajes, con efectos sobre oxigenación, biota y usos (incluido abastecimiento).
Descripción del impacto	El aumento térmico eleva el metabolismo biológico y reduce el oxígeno disuelto, favoreciendo estrés fisiológico, mortalidad y sustitución de especies sensibles por otras más tolerantes. En lénticos, el calentamiento refuerza estratificación y puede potenciar blooms, incluyendo floraciones de algas / cianobacterias con toxinas, y episodios de olor y sabor en agua bruta / consumo. En lóticos, con menor caudal, el calentamiento es más acusado y se intensifican barreras térmicas para migración y reproducción. Además, se alteran patrones de distribución y fenología, afectando comunidades y servicios ecosistémicos.
Componentes ambientales y sectores afectados	Biota acuática: estrés térmico, desplazamientos y cambios de fenología / distribución. Calidad del agua: menor oxígeno; mayor riesgo de blooms y eventos olor / sabor. Abastecimiento y recreo: complicaciones de tratamiento y pérdida de aptitud en usos.
Amenazas climáticas asociadas	T1 - Incremento de la temperatura del aire (primaria). H1 / H3 - Menor recurso y estiajes más intensos (aumentan sensibilidad térmica). P3 - Sequías más frecuentes / intensas (prolongan condiciones térmicas críticas).
Impactos asociados	SW5 - *Riesgo compuesto:* el calentamiento favorece eutrofización / blooms. ECS2 - *Causa / impulsor:* pérdida de funcionalidad de hábitats por estrés térmico. AC1 - *Causa / impulsor:* condiciones adversas para acuicultura.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-1-2 - Condiciones térmicas (Thermal conditions) QE3-1-3 - Condiciones de oxigenación (Oxygenation conditions) QE1-4 - Fauna ictiológica (Fish)
Tipo de impacto (DMA)	Elevación de temperaturas (TEMP - Elevated temperatures)

ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos

Riesgo	Riesgo de pérdida de funcionalidad (hábitat disponible, conectividad y procesos ecológicos) en hábitats acuáticos lóticos y lénticos, por alteraciones hidrológicas (caudales, estiajes, estacionalidad) y cambios morfológicos, intensificados por el cambio climático.
Descripción del impacto	Los cambios en régimen hidrológico y la reducción de aportes degradan la funcionalidad al contraer el hábitat, romper conectividad y limitar refugios (pozas, áreas de inundación lateral). En ríos, se simplifica el mosaico de hábitats y se pierde conectividad longitudinal / lateral; en humedales y lagunas se incrementa la temporalidad y se alteran hidroperiodos. La pérdida de funcionalidad afecta reproducción, alimentación y dispersión, y aumenta la vulnerabilidad a perturbaciones (picos de avenida, contaminación, invasoras). En sistemas costeros dependientes de aportes dulces, puede haber contracción de hábitats de transición y cambios de salinidad.
Componentes ambientales y sectores afectados	Hábitats fluviales y humedales: contracción, fragmentación y pérdida de procesos ecológicos. Áreas protegidas: incumplimiento de objetivos de conservación y mayor coste de restauración. Turismo de naturaleza / pesca recreativa: pérdida de calidad ambiental y servicios asociados.
Amenazas climáticas asociadas	H1 / H3 - Menor recurso y alteración estacional del régimen (derivadas). P3 - Sequías más intensas / frecuentes (prolongan pérdida de hábitat). P4 - Episodios extremos: perturbaciones que, sobre hábitats debilitados, incrementan daño. M1 / M2 (cuando aplique) - En transición litoral: presión salina y temporales.
Impactos asociados	SW1 - *Causa / impulsor:* la intermitencia reduce funcionalidad. SW7 - *Consecuencia:* deterioro funcional contribuye al mal estado. ECS3 / ECS6 - *Cascada ecológica:* cambios de comunidad e invasoras se facilitan por pérdida funcional.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime) QE2-3 - Condiciones morfológicas: ríos (Morphological conditions) QE1-3 - Macroinvertebrados / invertebrados bentónicos (Benthic invertebrates) QE1-4 - Fauna ictiológica (Fish)
Tipo de impacto (DMA)	Alteración de hábitats debida a cambios hidrológicos (HHYC - Altered habitats due to hydrological changes) Alteración de hábitats debida a cambios morfológicos (incluida la conectividad) (HMOC - Altered habitats due to morphological changes (includes connectivity))

ECS3. Alteración de las comunidades biológicas (fauna y flora)

Riesgo	Riesgo de cambios en composición, estructura trófica y distribución de comunidades en sistemas lóticos y lénticos, por calentamiento, cambios hidrológicos y episodios extremos, con pérdida de biodiversidad y servicios.
Descripción del impacto	El calentamiento y los estiajes alteran tasas metabólicas, oxigenación y disponibilidad de hábitat, favoreciendo cambios de dominancia y simplificación trófica. Se esperan cambios en patrones de migración y distribución espacial (desplazamientos altitudinales / latitudinales, pérdida de especies de aguas frías y expansión de tolerantes), así como desajustes fenológicos (reproducción, emergencias). La fragmentación y el aislamiento (pozas, humedales desconectados) pueden reducir conectividad genética y favorecer pérdida de diversidad genética, especialmente en poblaciones pequeñas. La respuesta se ve amplificada por presiones concurrentes (calidad, invasoras), generando cambios persistentes.
Componentes ambientales y sectores afectados	Comunidades acuáticas: reorganización trófica, pérdida de especies sensibles, homogenización biótica. Pesca recreativa y conservación: cambio de especies objetivo y necesidad de medidas de gestión / seguimiento.
Amenazas climáticas asociadas	T1 - Incremento de temperatura del aire (primaria; base del calentamiento del agua). H1 / H3 - Menor recurso y cambios estacionales (derivadas; alteran hábitat). P4 - Extremos de precipitación (perturbaciones agudas sobre comunidades). P3 - Sequías (persistencia de condiciones de estrés).
Impactos asociados	ECS2 - *Causa / impulsor:* pérdida funcional facilita cambios de comunidad. ECS4 - *Consecuencia:* especies emblemáticas / endémicas son más vulnerables a cambios comunitarios. AC3 - *Contribución:* cambios en poblaciones de peces continentales como manifestación sectorial.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE1-1 - Fitoplancton (Phytoplankton) QE1-3 - Macroinvertebrados / invertebrados bentónicos (Benthic invertebrates) QE1-4 - Fauna ictiológica (Fish)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

ECS4. Afección a especies emblemáticas y endémicas

Riesgo	Riesgo de declive local o extinción de especies acuáticas emblemáticas / endémicas por cambios térmicos e hidrológicos, pérdida de hábitat y episodios extremos, con pérdida irreversible de patrimonio natural.
Descripción del impacto	Las especies de distribución restringida (cabeceras frías, manantiales, lagunas singulares, charcas temporales) presentan menor capacidad de desplazamiento y alta dependencia de condiciones específicas de caudal, temperatura y calidad. El aumento de estiajes, el calentamiento y la irregularidad hidrológica reducen hábitat y refugios, incrementando mortalidad y fragmentación. Como resultado, disminuye el tamaño efectivo de población y aumenta la probabilidad de pérdida de diversidad genética, reduciendo la capacidad adaptativa frente a perturbaciones. La combinación con invasoras, patógenos o degradación de calidad puede acelerar el riesgo, haciendo necesarios programas de conservación más intensivos.
Componentes ambientales y sectores afectados	Especies protegidas / endémicas y hábitats críticos: pérdida de hábitat, fragmentación y riesgo de extinción. Conservación y gestión de espacios protegidos: intensificación de medidas (rescate, cría, restauración).
Amenazas climáticas asociadas	T1 - Incremento de temperatura del aire (primaria; estrés térmico). H1 / H3 - Menor recurso y cambios estacionales (hábitats críticos más vulnerables). P3 - Sequías más intensas / frecuentes (persistencia del estrés). P4 - Extremos (perturbaciones agudas en poblaciones pequeñas).
Impactos asociados	ECS2 - *Causa / impulsor:* pérdida funcional del hábitat. AC3 - *Manifestación sectorial:* cambios en poblaciones de peces continentales.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE1-4 - Fauna ictiológica (Fish) QE1-5 - Otras especies (Other species) Además de los QEs, el impacto puede afectar a especies protegidas / amenazadas asociadas al medio acuático y zonas húmedas (p. ej., anfibios, invertebrados acuáticos de interés, aves acuáticas y de ribera, y mamíferos semiacuáticos), relevantes para objetivos de conservación.
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

ECS5. Degradación de ecosistemas ribereños y terrestres asociados

Riesgo	Riesgo de degradación de riberas y ecosistemas terrestres asociados por reducción de caudales, menor inundación lateral y estiajes más prolongados, con pérdida de servicios ecosistémicos y aumento de vulnerabilidad a perturbaciones.
Descripción del impacto	La menor frecuencia y duración de inundaciones laterales y el descenso de humedad edáfica reducen la vitalidad de bosques de galería y formaciones riparias, favoreciendo decaimiento, sustitución por especies más xerófilas y pérdida de estructura. Se degradan funciones clave (sombra, regulación térmica del agua, retención de sedimentos, conectividad ecológica). En turberas, marjales y zonas encharcables alimentadas por aportes superficiales / subterráneos, el secado parcial aumenta mineralización y pérdida de hábitat. La ribera más seca puede incrementar el riesgo de incendio y la erosión, reforzando retroalimentaciones con sedimentación y calidad.
Componentes ambientales y sectores afectados	Riberas y humedales asociados: pérdida de estructura / función, menor regulación térmica y de sedimentos. Gestión forestal y conservación: mayor riesgo de degradación e incendios; necesidad de restauración. Servicios culturales / turismo: pérdida de calidad paisajística y biodiversidad.
Amenazas climáticas asociadas	H1 / H3 - Menor recurso y alteración estacional (menos inundación lateral y más estiaje). P3 - Sequías (persistencia del estrés hídrico). T1 / T2 - Calentamiento y mayor demanda evaporativa (estrés de vegetación de ribera).
Impactos asociados	SW1 - *Causa / impulsor:* intermitencia / estiaje intensifica estrés ribereño. ECS8 - *Retroalimentación:* degradación de cuenca / ribera aumenta aporte sólido y sedimentación. ECS9 - *Riesgo compuesto:* contribuye a daños sistémicos por sequía.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime) QE2-3 - Condiciones morfológicas: ríos (Morphological conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Alteración de hábitats debida a cambios hidrológicos (HHYC - Altered habitats due to hydrological changes) Alteración de hábitats debida a cambios morfológicos (incluida la conectividad) (HMOC - Altered habitats due to morphological changes (includes connectivity))

ECS6. Expansión de especies exóticas invasoras

Riesgo	Riesgo de expansión y consolidación de especies exóticas invasoras en ecosistemas acuáticos, favorecida por calentamiento, alteraciones hidrológicas y degradación de hábitats, con desplazamiento de nativas y costes de gestión.
Descripción del impacto	El calentamiento y la mayor irregularidad hidrológica suelen beneficiar a especies oportunistas y tolerantes, mientras debilitan a nativas sensibles, creando ventanas para invasión. La contracción del hábitat y la fragmentación favorecen comunidades empobrecidas y menos resistentes a la invasión. En embalses y tramos regulados / lentificados, la combinación de temperaturas más altas y cambios de calidad puede acelerar la expansión. Las invasoras alteran redes tróficas, aumentan turbidez o bioturbación y pueden actuar como vectores de patógenos, amplificando impactos sobre estado ecológico.
Componentes ambientales y sectores afectados	Comunidades acuáticas: desplazamiento de nativas, homogenización biótica, alteración de procesos. Gestión / conservación: incremento de costes de control y restauración.
Amenazas climáticas asociadas	T1 - Incremento de temperatura del aire (ventaja competitiva para tolerantes). H3 / H1 - Cambios del régimen y reducción de recurso (estrés de nativas). P4 - Extremos: perturbaciones que facilitan establecimiento / propagación.
Impactos asociados	ECS2 - *Causa / impulsor:* pérdida funcional facilita invasión. AG5 - *Coherencia sectorial:* proliferación de plagas / malas hierbas (mecanismos análogos).
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE1-4 - Fauna ictiológica (Fish) QE1-3 - Macroinvertebrados / invertebrados bentónicos (Benthic invertebrates)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

ECS7. Proliferación de patógenos y contaminantes emergentes

Riesgo	Riesgo de incremento de patógenos y contaminantes emergentes en masas de agua superficiales por calentamiento, menor dilución y episodios extremos, con impacto sanitario, recreativo y ecológico.
Descripción del impacto	Temperaturas más altas y tiempos de residencia mayores pueden favorecer crecimiento de microorganismos y aumentar persistencia de determinados patógenos, especialmente cuando coinciden con cargas de origen urbano / ganadero. La menor dilución en estiaje eleva concentraciones y exposición. En eventos extremos, desbordamientos y arrastres pueden introducir picos de contaminación microbiológica y química (fármacos, biocidas, PFAS u otros emergentes según presiones locales), complicando la gestión y el tratamiento. Este riesgo se expresa en restricciones de baño, alertas sanitarias y mayores exigencias de control y potabilización.
Componentes ambientales y sectores afectados	Salud pública y abastecimiento: incremento de exigencias de tratamiento y vigilancia. Aguas recreativas: cierres y pérdida de aptitud. Ecosistemas: efectos subletales / toxicidad y alteraciones microbianas.
Amenazas climáticas asociadas	T1 - Incremento de temperatura del aire (favorece proliferación). H1 / H3 - Menor recurso y estiaje (menor dilución) + irregularidad. P4 - Precipitaciones extremas (picos por arrastre y desbordamientos).
Impactos asociados	AU6 - *Cascada sanitaria:* problemas de salud pública asociados al agua. RE1 - *Causa / impulsor:* deterioro de aguas de baño. SW6 - *Concurrencia:* picos de contaminación tras inundaciones.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants) QE3-1-2 - Condiciones térmicas (Thermal conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Contaminación microbiológica (MICR - Microbiological pollution) Contaminación química (CHEM - Chemical pollution) Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

ECS8. Incremento de la sedimentación en embalses y cauces

Riesgo	Riesgo de aumento de sedimentación y colmatación en embalses y cauces, por precipitaciones extremas, degradación de suelos y pérdida de cubierta, con pérdida de capacidad de regulación y deterioro hidromorfológico.
Descripción del impacto	El incremento de eventos extremos y la mayor vulnerabilidad de suelos (sequedad previa, incendios, prácticas degradantes) intensifican la erosión y el transporte sólido. En embalses, el depósito acelera la pérdida de volumen útil y altera la dinámica térmica y de calidad; en ríos, la colmatación modifica secciones, hábitats y conectividad, incrementando turbidez y afectando frezaderos y macrohábitats. La sedimentación puede agravar riesgos de avenidas por reducción de capacidad hidráulica y aumentar costes de gestión (dragados, explotación), además de comprometer objetivos ambientales.
Componentes ambientales y sectores afectados	Embalses: pérdida de capacidad de regulación y efectos sobre calidad / operación. Ríos: alteración morfológica, colmatación, hábitats degradados. Gestión de cuenca: incremento de costes y necesidad de medidas de control de erosión.
Amenazas climáticas asociadas	P4 - Precipitaciones extremas (primaria; transporte sólido). H3 - Irregularidad / picos que favorecen pulsos erosivos (derivada). T1 / P3 (asociación indirecta) - Mayor sequedad y degradación de cubierta que predisponen a erosión.
Impactos asociados	SW4 - *Concurrencia:* turbidez y sólidos como expresión inmediata. SW6 - *Concurrencia:* arrastre de contaminantes con sedimentos. AG9 - *Causa / impulsor:* pérdida de suelo como origen del aporte sólido.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-3 - Condiciones morfológicas: ríos (Morphological conditions) QE3-1-1 - Transparencia (Transparency conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Alteración de hábitats debida a cambios morfológicos (incluida la conectividad) (HMOC - Altered habitats due to morphological changes (includes connectivity))

ECS9. Daños sistémicos (sociales, económicos, ambientales) por sequía prolongada

Riesgo	Riesgo de daños sistémicos (sociales, económicos y ambientales) por sequías prolongadas y reducción sostenida de recursos, con propagación intersectorial y territorial (riesgo compuesto).
Descripción del impacto	Las sequías prolongadas combinan peligros hidrometeorológicos y vulnerabilidades preexistentes, generando restricciones y pérdidas en cascada: caída de garantías de suministro (urbano, agrario, industrial), pérdida de producción (incluida hidroeléctrica), deterioro ambiental (ríos / humedales y ecosistemas dependientes) y tensiones socioeconómicas. La persistencia del déficit incrementa conflictos entre usos / territorios y eleva costes (energía, tratamientos, sustitución de fuentes). El impacto se amplifica por dependencia de sectores sensibles al agua, limitada capacidad de regulación o alternativas y por déficits de gobernanza / anticipación. Integra así dimensiones de exposición y vulnerabilidad, coherentes con el enfoque de riesgo de la Memoria.
Componentes ambientales y sectores afectados	Sociedad y economía: restricciones, pérdidas de empleo / producción, conflictividad. Ecosistemas y servicios: degradación de ríos / humedales y pérdida de servicios. Sistemas de gestión del agua: estrés operacional y necesidad de medidas excepcionales.
Amenazas climáticas asociadas	P3 - Sequías meteorológicas más frecuentes / intensas (compuesta). P1 / P2 - Menor precipitación media y cambio estacional (base del déficit). T2 - Mayor ETP (refuerzo del balance deficitario). H1 / H3 - Traducción hidrológica: menos recurso superficial y régimen más irregular. N1 (cuando aplique) - Alteración del régimen nival (reduce aportes y cambia estacionalidad).
Impactos asociados	AU1 / AG2 / EI1 / RE2 - *Cascada:* manifestaciones sectoriales directas del daño sistémico. SW1–SW7 / GW3 - *Retroalimentación:* deterioros ambientales y de estado agravan el riesgo sistémico.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime) QE2-2 - Continuidad del río (River continuity conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Alteración de hábitats debida a cambios hidrológicos (HHYC - Altered habitats due to hydrological changes)

ECS10. Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales

Riesgo	Riesgo de daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales, por precipitaciones extremas y mayor irregularidad, con daños sobre población, infraestructuras críticas, calidad del agua y actividad económica.
Descripción del impacto	Las precipitaciones extremas pueden generar inundaciones rápidas (pluviales) y avenidas (fluviales), con daños directos a viviendas, infraestructuras y servicios esenciales. Se producen impactos ambientales (erosión, alteración morfológica, turbidez) y riesgos de contaminación por arrastres y desbordamientos (urbanos / industriales), afectando a captaciones y aguas recreativas. La severidad depende de exposición (ocupación de llanuras, impermeabilización) y vulnerabilidad (drenaje insuficiente, infraestructuras envejecidas). La recuperación puede ser prolongada por daños encadenados (electricidad, saneamiento, transporte), configurando un riesgo sistémico.
Componentes ambientales y sectores afectados	Población y bienes: daños directos y riesgo sanitario post-evento. Infraestructuras y servicios (incl. ciclo urbano): interrupciones y costes de reparación. Masas de agua: perturbación hidromorfológica y deterioro puntual de calidad.
Amenazas climáticas asociadas	P4 - Aumento de intensidad / frecuencia de precipitaciones extremas (primaria). H3 - Alteración del régimen estacional (picos súbitos; irregularidad). M2 (cuando aplique en costa baja) - Temporales que pueden agravar inundación en tramos bajos / estuarios.
Impactos asociados	SW6 - *Componente ambiental / sanitario:* contaminación difusa en inundaciones. AU5 - *Cascada operativa:* daños en servicios del ciclo urbano del agua. EI3 / AG8 / RE4 - *Cascada sectorial:* daños en energía, agricultura y turismo por extremos.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-3 - Condiciones morfológicas: ríos (Morphological conditions) QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants) QE3-1-1 - Transparencia (Transparency conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Alteración de hábitats debida a cambios hidrológicos (HHYC - Altered habitats due to hydrological changes) Alteración de hábitats debida a cambios morfológicos (incluida la conectividad) (HMOC - Altered habitats due to morphological changes (includes connectivity)) Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

ECS11. Daños sistémicos por inundaciones costeras y temporales marítimos

Riesgo	Riesgo de daños sistémicos en zonas litorales por inundaciones costeras y temporales, con afección a población, infraestructuras, acuíferos costeros, ecosistemas y usos recreativos.
Descripción del impacto	El aumento del nivel medio del mar eleva la cota de referencia y amplifica el alcance de temporales, incrementando frecuencia y severidad de inundación en llanuras litorales, deltas, marismas y frentes urbanos costeros. Los temporales producen erosión, sobrelavado y daños en infraestructuras; además, pueden inducir entradas salinas y empeorar la calidad del agua en zonas de transición. La combinación con exposición alta (urbanización costera) genera daños directos y disrupciones prolongadas en servicios y economía local (turismo, transporte). También aumenta la probabilidad de contaminación por arrastres y fallos de saneamiento.
Componentes ambientales y sectores afectados	Litoral urbano e infraestructuras: daños, interrupciones y costes elevados. Ecosistemas costeros: erosión, salinización y cambios morfológicos. Abastecimiento / captaciones costeras y recreo: deterioro de calidad y restricciones.
Amenazas climáticas asociadas	M1 - Aumento del nivel medio del mar (primaria). M2 - Aumento de temporales costeros (primaria).
Impactos asociados	GW1 - *Riesgo compuesto:* temporales y elevación del mar favorecen intrusión / salinización. ECS12 - *Concurrencia:* elevación freática y drenaje deficiente agravan daños. RE1 / AC2 - *Cascada por calidad / salinidad:* afecciones a baño y a sistemas estuarinos / productivos.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-3 - Condiciones morfológicas: ríos (Morphological conditions) QE3-1-4 - Condiciones de salinidad (Salinity conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Alteración de hábitats debida a cambios morfológicos (incluida la conectividad) (HMOC - Altered habitats due to morphological changes (includes connectivity)) Contaminación salina / intrusión (SALI - Saline pollution / intrusion)

ECS12. Elevación del nivel freático y drenaje deficiente en llanuras litorales

Riesgo	Riesgo de elevación del nivel freático, anegamiento y drenaje deficiente en llanuras litorales, por aumento del nivel del mar y temporales, con salinización, daños en infraestructuras y afección a saneamiento y usos del suelo.
Descripción del impacto	El aumento del nivel del mar puede elevar el nivel freático en acuíferos costeros y reducir el gradiente de drenaje hacia el mar, aumentando anegamientos persistentes y dificultando el funcionamiento de redes de drenaje y saneamiento (intrusión en colectores, menor capacidad de evacuación). En episodios de temporal, el efecto se agrava por sobrelevación del nivel del mar y penetración de agua salina, con salinización de suelos y daños en cimentaciones e infraestructuras. La persistencia del anegamiento incrementa riesgos sanitarios y costes operativos del ciclo urbano, y puede afectar ecosistemas y usos agrarios litorales.
Componentes ambientales y sectores afectados	Ciclo urbano (drenaje / saneamiento): sobrecargas, intrusión salina, fallos operativos. Suelos e infraestructuras: anegamiento crónico, corrosión y deterioro estructural. Acuíferos y humedales litorales: elevación freática y cambios de salinidad.
Amenazas climáticas asociadas	M1 - Aumento del nivel medio del mar (primaria). M2 - Aumento de temporales costeros (primaria).
Impactos asociados	GW1 - *Concurrencia:* elevación freática y salinidad / intrusión en acuíferos costeros. ECS11 - *Riesgo compuesto:* anegamiento crónico amplifica daños por temporales. AU4 / AU5 - *Cascada operativa:* estrés y daños en redes de saneamiento y servicios.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-1-4 - Condiciones de salinidad (Salinity conditions) QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Contaminación salina / intrusión (SALI - Saline pollution / intrusion) Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima

Riesgo	Riesgo de incremento de incidencia / severidad de incendios forestales (y sus efectos en cuenca) por calentamiento, sequías más intensas / frecuentes y cambios de régimen, con impactos en suelos, escorrentía, sedimentos y calidad del agua.
Descripción del impacto	Las condiciones más cálidas y secas aumentan la inflamabilidad del combustible y la probabilidad de grandes incendios, con pérdidas de cubierta vegetal y degradación del suelo (hidrofobicidad, pérdida de estructura). Tras el incendio, las precipitaciones intensas pueden generar picos de erosión y transporte sólido, incrementando turbidez, sedimentación y arrastre de contaminantes (cenizas, nutrientes, metales), con efectos en embalses y captaciones. Se reduce la capacidad de regulación natural de la cuenca y aumenta la vulnerabilidad a avenidas y degradación hidromorfológica. Los impactos pueden persistir varios años, exigiendo restauración hidrológico-forestal y gestión preventiva.
Componentes ambientales y sectores afectados	Cuencas forestales y suelos: pérdida de fertilidad y aumento de erosión. Masas de agua y embalses: turbidez, sedimentación y deterioro de calidad. Servicios ecosistémicos y seguridad: riesgos sobre infraestructuras y costes de restauración.
Amenazas climáticas asociadas	T1 - Incremento de temperatura del aire (primaria; aumenta extremos / olas de calor). P3 - Sequías meteorológicas más frecuentes / intensas (compuesta; estrés del combustible). T2 - Mayor ETP (refuerza aridez del combustible). P4 - Precipitaciones extremas (post-incendio: erosión y arrastres).
Impactos asociados	AG9 - *Causa / impulsor:* pérdida de suelo y erosión. ECS8 / SW4 - *Cascada:* más sólidos y sedimentación tras eventos post-incendio. SW6 - *Concurrencia:* arrastre de contaminantes / partículas en episodios de lluvia post-fuego. EI3 - *Cascada sectorial:* daños en infraestructuras energéticas por extremos y fuego.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-1-1 - Transparencia (Transparency conditions) QE2-3 - Condiciones morfológicas: ríos (Morphological conditions) QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AU. Impactos en abastecimiento y saneamiento urbano

AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento

Riesgo	Riesgo de reducción de la garantía (fallo en cantidad y / o continuidad) del abastecimiento urbano y periurbano por descenso de recursos disponibles (superficiales y subterráneos), mayor recurrencia de sequías y episodios concurrentes de calor, con tensiones operativas y socioeconómicas.
Descripción del impacto	La disminución de aportaciones y la mayor frecuencia de sequías incrementan la probabilidad de restricciones, activación de fuentes de peor calidad, mezclas e interconexiones, y medidas de emergencia (reducciones de presión, limitaciones de usos no esenciales). En sistemas dependientes de embalses y / o captaciones someras, la variabilidad intraanual eleva la exposición a fallos en estiaje. La coincidencia con olas de calor aumenta la demanda y reduce márgenes de seguridad. El resultado puede traducirse en pérdidas de servicio, aumento de costes, y conflictos por asignación en periodos críticos.
Componentes ambientales y sectores afectados	Recursos superficiales y subterráneos: menor disponibilidad efectiva y mayor variabilidad estacional. Sistemas de abastecimiento (captación–ETAP–red): estrés operativo, necesidad de fuentes alternativas / mezcla. Población y actividad económica urbana: restricciones, impactos sociales y económicos.
Amenazas climáticas asociadas	H1 + H2 (menos recurso superficial y menor disponibilidad subterránea). P3 (sequías meteorológicas más frecuentes / intensas como marco de escasez). T2 + P1 / P2 (más demanda evaporativa y / o menos precipitación efectiva, que refuerzan H1 / H2).
Impactos asociados	AU2 - *Causa / impulsor concurrente:* mayor demanda agrava la pérdida de garantía. GW3 - *Causa / impulsor:* deterioro cuantitativo / químico subterráneo reduce alternativas. AG2 - *Concurrencia / competencia:* tensiones de asignación con regadío. EI4 - *Cascada:* restricciones a la industria por escasez.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type) Se usa como categoría integradora del efecto sobre un uso; el mecanismo pasa por QE2-1 y / o LOWT en acuíferos.

AU2. Incremento de la demanda de agua potable

Riesgo	Riesgo de incremento de demanda y de puntas de consumo en el abastecimiento urbano por aumento de temperatura y olas de calor (y, localmente, cambios estacionales de población / turismo), elevando el estrés del sistema en periodos críticos.
Descripción del impacto	El calentamiento incrementa el consumo per cápita y, sobre todo, las puntas estivales (hidratación, higiene, riego de zonas verdes, refrigeración, usos recreativos). En municipios turísticos o con segunda residencia, la estacionalidad amplifica el efecto y tensiona infraestructuras de captación, tratamiento y distribución. El aumento de la demanda coincide con el mínimo hidrológico anual, reduciendo márgenes de seguridad y aumentando la probabilidad de restricciones y pérdidas en red. El efecto también puede elevar consumos energéticos del ciclo urbano del agua y los costes de explotación.
Componentes ambientales y sectores afectados	Sistemas de abastecimiento: necesidad de mayor capacidad de tratamiento / almacenamiento y gestión de puntas. Recursos hídricos: mayor extracción en el periodo de menor disponibilidad. Población / servicios urbanos y turismo: mayor exposición a limitaciones en olas de calor.
Amenazas climáticas asociadas	T1 (incluye olas de calor como extremos térmicos; aumento de puntas de demanda). T2 (mayor demanda evaporativa en usos urbanos exteriores; refuerzo en verano). P3 + H1 (la mayor demanda se vuelve crítica cuando coincide con escasez y menor recurso).
Impactos asociados	AU1 - *Causa / impulsor:* eleva el riesgo de pérdida de garantía. RE4 - *Concurrencia:* olas de calor alteran temporada turística y demanda urbana.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AU3. Deterioro de la calidad del agua bruta para potabilización

Riesgo	Riesgo de deterioro de calidad del agua fuente para potabilización por menor dilución en estiaje, calentamiento del agua y eventos extremos, con incremento de episodios de turbidez, blooms (incluidas cianotoxinas) y compuestos de olor / sabor.
Descripción del impacto	En estiajes prolongados, la menor dilución y el mayor tiempo de residencia aumentan concentraciones de nutrientes y contaminantes, elevando costes y complejidad del tratamiento. El calentamiento favorece floraciones algales y cianobacterias potencialmente tóxicas y episodios de olor y sabor en embalses y tramos lentificados. Tras lluvias intensas, pueden producirse picos de turbidez y arrastres de materia orgánica y patógenos, comprometiendo la operación de ETAP y la continuidad del servicio. El impacto se amplifica cuando concurren presiones previas (difusas o puntuales) y menor resiliencia del sistema.
Componentes ambientales y sectores afectados	Embalses / ríos de abastecimiento: deterioro fisicoquímico y biológico; mayor variabilidad episódica. ETAP y explotación: necesidad de pretratamientos / oxidación / adsorción, gestión de lodos, mezclas. Abastecimiento y salud pública: mayor probabilidad de incidencias operativas y restricciones.
Amenazas climáticas asociadas	H1 + H3 (menor caudal / reserva y estiajes más intensos → menor dilución y mayor residencia). T1 (asociación: incremento de temperatura del aire → calentamiento del agua; favorece blooms / olor-sabor). P4 (picos de turbidez / arrastres y contaminación episódica tras eventos extremos). P3 (en sequía se amplifica la concentración y la vulnerabilidad operativa).
Impactos asociados	SW2 - *Causa / impulsor:* mayor concentración por menor dilución. SW4 - *Causa / impulsor:* turbidez y sólidos en suspensión. SW5 - *Causa / impulsor:* eutrofización y blooms nocivos. GW2 - *Conectividad:* transmisión desde calidad subterránea en sistemas conectados. AU6 - *Cascada sanitaria:* exposición a toxinas / patógenos si no se gestiona.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants, RBSP) QE3-1-1 - Transparencia (Transparency conditions) QE3-1-2 - Condiciones térmicas (Thermal conditions) QE3-1-3 - Condiciones de oxigenación (Oxygenation conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Contaminación química (CHEM - Chemical pollution) Contaminación por nutrientes (NUTR - Nutrient pollution) Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AU4. Estrés en las redes de saneamiento y drenaje urbano

Riesgo	Riesgo de sobrecarga y disfunción de redes de saneamiento y drenaje urbano por precipitaciones intensas, inundaciones pluviales y, en costa, condiciones de nivel del mar / temporales, con vertidos, retornos y contaminación del medio receptor.
Descripción del impacto	Las lluvias torrenciales incrementan caudales punta, superando capacidad de colectores, aliviaderos y estaciones de bombeo, con episodios de desbordamiento y vertidos (especialmente en redes unitarias). En zonas costeras o con niveles freáticos altos, la menor capacidad de descarga y la infiltración aumentan el estrés y las incidencias (retornos, inundaciones de sótanos, intrusión en colectores). La recurrencia de extremos puede acelerar deterioro de activos y elevar costes de operación y mantenimiento. El resultado incluye afección a masas receptoras por contaminación episódica y riesgos sanitarios locales.
Componentes ambientales y sectores afectados	Infraestructura urbana (colectores, tanques, bombeos): sobrecargas, fallos operativos y daños. Masas receptoras y zonas inundables urbanas: contaminación episódica y degradación ambiental. Servicios municipales y población: impactos por inundación pluvial y retornos.
Amenazas climáticas asociadas	P4 (sobrecargas por precipitaciones extremas; desbordamientos / retornos). H3 (mayor irregularidad y picos hidrológicos asociados a extremos). M1 + M2 (donde aplique en áreas costeras): menor capacidad de descarga, intrusión / inundación costera y temporales.
Impactos asociados	ECS10 - *Marco de riesgo compuesto:* inundaciones pluviales / fluviales como contexto de daño. AU5 - *Consecuencia / cascada:* la disfunción de drenaje agrava daños en servicios del ciclo urbano.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants, RBSP)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AU5. Daños en los servicios del ciclo urbano del agua por inundaciones

Riesgo	Riesgo de daños físicos y disrupciones en captaciones, ETAP, EDAR, bombeos y redes por avenidas e inundaciones, con pérdida de servicio, contaminación y elevados costes de recuperación.
Descripción del impacto	Las inundaciones pueden afectar instalaciones críticas (entrada de agua, cuadros eléctricos, equipos de tratamiento, depósitos), provocar roturas de redes y colapsar bombeos, con interrupciones de suministro y saneamiento. Se incrementa la turbidez del agua fuente y el riesgo de contaminación por arrastres y retornos, obligando a operar en modo de emergencia (bypass, restricciones, aportes alternativos). La disrupción puede ser prolongada si coincide con fallos energéticos o daños en accesos. Además, tras el evento se elevan los costes de reparación, limpieza y reposición, y puede aumentar la vulnerabilidad ante eventos sucesivos.
Componentes ambientales y sectores afectados	Infraestructura del ciclo urbano: daños, fallos eléctricos / mecánicos, pérdida de capacidad de tratamiento. Masas receptoras: vertidos y contaminación asociada a fallos de saneamiento. Población y servicios esenciales: cortes y restricciones con potencial impacto sanitario.
Amenazas climáticas asociadas	P4 + H3 (avenidas / inundaciones derivadas de precipitación extrema e irregularidad del régimen). M1 + M2 (en costa baja y estuarios): aumento de niveles y temporales que agravan inundación y corrosión / salinidad.
Impactos asociados	ECS10 - *Causa / impulsor:* marco de inundación pluvial / fluvial. SW6 - *Concurrencia:* contaminación difusa asociada a inundaciones agrava impacto. EI3 - *Cascada intersectorial:* daños energéticos dificultan operación y recuperación.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants, RBSP) QE2-3 - Condiciones morfológicas: ríos (Morphological conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AU6. Problemas de salud pública asociados al agua

Riesgo	Riesgo de incremento de impactos sanitarios por contaminación microbiológica / toxinas y fallos del ciclo urbano, asociado a calentamiento del agua, eutrofización y episodios de inundación, con exposición en consumo y usos recreativos.
Descripción del impacto	El calentamiento y la mayor permanencia del agua favorecen proliferación biológica y, en condiciones eutróficas, blooms que pueden incluir toxinas. Los eventos extremos (inundaciones) elevan el riesgo de contaminación microbiológica por desbordamientos y arrastres, afectando captaciones, redes y aguas recreativas. En sequías, la concentración de contaminantes y la necesidad de recurrir a fuentes alternativas puede incrementar vulnerabilidades. El impacto sanitario incluye episodios gastrointestinales, afecciones dérmicas / respiratorias y problemas derivados de fallos de suministro seguro, requiriendo vigilancia, comunicación de riesgo y medidas preventivas.
Componentes ambientales y sectores afectados	Abastecimiento y salud pública: calidad del agua de consumo, alertas y medidas de emergencia. Aguas recreativas: cierres por contaminación o blooms. Saneamiento: vertidos y exposición post-inundación.
Amenazas climáticas asociadas	T1 (asociación: calentamiento del agua → más proliferaciones / blooms, riesgos de olor / sabor y toxinas). H1 + P3 (menor dilución y estiajes prolongados → concentración y mayor vulnerabilidad). P4 (contaminación microbiológica episódica por desbordamientos / arrastres tras extremos).
Impactos asociados	SW5 - *Causa / impulsor:* eutrofización y blooms (incl. toxinas). AU3 - *Causa / impulsor:* deterioro del agua bruta eleva riesgo sanitario. ECS7 - *Causa / impulsor:* patógenos / contaminantes emergentes.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants, RBSP)
Tipo de impacto (DMA)	Contaminación microbiológica (MICR - Microbiological pollution)

AG. Impactos en el sector agrario

AG1. Mayor estrés hídrico en cultivos de secano

Riesgo	Riesgo de pérdida de rendimiento y mayor variabilidad interanual en cultivos de secano por aumento de evapotranspiración, sequías y cambios estacionales de precipitación, con incremento de fallos de cosecha y degradación del suelo.
Descripción del impacto	El aumento de temperatura y la mayor demanda evaporativa reducen la humedad del suelo y acortan ventanas favorables, elevando estrés en etapas críticas (floración / llenado). Las sequías más frecuentes incrementan la probabilidad de pérdidas severas, especialmente en suelos poco profundos o degradados. La irregularidad de lluvias puede aumentar el riesgo de arranque fallido o de episodios de estrés súbito tras periodos secos. El impacto se traduce en caída de producción, necesidad de cambios varietales / calendarios y, en algunos casos, abandono o cambio de uso.
Componentes ambientales y sectores afectados	Suelos agrícolas: menor humedad disponible, mayor riesgo de degradación. Producción de secano: pérdidas de rendimiento y mayor volatilidad. Economía agraria y abastecimiento alimentario local: reducción de ingresos y estabilidad.
Amenazas climáticas asociadas	T2 (aumento de ETP → estrés hídrico estructural). P1 / P2 + P3 (menos precipitación y / o peor distribución estacional + sequías más intensas / frecuentes).
Impactos asociados	AG3 - *Consecuencia / retroalimentación:* mayor demanda potencial de riego como respuesta adaptativa. AG4 - *Concurrencia:* cambios de idoneidad y calendarios como ajuste obligado.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío

Riesgo	Riesgo de reducción de garantía del regadío por menor recurso regulable y mayor recurrencia de sequías, con dotaciones reducidas, restricciones y pérdidas económicas, y potencial intensificación de presiones sobre aguas subterráneas.
Descripción del impacto	Las sequías y la reducción de aportaciones aumentan la frecuencia de campañas con dotaciones recortadas, turnos o incluso suspensión en ciertas zonas, especialmente en sistemas con baja capacidad de regulación o alta competencia entre usos. La mayor variabilidad interanual incrementa incertidumbre en planificación de cultivos y en la rentabilidad. En respuesta, puede aumentar la dependencia de aguas subterráneas o la búsqueda de recursos alternativos, con riesgos de sobreexplotación y deterioro de estado. El impacto se manifiesta en pérdidas de producción y valor añadido, y en tensiones sociales por reparto del agua.
Componentes ambientales y sectores afectados	Sistemas de explotación del regadío: menor fiabilidad de asignaciones y restricciones operativas. Recursos (superficiales / subterráneos): presión adicional en años secos. Sector agroalimentario: pérdidas económicas y cambios en estructura productiva.
Amenazas climáticas asociadas	H1 + H3 (menos recursos y mayor desajuste estacional; estiajes más severos). P3 + T2 (sequía meteorológica y mayor demanda evaporativa agravan déficits). N1 (si hay componente nival): cambios en nieve / deshielo alteran aportes y la regulación estacional.
Impactos asociados	SW1 - *Causa / impulsor:* intermitencia y menor caudal disponible. GW3 - *Causa / impulsor y retroalimentación:* uso subterráneo como sustitución en sequía. AU1 - *Competencia / Concurrencia:* prioridad del abastecimiento en crisis. EI1 - *Concurrencia:* menor regulación afecta también a hidroeléctrica.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AG3. Incremento de la demanda de riego

Riesgo	Riesgo de incremento de necesidades netas de riego por aumento de evapotranspiración y prolongación de periodos cálidos, elevando demandas consuntivas y energía asociada, con potencial agravamiento de estrés hídrico.
Descripción del impacto	El calentamiento incrementa la demanda atmosférica y puede alargar la temporada de cultivo, aumentando dotaciones necesarias para mantener rendimientos, especialmente en cultivos de verano. En escenarios de mayor irregularidad de lluvias, el riego de apoyo puede extenderse a periodos tradicionalmente de secano. El incremento de demanda coincide con menor disponibilidad en estiaje, elevando el riesgo de restricciones y la presión sobre embalses y acuíferos. Además, puede aumentar costes energéticos (bombeo / presión) y requerir modernización para mejorar eficiencia real.
Componentes ambientales y sectores afectados	Recursos hídricos: incremento de extracciones y consumos en estiaje. Infraestructura de riego: necesidad de adaptación operativa y energética. Economía agraria: aumento de costes y vulnerabilidad en años secos.
Amenazas climáticas asociadas	T2 (principal impulsor: mayores necesidades netas). T1 (extremos térmicos y prolongación de periodo cálido). P2 + P3 (estacionalidad más desfavorable y sequías → más riego de apoyo y demanda en estiaje).
Impactos asociados	AG1 - *Respuesta adaptativa / cascada:* el estrés en secano empuja a mayor riego. AG2 - *Retroalimentación:* mayor demanda reduce garantía del sistema.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AG4. Cambios en la idoneidad de cultivos y en los calendarios agrícolas

Riesgo	Riesgo de pérdida de idoneidad agroclimática y necesidad de cambios de calendario / variedades por calentamiento, olas de calor y cambios estacionales de precipitación, con desplazamiento de zonas aptas y aumento de riesgos en fases críticas.
Descripción del impacto	El calentamiento modifica acumulación térmica, horas-frío y riesgo de estrés por calor, alterando fechas óptimas de siembra / floración y la idoneidad de determinadas variedades. La irregularidad de lluvias y el refuerzo de estiaje pueden obligar a adelantar o retrasar ciclos y a modificar rotaciones. En algunos casos se intensifica el riesgo de daños en etapas sensibles (polinización, cuajado), y se incrementa necesidad de riego o sombreo / manejo. El resultado puede ser cambio de cultivos, desplazamiento altitudinal / latitudinal de áreas aptas y reconfiguración productiva.
Componentes ambientales y sectores afectados	Sistemas agrícolas: cambios de manejo, variedades y ventanas de operación. Recursos hídricos: potencial aumento de dependencia de riego. Economía agraria: costes de transición y riesgos de pérdida de competitividad.
Amenazas climáticas asociadas	T1 (cambios fenológicos y estrés por calor). P2 (redistribución estacional → desajustes de calendarios). P3 (sequías más frecuentes → presión para cambiar variedades / cultivos y manejo).
Impactos asociados	AG1 - *Concurrencia:* estrés hídrico fuerza ajustes de calendario / variedad. AG5 - *Causa / impulsor:* nuevas condiciones favorecen plagas / enfermedades.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AG5. Proliferación de plagas, malas hierbas y enfermedades

Riesgo	Riesgo de aumento de incidencia y expansión de plagas, malas hierbas y enfermedades por temperaturas más altas, inviernos suaves y cambios en régimen hídrico, con mayores pérdidas y potencial incremento de presiones sobre calidad del agua por tratamientos.
Descripción del impacto	El calentamiento favorece mayor supervivencia invernal, más generaciones anuales y expansión de áreas aptas para organismos dañinos. La alteración del régimen hídrico puede aumentar estrés de cultivos y su vulnerabilidad, y favorecer ciertas enfermedades. La respuesta suele implicar mayor uso de fitosanitarios y cambios de manejo, elevando costes y potenciales impactos colaterales (deriva, escorrentía, lixiviación). En un contexto de menor dilución, la presión sobre masas de agua puede intensificarse si no se refuerzan prácticas de gestión integrada.
Componentes ambientales y sectores afectados	Agricultura: pérdidas de rendimiento y mayores costes de control. Calidad del agua: riesgo de incremento de cargas de contaminantes específicos / nutrientes. Salud pública y biodiversidad: exposición indirecta por intensificación de tratamientos.
Amenazas climáticas asociadas	T1 (invierno más suave y más generaciones; expansión de áreas aptas). P2 + P3 (desajustes hídricos y estrés del cultivo que aumenta susceptibilidad).
Impactos asociados	AG4 - *Causa / impulsor:* cambio agroclimático favorece nuevas plagas. AU6 - *Cascada potencial:* exposición indirecta (si aumenta presión química / microbiológica). ECS6 - *Analogía / ecosistémico:* condiciones que favorecen invasoras también favorecen expansión biológica.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants, RBSP) QE3-1-6-1 - Condiciones relativas a nitrógeno (Nitrogen conditions) QE3-1-6-2 - Condiciones relativas a fósforo (Phosphorus conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AG6. Impactos en la producción ganadera intensiva

Riesgo	Riesgo de descenso de productividad y aumento de mortalidad / morbilidad en ganadería intensiva por estrés térmico y mayor demanda hídrica, con riesgo de restricciones de agua y efectos sanitarios.
Descripción del impacto	Las olas de calor elevan el estrés térmico, reducen ingesta y productividad, incrementan mortalidad en episodios extremos y elevan requerimientos de ventilación / refrigeración. Paralelamente aumenta la demanda de agua para bebida, limpieza y procesos, en el periodo en que el recurso es más escaso. La menor disponibilidad o deterioro de calidad del agua puede agravar riesgos sanitarios y operativos. El impacto requiere adaptación de instalaciones, manejo y planes de emergencia, con incremento de costes.
Componentes ambientales y sectores afectados	Explotaciones intensivas: estrés térmico, adaptación de instalaciones, mayor consumo de agua / energía. Recursos hídricos locales: presión adicional en estiaje. Sanidad animal y cadena alimentaria: riesgos por calor y calidad / continuidad del agua.
Amenazas climáticas asociadas	T1 (estrés térmico; extremos de calor). P3 + H1 / H2 (escasez que puede tensionar suministro / alternativas en episodios críticos).
Impactos asociados	AU1 - *Competencia / Concurrencia:* tensiones por asignación en crisis. GW3 - *Causa / impulsor:* menor disponibilidad subterránea limita alternativas. AG2 - *Concurrencia:* crisis hídrica afecta simultáneamente a regadío. AG7 - *Concurrencia:* efectos también en extensivo (diferente mecanismo).
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AG7. Impactos en la producción ganadera extensiva

Riesgo	Riesgo de reducción de productividad y aumento de vulnerabilidad en ganadería extensiva por sequías, menor productividad de pastos, escasez de puntos de agua y calor extremo, con impactos en sostenibilidad y manejo del territorio.
Descripción del impacto	Las sequías reducen biomasa y calidad de pastos, prolongan periodos de escasez y elevan costes de suplementación y manejo. El calor extremo incrementa necesidades hídricas y reduce bienestar animal, especialmente en episodios prolongados. La disponibilidad de puntos de agua y manantiales puede disminuir, aumentando desplazamientos, concentración de ganado y degradación local (erosión / pisoteo). En conjunto, aumenta la variabilidad interanual, el riesgo económico y la presión sobre ecosistemas de dehesa / pastos.
Componentes ambientales y sectores afectados	Pastos y suelos: menor productividad, degradación local y riesgo de erosión. Ganadería extensiva: mayores costes, cambios de carga ganadera y manejo. Territorio y servicios ecosistémicos: cambios en mosaico agroforestal y riesgo de incendio.
Amenazas climáticas asociadas	P3 + P1 / P2 (sequías y régimen de lluvias menos favorable para pastos). T2 (mayor demanda evaporativa reduce humedad y productividad de pastos). H2 (agotamiento de surgencias / puntos de agua en ciertos sistemas).
Impactos asociados	AG1 - *Concurrencia:* estrés hídrico en secano afecta pastos y forrajes. AG6 - *Concurrencia:* estrés térmico afecta también a intensivo. AG9 - *Cascada:* degradación / erosión de suelos por presión y eventos extremos.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AG8. Daños agrícolas por eventos hidrometeorológicos extremos distintos de la sequía

Riesgo	Riesgo de daños directos en cultivos e infraestructuras agrarias por precipitaciones extremas, inundaciones, tormentas severas y otros extremos meteorológicos, con pérdidas súbitas y efectos sobre suelos y calidad del agua.
Descripción del impacto	Los eventos extremos pueden provocar anegamiento, asfixia radicular, pérdidas de suelo y daños mecánicos a cultivos e infraestructuras (caminos, drenajes, balsas, acequias). Las avenidas y escorrentías concentradas generan erosión y arrastres de sedimento y contaminantes, afectando parcelas y aguas receptoras. Tras el evento, se incrementan costes de reparación, replantación y manejo de suelos, y puede deteriorarse la calidad por proliferación de patógenos o lixiviación. La recurrencia de extremos aumenta la exposición y reduce la capacidad de recuperación del sistema agrario.
Componentes ambientales y sectores afectados	Explotaciones agrícolas: daños en cultivo e infraestructura; pérdidas económicas. Suelos y drenajes rurales: erosión, colmatación y degradación. Masas de agua receptoras: arrastre de sedimentos / nutrientes y contaminación episódica.
Amenazas climáticas asociadas	P4 (precipitaciones extremas; daños por anegamiento / erosión / arrastres). H3 (picos súbitos e irregularidad del régimen asociados a extremos).
Impactos asociados	ECS10 - *Marco de riesgo compuesto:* daños por inundaciones pluviales / fluviales. ECS7 - *Cascada:* patógenos / contaminantes emergentes tras extremos.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-3 - Condiciones morfológicas: ríos (Morphological conditions) QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants, RBSP)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AG9. Pérdida de fertilidad o erosión de suelos

Riesgo	Riesgo de pérdida de suelo fértil y degradación por erosión hídrica y procesos post-incendio, intensificados por precipitaciones extremas y degradación de cubierta, con efectos en productividad agraria, sedimentación y calidad del agua.
Descripción del impacto	La combinación de suelos más expuestos (sequedad, pérdida de cubierta, incendios) y episodios de lluvia intensa incrementa la erosión, el transporte sólido y la pérdida de carbono y nutrientes. Se degrada la estructura y capacidad de retención de agua del suelo, aumentando vulnerabilidad futura a sequía y reduciendo rendimientos. El sedimento exportado colmata cauces y embalses, incrementa turbidez y puede transportar contaminantes adsorbidos. El impacto tiene carácter acumulativo y requiere medidas de conservación de suelos y restauración hidrológico-forestal.
Componentes ambientales y sectores afectados	Suelos agrícolas: pérdida de fertilidad, capacidad de retención y productividad. Cuencas y masas de agua: turbidez, sedimentación y efectos hidromorfológicos. Infraestructura hidráulica: colmatación y pérdida de capacidad útil en embalses.
Amenazas climáticas asociadas	P4 (erosión hídrica y transporte sólido en episodios intensos). P3 + T2 (periodos secos prolongados y mayor aridez funcional → pérdida de cubierta y mayor erosibilidad).
Impactos asociados	ECS8 - *Consecuencia / cascada:* sedimentación en embalses y cauces. ECS13 - *Causa / impulsor:* incendios aumentan erosión post-fuego. SW4 - *Concurrencia:* turbidez y sólidos como manifestación inmediata. SW6 - *Concurrencia:* arrastre de contaminantes en avenidas.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-1-1 - Transparencia (Transparency conditions) QE2-3 - Condiciones morfológicas: ríos (Morphological conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Alteración de hábitats debida a cambios morfológicos (incluida la conectividad) (HMOC - Altered habitats due to morphological changes (includes connectivity))

EI. Impactos en los sectores energético e industrial

EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica

Riesgo	Riesgo de reducción de generación hidroeléctrica por descenso de aportaciones, mayor recurrencia de sequías y cambios estacionales (incl. nival donde aplique), con menor energía firme y mayor vulnerabilidad del sistema.
Descripción del impacto	La menor disponibilidad de caudal y niveles embalsados reduce el potencial de generación y la capacidad de modulación, especialmente en periodos de estiaje prolongado. En cuencas con contribución nival, el cambio en acumulación / deshielo altera la estacionalidad de aportes y puede reducir energía disponible en ventanas clave. La competencia por usos prioritarios puede restringir aún más la explotación hidroeléctrica en sequía. El impacto incluye menor producción, pérdida de ingresos y posible aumento de dependencia de otras tecnologías en momentos de alta demanda.
Componentes ambientales y sectores afectados	Embalses y aprovechamientos: menor volumen útil y restricciones operativas. Sistema eléctrico: menor energía firme y flexibilidad en sequía. Usos del agua: competencia con abastecimiento / regadío en crisis.
Amenazas climáticas asociadas	H1 + H3 (menos recurso y estacionalidad alterada del caudal). P3 (años secos más frecuentes / intensos). N1 (cuencas nivales): menor nieve y deshielo adelantado, con pérdida de aportes estivales.
Impactos asociados	SW1 - *Causa / impulsor:* menor caudal e intermitencia reducen producción. AG2 - *Concurrencia / competencia:* sequía impacta simultáneamente a regadío. AU1 - *Concurrencia / competencia:* prioridad del abastecimiento en crisis.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Alteración de hábitats debida a cambios hidrológicos (HHYC - Altered habitats due to hydrological changes) El efecto energético deriva del mismo mecanismo hidrológico (variación de caudales / estacionalidad).

EI2. Limitaciones en la refrigeración de centrales térmicas e industriales

Riesgo	Riesgo de limitación de refrigeración y vertido térmico en centrales térmicas e instalaciones industriales por aumento de temperatura del agua y menor caudal disponible, con paradas / reducción de carga y potenciales incumplimientos ambientales.
Descripción del impacto	El calentamiento del agua y los caudales bajos reducen la capacidad de refrigeración y aumentan el riesgo de superar límites de temperatura en captación / vertido, especialmente en ríos durante estiaje. Esto puede obligar a reducir potencia, modificar operación o emplear sistemas alternativos (recirculación, torres), incrementando costes y consumo energético. En condiciones eutróficas, la calidad del agua (materia orgánica, algas) puede afectar intercambiadores y operación. El impacto se acentúa en olas de calor, cuando la demanda eléctrica puede ser alta y el margen térmico bajo.
Componentes ambientales y sectores afectados	Centrales e industria: restricciones operativas y aumento de costes. Masas de agua receptoras: riesgo de estrés térmico adicional si no se controla. Sistema eléctrico / productivo: menor disponibilidad en picos de demanda.
Amenazas climáticas asociadas	T1 (asociación: calentamiento atmosférico → aumento de temperatura del agua y menor margen térmico). H1 + H3 (caudales bajos / estiajes intensos → menor capacidad de disipación). P3 (sequías → restricciones operativas en estiaje).
Impactos asociados	ECS1 - *Causa / impulsor:* elevación de temperatura del agua. SW5 - *Concurrencia:* eutrofización que complica operación. AU3 - *Concurrencia:* problemas de calidad del agua fuente.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-1-2 - Condiciones térmicas (Thermal conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Elevación de temperaturas (TEMP - Elevated temperatures)

EI3. Daños en infraestructuras energéticas por eventos extremos

Riesgo	Riesgo de daños físicos y disrupciones en infraestructura energética (generación, transporte, distribución) por inundaciones, temporales e incendios, con cascadas sobre servicios esenciales y recuperación prolongada.
Descripción del impacto	Las inundaciones pueden afectar subestaciones, centros de transformación, galerías y accesos, provocando cortocircuitos, corrosión y fallos de suministro. Los temporales y tormentas incrementan caídas de líneas, daños por viento y deslizamientos, mientras que los incendios forestales amenazan tendidos y activos en interfaz urbano-forestal. Las olas de calor pueden reducir rendimiento de equipos y elevar incidencias en redes. La disrupción energética amplifica impactos en el ciclo urbano del agua y otros servicios críticos, generando un riesgo sistémico.
Componentes ambientales y sectores afectados	Infraestructura energética: daños, interrupciones y costes de reposición. Servicios esenciales (agua, salud, transporte): cascadas por falta de energía. Territorio: mayor exposición en zonas inundables o interfaz forestal.
Amenazas climáticas asociadas	P4 + H3 (daños por inundaciones / avenidas derivadas de extremos y picos). M2 + M1 (en costa): temporales y nivel medio del mar aumentan exposición / daño por inundación costera. T1 + P3 (si se menciona incendio como contexto del riesgo): base física de condiciones más cálidas y secas que favorecen episodios de peligro de incendio.
Impactos asociados	ECS10 - *Marco de riesgo compuesto:* daños por inundaciones. ECS13 - *Causa / impulsor:* incendios incrementan daños y disrupciones. AU5 - *Cascada:* cortes energéticos agravan la disrupción del ciclo urbano del agua.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-3 - Condiciones morfológicas: ríos (Morphological conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

EI4. Afectación de la producción industrial por escasez de agua

Riesgo	Riesgo de reducción de producción y competitividad industrial por escasez de agua y restricciones en sequía, con aumento de costes (reutilización, recirculación, cambios de fuente) y potencial relocalización de actividad.
Descripción del impacto	La industria dependiente de agua (procesos, limpieza, refrigeración) puede enfrentar restricciones en periodos de escasez, especialmente donde el abastecimiento industrial compite con usos prioritarios. La menor disponibilidad y la variabilidad interanual elevan incertidumbre operativa y necesidad de inversiones en eficiencia, recirculación, almacenamiento o fuentes alternativas. En algunos casos, la calidad del agua también se deteriora en estiaje, elevando costes de tratamiento. El impacto se materializa en pérdidas de producción, tensiones de suministro y efectos en empleo y cadena de valor.
Componentes ambientales y sectores afectados	Industria: restricciones, costes de adaptación y riesgo de paradas. Recursos hídricos: mayor presión en estiaje si no se reduce consumo neto. Economía regional: efectos indirectos sobre empleo y servicios.
Amenazas climáticas asociadas	H1 + H2 (menos disponibilidad superficial / subterránea). P3 + T2 (sequía + mayor demanda evaporativa). P1 / P2 (reducción o redistribución de precipitación que refuerza la escasez).
Impactos asociados	AU1 - *Concurrencia / competencia:* prioridad del abastecimiento condiciona a la industria. AG2 - *Concurrencia / competencia:* tensiones con regadío en sequía. GW3 - *Causa / impulsor:* limitación de alternativas subterráneas por estado.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

EI5. Impacto en la bioenergía y nuevos sistemas energéticos

Riesgo	Riesgo de limitación del despliegue y rendimiento de bioenergía y nuevos sistemas energéticos con dependencia de agua por reducción de recursos, aumento de evapotranspiración y sequías, con incertidumbre en planificación y operación.
Descripción del impacto	La menor disponibilidad hídrica puede limitar la productividad de biomasa y cultivos energéticos, aumentar necesidades de riego y reducir disponibilidad de materias primas. En paralelo, tecnologías emergentes con demanda de agua (p. ej., ciertos esquemas de producción de hidrógeno, refrigeración o procesos asociados) pueden ver condicionada su viabilidad en territorios tensionados. La variabilidad estacional e interanual incrementa la incertidumbre operativa y puede requerir almacenamiento, recirculación o cambios de localización. En suma, se eleva el coste de oportunidad del agua y la necesidad de integrar criterios de resiliencia hídrica en la transición energética.
Componentes ambientales y sectores afectados	Bioenergía / biomasa: productividad y disponibilidad de materia prima. Nuevos sistemas energéticos: viabilidad condicionada por agua (captación / uso / vertido). Recursos y planificación: competencia por agua en territorios con estrés hídrico.
Amenazas climáticas asociadas	P3 + H1 / H2 (escasez como condicionante estructural de nuevos usos). T2 (mayor demanda evaporativa; menor productividad de biomasa y mayor consumo de agua). P2 (mayor estacionalidad / tensión en momentos críticas).
Impactos asociados	EI4 - *Concurrencia:* competencia industrial por agua en escasez. ECS9 - *Marco sistémico:* sequía prolongada condiciona la transición energética.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

RE. Impactos en los usos recreativos y turismo vinculados al agua

RE1. Deterioro de la calidad de aguas de baño y recreo

Riesgo	Riesgo de pérdida de aptitud sanitaria y ambiental de aguas de baño / recreo por calentamiento, eutrofización y contaminación episódica en extremos, con cierres temporales y pérdida de valor recreativo.
Descripción del impacto	El calentamiento del agua y el aumento del tiempo de residencia incrementan el riesgo de blooms (incluidas cianobacterias) y reducen oxigenación, afectando transparencia y calidad percibida. En episodios de inundación, los desbordamientos y arrastres pueden elevar contaminación microbiológica, obligando a cierres. En sequía, el estancamiento y la concentración de contaminantes pueden agravar episodios de mala calidad. El impacto se expresa en restricciones al baño, pérdida de atractivo turístico y riesgos sanitarios.
Componentes ambientales y sectores afectados	Zonas de baño y recreo: cierres, deterioro ambiental y riesgos sanitarios. Economía local / turismo: pérdida de ingresos y reputación. Gestión municipal y sanitaria: vigilancia, comunicación y medidas correctoras.
Amenazas climáticas asociadas	T1 (asociación: calentamiento del agua; favorece blooms y pérdida de confort). H1 + P3 (menor dilución / estiajes → concentración y estancamiento). P4 (contaminación episódica tras extremos y desbordamientos).
Impactos asociados	SW5 - *Causa / impulsor:* eutrofización y blooms. SW2 - *Causa / impulsor:* mayor concentración por menor dilución. AU3 - *Concurrencia:* calidad del agua fuente y recreo se deterioran simultáneamente.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-3 - Contaminantes específicos (River Basin Specific Pollutants, RBSP) QE3-1-2 - Condiciones térmicas (Thermal conditions) QE3-1-3 - Condiciones de oxigenación (Oxygenation conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Contaminación microbiológica (MICR - Microbiological pollution)

RE2. Reducción de caudales y niveles en ríos y embalses

Riesgo	Riesgo de pérdida de funcionalidad recreativa y paisajística en ríos y embalses por descenso de caudales y niveles asociado a sequías y menor recurso, con limitaciones de actividades (navegación, pesca, baño, uso social).
Descripción del impacto	Los caudales bajos reducen lámina de agua y accesibilidad, incrementan exposición de orillas y degradan calidad percibida. En embalses, el descenso de niveles puede dejar inoperativas rampas e instalaciones y aumentar conflictos entre usos, mientras en ríos limita actividades dependientes de caudal (descensos de rafting / piragüismo, pérdida de pozas aptas). La recurrencia de estiajes severos y prolongados incrementa la frecuencia de temporadas con oferta recreativa limitada, afectando a economías locales y a la percepción social del estado del recurso.
Componentes ambientales y sectores afectados	Ríos / embalses: menor lámina y accesibilidad; cambios paisajísticos. Turismo y economía local: pérdida de oferta recreativa y estacionalidad. Gestión del agua: mayor conflictividad por prioridades de uso.
Amenazas climáticas asociadas	H1 + H3 (descenso de recursos y estacionalidad más desfavorable). P3 (sequía meteorológica como marco de persistencia del descenso).
Impactos asociados	SW1 - *Causa / impulsor:* intermitencia y caudales bajos. ECS9 - *Marco sistémico:* sequía prolongada amplifica pérdidas recreativas.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

RE3. Pérdida de atractivos naturales vinculados al agua (cascadas, lagunas…)

Riesgo	Riesgo de pérdida o estacionalización de atractivos naturales ligados al agua (cascadas, lagunas, surgencias) por reducción de aportes, intermitencia y sedimentación, con pérdida de servicios culturales y de biodiversidad asociada.
Descripción del impacto	La reducción de aportes y la mayor irregularidad hidrológica pueden hacer que elementos emblemáticos dependientes de caudal / nivel pasen a ser estacionales o desaparezcan en estiaje. En lagunas y humedales, el descenso de niveles incrementa la temporalidad y reduce calidad paisajística y ecológica. La sedimentación puede acelerar la colmatación y reducir la persistencia de láminas de agua. El efecto repercute en turismo de naturaleza, identidad territorial y conservación de hábitats asociados.
Componentes ambientales y sectores afectados	Humedales / lagunas / cascadas: pérdida de permanencia, accesibilidad y valor ecológico. Turismo de naturaleza: reducción de atractivo y estancias. Conservación: mayor presión sobre hábitats singulares.
Amenazas climáticas asociadas	H1 + H2 + H3 (menos aportes, manantiales más vulnerables y mayor intermitencia / estacionalidad). P3 (persistencia de periodos secos). P4 (degradación puntual por erosión / arrastres y cambios geomorfológicos tras extremos).
Impactos asociados	SW1 - *Causa / impulsor:* intermitencia reduce permanencia de atractivos. ECS8 - *Causa / impulsor:* sedimentación acelera colmatación y pérdida.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime) QE2-3 - Condiciones morfológicas: ríos (Morphological conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

RE4. Alteraciones en la temporada turística por clima extremo

Riesgo	Riesgo de alteración de la temporada y del patrón de demanda turística por olas de calor, sequías e inundaciones, con cambios en estacionalidad, presión sobre servicios y posibles pérdidas económicas.
Descripción del impacto	Las olas de calor pueden desplazar demanda desde el verano hacia estaciones intermedias y aumentar episodios de incomodidad / alertas, afectando ocupación y duración de estancias. Las sequías y restricciones de agua reducen calidad de servicios (zonas verdes, oferta recreativa) y pueden afectar imagen del destino. Las inundaciones y tormentas extremas generan cancelaciones y daños en infraestructuras turísticas. En conjunto, se modifica la estacionalidad y se incrementa la necesidad de adaptación del sector y de los servicios urbanos asociados.
Componentes ambientales y sectores afectados	Turismo y economía local: cambios de demanda, cancelaciones y pérdidas. Servicios urbanos: picos de demanda de agua / energía en olas de calor. Entorno natural: pérdida temporal de atractivos por extremos.
Amenazas climáticas asociadas	T1 (extremos térmicos / olas de calor → cambios de confort y estacionalidad). P3 + H1 (escasez y restricciones que deterioran oferta / servicios). P4 (episodios extremos con cancelaciones / daños). M2 (en destinos costeros expuestos): temporales como fuente de disrupción.
Impactos asociados	ECS7 - *Concurrencia:* episodios de mala calidad / patógenos afectan oferta recreativa. AU2 - *Cascada:* picos de demanda urbana en temporada cálida. RE2 - *Causa / impulsor:* bajos niveles / caudales reducen oferta turística vinculada al agua.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-1-2 - Condiciones térmicas (Thermal conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

AC. Impactos en la acuicultura y la pesca continental

AC1. Descenso del rendimiento de la acuicultura por condiciones adversas

Riesgo	Riesgo de descenso de rendimiento y aumento de mortalidad en acuicultura por aumento de temperatura del agua, menor oxígeno, blooms y extremos, con pérdidas económicas y cambios en idoneidad de emplazamientos / especies.
Descripción del impacto	El calentamiento del agua reduce márgenes térmicos para especies sensibles, eleva metabolismo y disminuye oxígeno disponible, incrementando estrés y mortalidad. En condiciones eutróficas, los blooms pueden causar hipoxia, toxinas y problemas de calidad, afectando crecimiento y seguridad del producto. Los extremos hidrometeorológicos pueden alterar calidad del agua y afectar infraestructuras de captación / descarga. El resultado exige ajustes de densidades, manejo, selección de especies y, en algunos casos, relocalización o inversiones en control ambiental.
Componentes ambientales y sectores afectados	Instalaciones acuícolas: estrés de organismos, pérdidas y costes de adaptación. Calidad del agua: temperatura, oxígeno y blooms como variables críticas. Economía local: pérdidas y cambios de empleo / actividad.
Amenazas climáticas asociadas	T1 (asociación: aumento de temperatura del agua; estrés y mortalidad). H1 + H3 (estiajes / menor renovación → menor oxígeno y peor calidad). P3 (sequía refuerza estancamiento y vulnerabilidad operativa). P4 (alteraciones súbitas por extremos y arrastres, si la instalación depende de captación superficial).
Impactos asociados	ECS1 - *Causa / impulsor:* elevación térmica del agua. SW5 - *Causa / impulsor:* eutrofización y blooms. AU3 - *Concurrencia:* deterioro de calidad del agua fuente.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-1-2 - Condiciones térmicas (Thermal conditions) QE3-1-3 - Condiciones de oxigenación (Oxygenation conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Elevación de temperaturas (TEMP - Elevated temperatures)

AC2. Intrusión salina y cambios en estuarios que afectan cultivos marinos

Riesgo	Riesgo de cambios de salinidad y dinámica estuarina que afectan cultivos marinos por ascenso del nivel del mar, temporales y menor aporte fluvial, con impactos en productividad, calidad y estabilidad de los bancos.
Descripción del impacto	El ascenso del nivel del mar y los temporales modifican la cuña salina y la hidrodinámica estuarina, pudiendo aumentar salinidad media o su variabilidad, afectar turbidez y sedimentación, y alterar disponibilidad de nutrientes. La reducción de caudales fluviales en estiaje disminuye el aporte dulce y puede incrementar la penetración salina y la estabilidad de la estratificación. Estos cambios afectan fisiología, crecimiento y supervivencia de especies cultivadas, y pueden favorecer episodios de mala calidad del agua o proliferaciones. El impacto exige adaptación de prácticas, selección de zonas, calendarios y vigilancia ambiental.
Componentes ambientales y sectores afectados	Estuarios y zonas intermareales: cambios de salinidad, sedimento y calidad. Cultivos marinos: productividad, mortalidad y variabilidad interanual. Economía costera: pérdida de producción y necesidad de reubicación / adaptación.
Amenazas climáticas asociadas	M1 + M2 (nivel del mar y temporales → cambios hidrodinámicos e inundación / salinidad). H1 + H3 (menor aporte fluvial y estacionalidad alterada → mayor penetración salina). P3 (sequías prolongadas intensifican la cuña salina).
Impactos asociados	GW1 - *Concurrencia:* intrusión salina en acuíferos costeros y salinidad en transición. ECS11 - *Marco de riesgo compuesto:* temporales e inundación costera. ECS12 - *Concurrencia:* drenaje deficiente / elevación freática en llanuras litorales.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-1-4 - Condiciones de salinidad (Salinity conditions) QE2-1 - Régimen hidrológico: ríos (Hydrological or tidal regime)
Tipo de impacto (DMA)	Contaminación salina / intrusión (SALI - Saline pollution / intrusion) Alteración de la dirección de flujo subterráneo con resultado de intrusión salina (INTR - Alterations in flow directions resulting in saltwater intrusion)

AC3. Cambios en las poblaciones de peces continentales

Riesgo	Riesgo de cambios en distribución, abundancia y estructura poblacional de peces continentales por calentamiento del agua, intermitencia y pérdida de hábitat, con efectos en biodiversidad, pesca recreativa y conservación (incluida conectividad y diversidad genética).
Descripción del impacto	El aumento de temperatura desplaza rangos térmicos y puede provocar sustitución de especies frías por tolerantes, alterando comunidades y redes tróficas. La intermitencia y caudales bajos reducen refugios y conectividad, afectando reproducción y migraciones, y aumentando mortalidad en estiaje. La fragmentación y el aislamiento de poblaciones pequeñas incrementan la vulnerabilidad y pueden reducir diversidad genética, disminuyendo capacidad adaptativa. El resultado se manifiesta en cambios persistentes de poblaciones, pérdida de especies sensibles y modificación de servicios asociados (pesca recreativa y valores de conservación).
Componentes ambientales y sectores afectados	Peces continentales y hábitats: estrés térmico, pérdida de conectividad y refugios. Conservación / pesca recreativa: cambios en especies objetivo y medidas de gestión. Estado ecológico de masas: componente biológico clave.
Amenazas climáticas asociadas	T1 (asociación: calentamiento del agua → cambios de distribución / migración). H1 + H3 + P3 (pérdida de hábitat en estiaje, intermitencia funcional y episodios secos más severos). N1 (si aplica): modificación del pulso pluvio-nival y de señales fenológicas.
Impactos asociados	ECS1 - *Causa / impulsor:* elevación térmica del agua. SW1 - *Causa / impulsor:* intermitencia reduce hábitat y conectividad. ECS3 - *Causa / impulsor:* alteración de comunidades biológicas.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE1-4 - Fauna ictiológica (Fish)
Tipo de impacto (DMA)	Elevación de temperaturas (TEMP - Elevated temperatures)

AC4. Nuevas enfermedades y parásitos en sistemas de cría

Riesgo	Riesgo de aparición / expansión de enfermedades y parásitos en sistemas de cría acuícola por calentamiento, cambios de calidad del agua y estrés, con pérdidas productivas y riesgos de bioseguridad.
Descripción del impacto	El calentamiento y la menor oxigenación aumentan estrés y susceptibilidad, y pueden favorecer ciclos de patógenos y parásitos (mayor replicación y persistencia). Los blooms y la degradación episódica de calidad del agua pueden actuar como desencadenantes o amplificadores de brotes. En eventos extremos, las disrupciones operativas y el deterioro de agua fuente incrementan vulnerabilidades de bioseguridad. El impacto exige reforzar vigilancia, protocolos sanitarios, gestión de densidades y, en su caso, adaptación de especies y emplazamientos.
Componentes ambientales y sectores afectados	Acuicultura: pérdidas productivas y aumento de costes sanitarios. Calidad del agua: variable crítica (temperatura, oxígeno, contaminantes). Salud pública (indirecto): gestión de riesgos en cadena alimentaria y usos compartidos.
Amenazas climáticas asociadas	T1 (asociación: mayor temperatura del agua → favorece patógenos y estrés). H1 + P3 (menor renovación / dilución en sequía → condiciones de brote más probables). P4 (si aplica): episodios extremos como disparadores por cambios bruscos en calidad del agua.
Impactos asociados	AC1 - *Causa / impulsor:* condiciones adversas en acuicultura favorecen brotes. AU6 - *Cascada (indirecta):* dimensión sanitaria y de gestión del riesgo.
Elementos de calidad afectados (DMA)	QE3-1-2 - Condiciones térmicas (Thermal conditions)
Tipo de impacto (DMA)	Otros impactos significativos (OTHE - Other significant impact type)

Anejo 5. Selección de riesgos - clave

Criterios de evaluación y escalas cualitativas

Nivel de propagación / Efecto sistémico

Este criterio valora **la capacidad del impacto de detonar efectos en cascada** o propagarse a otros sistemas, sectores o territorios. Un impacto con alto efecto sistémico puede amplificar riesgos en red si no se gestiona de forma coordinada. Prioridad a los impactos que detonan otros impactos, es decir, aquellos situados en posiciones altas de las cadenas de impacto (nodos que, al activarse, generan múltiples consecuencias en cascada). Se busca resaltar los impactos compuestos o en cascada cuya ocurrencia amplifica el riesgo general al desencadenar problemas adicionales en diversos sectores, en línea con el concepto de *risk accelerators* del IPCC AR6.

- **Alta.** El impacto genera *fuertes efectos en cascada* o sinérgicos, afectando a múltiples sectores (ej. un impacto en agua que a su vez detona riesgos en energía, agricultura, salud, etc.). Puede comprometer funciones críticas en cadena.
- **Media-alta.** El impacto produce *algunos efectos secundarios relevantes* en otros sistemas o sectores, aunque no de forma tan generalizada como en el nivel alto.
- **Media.** El impacto *se limita mayormente a su sector o área*, con efectos indirectos moderados en pocos otros ámbitos.
- **Media-baja.** El impacto presenta *poca propagación* fuera de su ámbito específico; los efectos en cascada son marginales o muy locales.
- **Baja.** El impacto es *aislado* y no induce prácticamente efectos sistémicos en otros sectores.
- **Incierta.** No se dispone de información suficiente sobre posibles efectos en cascada, o existe *alto desacuerdo* sobre la propagación del impacto.

Severidad / Magnitud

Este criterio valora el **grado de daño potencial o consecuencias** que podría acarrear el impacto en caso de materializarse, incluyendo la intensidad y la irreversibilidad de sus efectoshttps://climatica.coop/espana-afronta-141-riesgos-climaticos/. Grado de daño potencial asociado al impacto, incluyendo pérdidas económicas, sociales o ambientales, así como su carácter potencialmente irreversible o de larga duración. Este criterio estima la gravedad intrínseca del impacto: cuánto afecta la viabilidad de los ecosistemas o la salud y bienestar humanos, si provoca daños permanentes o recuperables …

- **Alta.** Implica *daños muy graves o catastróficos*, pérdidas económicas y humanas significativas o efectos ecológicos irreversibles. Son impactos de gran magnitud que amenazan seriamente sistemas socioeconómicos o ecológicos.
- **Media-alta.** *Daños notables* en recursos, ecosistemas o sectores económicos clave, aunque potencialmente recuperables a largo plazo. Podrían requerir esfuerzos considerables de adaptación.
- **Media.** *Daños moderados*, manejables con medidas conocidas; las consecuencias, aunque importantes, no ponen en colapso los sistemas afectados.
- **Media-baja.** *Daños menores*, localizados o acotados en magnitud; generalmente no ponen en riesgo la funcionalidad esencial del sistema afectado.
- **Baja.** Impacto de *escasa magnitud*, con efectos leves o triviales fácilmente asimilables; no se esperan daños significativos.
- **Incierta.** No se conoce bien el posible *alcance del daño*; incertidumbre alta sobre la magnitud (por falta de estudios o variabilidad de escenarios).

Probabilidad futura (Peligrosidad climática)

Valora la **probabilidad esperada de que ocurra el impacto** dadas las proyecciones de cambio climático, es decir, cómo de seguro es que el fenómeno climático causal se intensifique o se materialice. Aumento esperado de la peligrosidad climática que desencadena el impacto, según las proyecciones disponibles, y el nivel de confianza científica asociado. Este criterio refleja la componente de amenaza (hazard) en términos del IPCC: se evalúa la tendencia esperada del fenómeno climático causante (sequía, inundación, temperatura, nivel del mar…) - incluyendo cuán probable es su intensificación en escenarios a 2050 - y el grado de certeza en esas proyecciones (alto, medio o bajo, según consenso científico).

- **Alta.** *Muy probable* según escenarios climáticos. Hay alta confianza científica de que el peligro climático asociado aumentará o ya está aumentando (p. ej., incremento proyectado de sequías o eventos extremos con alta certidumbre).
- **Media-alta.** *Probable* en la mayoría de escenarios, los escenarios alguna variabilidad. Evidencia suficiente de tendencia al alza del peligro, si bien podrían existir escenarios atenuantes.
- **Media.** *Probabilidad media*; los modelos proyectan cambios de cierta entidad, pero con incertidumbre significativa (p. ej., aumentos moderados o con dispersión entre escenarios).
- **Media-baja.** *Poco probable* o con tendencia débil. Los cambios proyectados en el clima asociado al impacto son leves o inciertos, sugiriendo una probabilidad relativamente baja.
- **Baja.** *Muy improbable* en las condiciones esperadas. No se anticipan incrementos significativos del peligro climático (o incluso se proyecta disminución); escasa probabilidad de que ocurra el impacto por causas climáticas.
- **Incierta.** La *evidencia es contradictoria o insuficiente*. No se puede estimar con confianza la evolución futura del peligro climático relevante.

Extensión y exposición

Considera **la extensión geográfica, poblacional y sectorial potencialmente afectada** por el impacto. Alcance geográfico, poblacional y sectorial del impacto. Se consideran impactos de amplia extensión (afectan a muchas cuencas, regiones o a un gran número de personas y sectores) frente a impactos muy localizados o sectoriales. Este criterio captura la dimensión de exposición: a mayor cantidad de elementos expuestos (población, infraestructuras, ecosistemas) en distintas zonas, más prioritario es el riesgo.

- **Alta.** Impacto de *alcance muy amplio*, posiblemente a escala nacional o en muchas cuencas/regiones. Afectaría a un gran porcentaje de la población y sectores en múltiples zonas.
- **Media-alta.** Afectación *regional o multisectorial notable*, cubriendo varias provincias o cuencas importantes, o población considerable pero no mayoritaria.
- **Media.** Impacto *limitado a ciertas áreas o sectores específicos*. Cobertura geográfica moderada (p.ej., una cuenca hidrográfica grande) o población afectada relativamente reducida en proporción nacional.
- **Media-baja.** Extensión *local o sectorial acotada*; solo unas pocas zonas concretas o comunidades específicas estarían expuestas significativamente.
- **Baja.** Impacto *muy localizado*, circunscrito a áreas puntuales. La población y territorio expuestos son mínimos.
- **Incierta.** Hay *dudas sobre la extensión*; falta información para determinar cuán extendido podría estar el impacto (p. ej., impactos emergentes o indirectos difíciles de mapear).

Vulnerabilidad actual

Mide **el grado en que los sistemas afectados son actualmente sensibles o carecen de capacidad adaptativa** frente al impacto. Se evalúa considerando condiciones presentes (uso del agua, estado de ecosistemas, nivel de sobreexplotación, resiliencia social). Grado en que los sistemas naturales o humanos actualmente pueden gestionar o absorber el impacto sin graves perjuicios. Un impacto frente al cual la capacidad adaptativa existente es baja (por ejemplo, porque las medidas actuales son insuficientes o la sensibilidad del sistema es extremadamente alta) se vuelve más crítico. Aquí se incluyen consideraciones como irreversibilidades, costos de adaptación disponibles, dependencia de tecnologías no desarrolladas, etc. En términos IPCC, combina la vulnerabilidad intrínseca (sensibilidad, umbrales de daño) con la capacidad adaptativa presente.

- **Alta.** El sistema o sector es *muy vulnerable actualmente*. existe estrés hídrico, degradación ecosistémica o escasa capacidad de respuesta. Pequeños cambios climáticos ya causan grandes impactos (situación al límite).
- **Media-alta.** *Vulnerabilidad notable*; existen factores de fragilidad (infraestructuras insuficientes, gestión deficiente, presiones antrópicas) que agravan la sensibilidad, aunque con cierto margen de adaptación.
- **Media.** *Vulnerabilidad moderada*; el sistema tiene algunas debilidades, pero también ciertas capacidades de adaptación o redundancias que mitigan los efectos.
- **Media-baja.** *Baja vulnerabilidad actual*; el sistema está relativamente bien gestionado o protegido, con buena capacidad adaptativa instalada, por lo que no es altamente sensible en las condiciones presentes.
- **Baja.** El sistema es *resiliente actualmente*; cuenta con amplias medidas de gestión, recursos o características intrínsecas que lo hacen poco susceptible al impacto en la actualidad.
- **Incierta.** *Desconocimiento o variabilidad* en la vulnerabilidad. No hay datos suficientes o la vulnerabilidad difiere mucho entre sub-regiones, impidiendo una valoración clara.

Urgencia temporal

Refleja **el horizonte temporal de manifestación del impacto y la necesidad de actuar**. Atiende a si el impacto ya ocurre o cuándo se espera que ocurra sin medidas adaptativas. Horizonte temporal de manifestación del impacto en su nivel preocupante. Se priorizan impactos ya observables o muy probables en el corto-medio plazo (presente - 2030) sobre aquellos cuya manifestación severa se espera hacia final de siglo. La inmediatez requiere actuación más urgente. Este criterio atiende al principio de precaución temporal: riesgos inminentes merecen mayor atención inmediata.

- **Alta.** Impacto *ya observable o inminente en el corto plazo*. Los efectos se están manifestando actualmente o lo harán en años próximos, requiriendo acción urgente.
- **Media-alta.** Impacto anticipado en el *medio plazo* (próximas décadas hasta ~2040), con señales precursoras; se debe planificar su adaptación en el presente ciclo de planificación.
- **Media.** Impacto a *plazo medio-largo* (horizonte 2050 aprox.); aunque no inmediato, es relevante considerar medidas progresivas.
- **Media-baja.** Impacto previsto a *largo plazo* (segunda mitad de siglo), con cierta incertidumbre en fechas; la urgencia es limitada en el contexto actual.
- **Baja.** Impacto *muy lejano o hipotético*, podría materializarse hacia final de siglo o más adelante; no constituye una prioridad temporal en este momento.
- **Incierta.** *Difícil de determinar* el momento de manifestación; puede depender de umbrales críticos o de escenarios extremos, sin consenso claro sobre la temporalidad.

Importancia estratégica

Valora la relevancia del impacto en relación con servicios esenciales, prioridades socioeconómicas o ambientales y objetivos estratégicos de planificación[4]. Un impacto estratégicamente importante afecta a recursos críticos (ej. agua potable, energía, salud pública, biodiversidad emblemática). Relación del impacto con servicios esenciales y con las prioridades nacionales definidas en estrategias como el PNACC. Se valoran especialmente los impactos que afectan al suministro de agua de consumo humano, la seguridad alimentaria, la protección civil (seguridad de las personas), así como su alineamiento con los ámbitos sectoriales prioritarios del PNACC (gestión del agua, salud, biodiversidad, zonas costeras, agricultura, energía, reducción del riesgo de desastres, etc.). También se considera aquí si el impacto atenta contra compromisos legales (p. ej., buen estado de las aguas, objetivos de directivas europeas).

- **Alta.** Impacto sobre *sectores o bienes estratégicos nacionales*. Compromete servicios básicos (abastecimiento urbano, seguridad hídrica, alimentaria o energética) o recursos de alto valor ecológico/cultural, con implicaciones mayores de política pública.
- **Media-alta.** Impacto relevante para *objetivos sectoriales o regionales clave*, aunque quizá no a nivel nacional. Podría afectar significativamente economías locales importantes o ecosistemas protegidos.
- **Media.** Impacto de *interés medio* en términos estratégicos. Aun siendo significativo, sus consecuencias se circunscriben a ámbitos menos críticos o pueden manejarse en la gestión sectorial ordinaria.
- **Media-baja.** Impacto con *poca importancia estratégica general*. Afecta a aspectos secundarios o prescindibles sin comprometer metas esenciales de planificación hidrológica o desarrollo.
- **Baja.** Impacto *nada estratégico*; su ocurrencia no trasciende más allá del ámbito local o de nicho, sin relevancia para políticas amplias.
- **Incierta.** *Desconocida la relevancia* estratégica. Puede tratarse de un impacto emergente o poco estudiado, cuyo alcance en términos de prioridades nacionales no está claro.

Valoración cualitativa de impactos por criterio

Se presenta una matriz resumen con **51 impactos climáticos identificados** en el ámbito del agua y su evaluación cualitativa según los siete criterios anteriores. Cada celda indica la valoración cualitativa (en **negrita**) y una breve justificación con referencia a fuentes relevantes. Los impactos se han organizado por categorías temáticas para mayor claridad.

Calidad de aguas superficiales (ríos, lagos y embalses)

La calidad de las aguas superficiales españolas se ve fuertemente afectada por el clima, agravando las presiones existentes. En periodos de caudal bajo, la capacidad de dilución disminuye y aumentan las concentraciones de contaminantes (nutrientes, sales, patógenos)https://www.funcas.es/articulos/impactos-del-cambio-climatico-en-espana/. Esto ya se ha observado en sequías recientes: por ejemplo, proliferaciones de algas tóxicas y altos nitratos en ríos y embalses durante 2017 y 2019 obligaron a extremar tratamientos potables.

Con menor aporte hídrico futuro, es *muy probable* que estos episodios sean más frecuentes y extendidos. Asimismo, el calentamiento del agua favorece la eutrofización: se han proyectado más casos de anoxia en embalses y floraciones algales intensas con el aumento de temperaturas. Las lluvias torrenciales, por otro lado, arrastran sedimentos y contaminantes difusos: estudios indican que eventos extremos aportan energía eólica e hídrica que erosionan cuencas y degradan la calidad del agua disponible. Todos estos factores combinados dificultan alcanzar el buen estado ecológico exigido por la Directiva Marco del Agua, especialmente en cuencas ya muy afectadas por actividades humanas. Por ello se valoran en nivel *alto* tanto la severidad (por el impacto ecológico y en usos humanos) como la probabilidad (escenarios robustos de cambio climático señalan estas tendencias) y la importancia estratégica de mantener la calidad del agua para la salud de ecosistemas y población.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
SW1	**Aumento de la intermitencia de ríos y arroyos** (tramos que antes llevaban agua todo el año ahora se secan estacionalmente)	**Media** – La pérdida de caudal en tramos fluviales afecta a ecosistemas locales, pudiendo dejar sin hábitat a especies acuáticas y reduciendo conectividad hídrica, con efectos principalmente ecológicos.	**Media-alta** – La desaparición estacional de flujos causa mortalidad de fauna acuática y degradación de humedales; impactos negativos importantes en la biodiversidad de aguas dulces.	**Alta** – Muy probable. El aumento de sequías y temperatura está incrementando la aridez, volviendo intermitentes ríos antes perennes (tendencia ya observada en cuencas mediterráneas)	**Media-alta** – Afectará sobre todo a cuencas del sur y este (ríos mediterráneos, subcuencas pequeñas), donde muchos cursos pueden secarse en estiaje prolongado; en regiones húmedas el fenómeno será más puntual.	**Alta** – Muchas corrientes ya tenían caudal muy justo en verano; la sobre extracción y regulación agravan la falta de caudal en estiaje, dejando a los ecosistemas fluviales altamente vulnerables al incremento de sequía.	**Alta** – Ya se están documentando ríos con estiajes extremos en los últimos años. La tendencia apunta a agravarse en el corto plazo, requiriendo acciones inmediatas (caudales ecológicos, etc.).	**Media-alta** – Si bien desde el punto de vista ecosistémico es crítico (afecta buen estado de masas de agua), estratégicamente impacta sobre todo a la biodiversidad y algunos usos locales (menor relevancia socioeconómica que otros impactos hídricos).

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
SW2	**Aumento de la concentración de contaminantes por menor dilución** (calidad química empeorada en caudales reducidos)	**Media** – La mala calidad del agua por contaminantes afecta al suministro urbano (requiere más tratamiento) y riego, pudiendo generar problemas de salud pública y ecosistémicos, aunque típicamente no escala más allá del sector agua/salud.	**Media-alta** – En periodos secos se elevan mucho las concentraciones de nitratos, sales, patógenos, etc., llegando a inutilizar fuentes de agua para consumo o riego; riesgos considerables para ecosistemas acuáticos (toxicidad, eutrofización).	**Alta** – Muy probable. Menos caudal y más evaporación conllevan casi con certeza mayores concentraciones de contaminantes en ríos y lagos (observado ya en sequías recientes).	**Media-alta** – Regiones agrícolas intensivas (zona mediterránea, valle del Guadalquivir, etc.) con escasos caudales veraniegos verán mayores concentraciones; cuencas con más caudal mantienen mejor dilución.	**Alta** – Muchas masas ya incumplen normas de calidad por nitratos o otros contaminantes difusos en régimen actual; con menos agua disponible, esa vulnerabilidad se agrava.	**Media-alta** – Los efectos se notan en cada sequía estival (algas, concentraciones elevadas); a corto plazo se requieren medidas porque la calidad ya falla en algunas cuencas.	**Alta** – La calidad del agua es estratégica para la Directiva Marco del Agua y para usos de abastecimiento; su deterioro supone riesgo para la salud humana y los objetivos ambientales
SW3	**Alteraciones de parámetros fisicoquímicos (pH, salinidad)** (cambios en la química básica del agua por cambio climático)	**Media-baja** – Cambios de pH o salinidad afectan principalmente al ecosistema acuático (ej. especies sensibles), con poca propagación a otros sistemas salvo en usos específicos (industria, potabilización) si los parámetros salen de rango.	**Media** – Un *pH* más ácido en aguas dulces o más salinidad en lagunas endorreicas puede estresar fauna/flora acuática y reducir la calidad para ciertos usos, pero generalmente el daño es limitado a casos puntuales.	**Media** – Posible bajo ciertos escenarios locales (p.ej. acidificación de aguas por menos aporte alcalino, salinización de humedales costeros por intrusión marina); pero la evidencia es moderada y variable según la zona.	**Media** – Probable especialmente en humedales costeros y masas aisladas propensas a evaporación (sureste semiárido). No es extensivo a todas las aguas superficiales.	**Media-alta** – Sistemas ya al límite (lagunas salobres, ríos de cabeceras con poco tampón) son vulnerables; otros cuerpos de agua tienen mayor capacidad de buffer químico y resistirían cambios moderados.	**Media** – Son cambios graduales; no constituyen una urgencia inmediata salvo en ecosistemas muy sensibles, aunque deben monitorearse tendencias.	**Media** – Importancia moderada: relevante para conservar ecosistemas particulares y para calidad industrial, pero no es de los problemas más críticos a nivel general de gestión del agua.
SW4	**Incremento de turbidez y sólidos en suspensión** (aguas más turbias por erosión e inundaciones)	**Media** – La alta turbidez por crecidas o incendios repercute en potabilización (necesidad de tratamiento) y en hábitats acuáticos, pero sus efectos no suelen trascender fuera del ámbito del agua y medio ambiente.	**Media-alta** – Las riadas torrenciales aportan sedimentos que enturbian el agua, dañan la biota (p. ej. ahogan frezas de peces) y colmatan embalses, reduciendo su capacidad útil. Daños notables a infraestructuras hidráulicas por deposición de fangos.	**Alta** – Muy probable. Con el aumento de episodios de lluvias extremas e incendios forestales, se espera más erosión y arrastre de sedimentos a cauces.	**Media-alta** – Las cuencas mediterráneas de relieve pronunciado (Pirineos, Sistema Bético) y suelos erosionables son muy propensas; cuencas llanas o mesetarias menos.	**Media-alta** – Muchas cuencas ya están erosionadas (después de incendios, prácticas agrícolas) y son muy sensibles a eventos de lluvia intensa que movilizan sedimentos en gran cantidad.	**Media-alta** – Ya se observan impactos (embalses medio colmatados en zonas críticas). Con las tormentas recientes, la turbidez ha causado cierres de abastecimiento temporalmente; requiere atención en próximos años.	**Media-alta** – Es importante para la gestión de embalses (almacenamiento) y tratamientos de agua, aunque quizá menos visible para el público que la escasez de agua; sin embargo, afecta a la seguridad de infraestructuras y costes de mantenimiento.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
SW5	**Eutrofización de masas de agua lénticas** (crecimiento excesivo de algas por calor y nutrientes, deteriorando la calidad)	**Media** – Las proliferaciones algales pueden generar toxinas y malos olores, afectando usos recreativos y potabilización, con impactos en salud y turismo locales, pero sin fuertes efectos en otros sectores no vinculados al agua.	**Alta** – La eutrofización puede provocar *anoxia* en embalses y lagos, mortandad de peces masiva y pérdida de biodiversidad acuática; además compromete gravemente la calidad del agua de abastecimiento (toxinas, sabor).	**Alta** – Muy probable. El aumento de temperatura del agua y la menor dilución en estiaje promueven más floraciones algales y *blooms* de cianobacterias en embalses (ya observados en veranos cálidos).	**Media-alta** – Se concentra en masas lénticas eutróficas o con alta carga de nutrientes (embalses de riego, lagos poco profundos en cuencas agrícolas). Muchas de estas masas en España (Centro, Sur) están en riesgo.	**Alta** – Actualmente varios embalses presentan episodios de eutrofización estival (por nutrientes de origen agrícola); la capacidad de respuesta es baja (difícil remover nutrientes una vez en el agua).	**Alta** – Es un problema *ya presente* en algunos lugares cada verano y empeorará con climas más cálidos; urge implementar medidas (control de nutrientes, aireación) para evitar pérdidas de uso de esas aguas.	**Alta** – Tiene alta relevancia estratégica: afecta el cumplimiento de objetivos ambientales (DMA) y supone riesgo para abastecimiento urbano si proliferan toxinas; también daña turismo de baños y pesca recreativa.
SW6	**Contaminación difusa provocada por inundaciones** (arrastre de fertilizantes, residuos, aguas residuales en episodios de crecida)	**Media** – Las inundaciones esparcen contaminantes en zonas amplias (ej. campos agrícolas, áreas urbanas), pudiendo afectar suelos, aguas y salud local, pero estos efectos tienden a ser temporales y contenidos geográficamente en la zona inundada.	**Media** – En riadas fuertes se vierten grandes cantidades de lodos, patógenos (por desbordes de alcantarillado) y químicos a ríos y acuíferos. Puede provocar picos de contaminación serios que inutilicen fuentes de agua potable en el corto plazo.	**Media-alta** – Cada vez más probable dado el aumento de lluvias torrencia-leshttps://climatica.coop/espana-afronta-141-riesgos-climaticos/. Inundaciones recientes han arrastrado purines, basura y otros contaminantes a ríos (ej. Dana 2019, 2023).	**Media** – Localizada donde ocurren inundaciones: cuencas mediterráneas y tramos bajos de ríos. La contaminación difusa por crecida afecta puntualmente a esas áreas inundadas, no a todo el país simultáneamente.	**Media** – Zonas con muchas fuentes contaminantes (agroindustrias, ciudades) cercanas al cauce son muy vulnerables. Sistemas con separación de pluviales o protección de residuos tienen menor vulnerabilidad.	**Media-alta** – Dado que las lluvias extremas ya están ocurriendo (ej. 2018, 2023) y ocasionando vertidos, es necesario actuar pronto mejorando la gestión de riesgos (planes de emergencia, depuradoras resilientes).	**Media** – Estratégicamente es importante en cuanto a salud pública local y calidad ambiental, pero suele ser de impacto acotado en el tiempo y espacio (tras la riada se diluye/depura). Importante integrar su riesgo en planes de inundación.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
SW7	**Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales (DMA)** (dificultad para alcanzar/mantener buen estado ecológico/químico debido al cambio climático)	**Alta** – Integra muchos de los anteriores: la combinación de caudales reducidos, más contaminantes, más temperatura, etc., puede desencadenar una degradación generalizada de ecosistemas acuáticos, con consecuencias en cadena (pérdida de servicios ecosistémicos, mayor tratamiento de agua, etc.).	**Alta** – Implica que ríos y humedales pierden calidad ecológica (menos biodiversidad, más especies tolerantes) y química (más contaminantes), un daño ambiental significativo y persistente. Puede requerir medidas costosas para recuperar los ecosistemas afectados.	**Alta** – Muy probable. Las proyecciones apuntan a que los **peligros climáticos acentuarán** las presiones existentes, dificultando alcanzar el buen estado en muchas masas. Ya se observan retrocesos atribuidos a sequías y eventos extremos.	**Alta** – Potencialmente en todo el territorio, especialmente cuencas con fuerte estrés hídrico (Guadalquivir, Segura, Júcar) donde será más difícil mantener caudales y calidad adecuados.	**Alta** – La mayoría de masas que ya están en estado moderado o peor son altamente vulnerables, pues el cambio climático añadirá presión sobre sistemas ya degradados.	**Alta** – Es un problema vigente: los planes hidrológicos ya reconocen el impacto del clima en objetivos ambientales. Se requiere actuar ya para evitar el deterioro en el presente ciclo (2022-2027) y siguientes.	**Alta** – Mantener el buen estado de las aguas es un mandato legal y base de la gestión del agua. Su deterioro amenaza la seguridad ecológica y conlleva sanciones o ajustes de usos; por ello es de máxima prioridad estratégica.

Aguas subterráneas (cantidad y calidad)

El cambio climático ejerce una *doble presión* sobre las aguas subterráneas: por un lado, reduce la recarga por lluvias (y nieve) y aumenta la extracción por necesidades en sequía; por otro lado, empeora su calidad al concentrar contaminantes y favorecer intrusiones salinas. Estudios recientes destacan que en España la menor precipitación y mayor evapotranspiración resultarán en recargas decrecientes y aportes hídricos subterráneos reducidos a los ríos. Esto, junto a la subida del nivel del mar, produce *alteraciones en la fase subterránea del ciclo hidrológico, como salinización y concentración de contaminantes*. De hecho, la salinización de acuíferos costeros se considera un riesgo de *baja reversibilidad*, ya observado en el litoral (ej. salinización en delta del Ebro, acuíferos de Mallorca).

Además, muchos acuíferos agrícolas ya tienen elevadas cargas de nitratos; con menos agua de recarga, dichas concentraciones aumentarán, dificultando aún más alcanzar los objetivos de calidad. En suma, se espera un empeoramiento general del estado de las masas subterráneas, especialmente en cuencas mediterráneas estratégicas para el regadío y abastecimiento. Este panorama justifica valoraciones altas en todos los criterios: es altamente probable y severo, con gran extensión (afectando a numerosos acuíferos en varias regiones), muy urgente (ya se manifiesta) y de importancia estratégica debido al papel de las aguas subterráneas como *colchón en sequías y soporte de ecosistemas*.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
GW1	**Intrusión salina en acuíferos costeros** (entrada de agua de mar en acuíferos por subida del mar y menor recarga dulce)	**Media** – La salinización de acuíferos costeros afecta al abastecimiento local y agricultura de regadío (que pierden agua dulce), impactando economías costeras; no suele propagarse más allá de la zona afectada, pero puede obligar a transferir agua de otras fuentes.	**Alta** – Es *irreversible* a escala humana: un acuífero salinizado puede quedar inutilizable durante siglos. Amenaza recursos hídricos de zonas costeras densamente pobladas y cultivos de alto valor.	**Alta** – Muy probable. El nivel del mar en España podría subir ~50-60 cm para 2100https://climatica.coop/espana-afronta-141-riesgos-climaticos/, infiltrándose tierra adentro; ya se observa salinización en diversos acuíferos litorales.	**Media-alta** – Afecta acuíferos costeros de baja altitud y gran explotación (Litorales mediterráneos, Doñana, Canarias). Estas zonas comprenden buena parte de la franja costera española.	**Alta** – Muchos acuíferos costeros ya están sobreexplotados por demanda turística/agrícola, con intrusión incipiente; su capacidad de resistir el embate salino es muy baja actualmente.	**Alta** – Es urgente: la intrusión está ocurriendo (ej. acuífero del Llobregat, Almería) y empeorará sin medidas inmediatas de control y recarga.	**Alta** – El agua subterránea costera abastece a millones de personas y agronegocios; su pérdida compromete la resiliencia hídrica en regiones estratégicas (turismo, polos urbanos).

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
GW2	**Merma de calidad química de las aguas subterráneas** (por concentración de contaminantes: nitratos, pesticidas, etc., debido a menor recarga y eventos extremos)	**Media** – La contaminación de acuíferos afecta al suministro (agua no apta para beber) y a los ecosistemas que dependen de manantiales; puede obligar a buscar fuentes alternativas, con cierto efecto en cadena (costes mayores de agua).	**Media-alta** – Concentraciones elevadas de nitratos, sulfatos u otros contaminantes en acuíferos reducen su disponibilidad utilizable y pueden tardar décadas en revertirse. Riesgos para la salud si se consumen, y pérdida de ecosistemas asociados (manantiales contaminados).	**Alta** – Muy probable. Menos lluvia implica menor dilución de contaminantes existentes en el suelo, aumentando su concentración en las recargas que sí ocurren. Además, inundaciones pueden infiltrar episodios de contaminación puntual en acuíferos.	**Media-alta** – Especialmente en acuíferos agrícolas (Castilla-León, cuenca del Guadalquivir, Levante) ya con problemas de nitratos; su extensión es amplia en zonas de cultivo intensivo.	**Alta** – La mayoría de las masas subterráneas en zonas agrícolas ya presentan alta vulnerabilidad (muchas están declaradas en mal estado químico por nitratos hoy); cualquier reducción de recarga empeora la situación.	**Alta** – Ya es un problema actual (ej. pozos cerrados por nitratos en muchas comunidades). Con el cambio climático se agravará pronto, así que urge fortalecer control de vertidos y protección de recargas.	**Alta** – La calidad de las aguas subterráneas es crítica para abastecimiento rural y urbano (30% del suministro nacional) y para cumplir objetivos ambientales; su deterioro tiene alta prioridad de gestión.
GW3	**Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA)** (dificultad para lograr buen estado cuantitativo/químico por el clima)	**Alta** – Combinación de menos recarga (cantidad) y más contaminación (calidad) en acuíferos tiene efectos sistémicos: escasez de agua potable, conflictos por bombeo entre sectores, pérdida de manantiales que alimentan ríos/zonas húmedas, etc.	**Alta** – Implica que muchas masas pasarían a mal estado, con acuíferos agotados o contaminados. Consecuencias severas: secado de humedales asociados, subsidencia del terreno en casos extremos, y fuerte impacto socioeconómico por restricción de extracciones.	**Alta** – Muy probable. Los peligros climáticos (sequía, calor, DANAs) *acelerarán* la sobreexplotación y contaminación ya existentes, haciendo difícil la recuperación de acuíferos.	**Alta** – Las masas subterráneas en cuencas mediterráneas y del sur (donde la demanda supera a la recarga) son las más expuestas; abarcan zonas amplias de uso agrícola y urbano intensivo.	**Alta** – Actualmente ~44% de masas subterráneas están en riesgo por sobreexplotación o contaminación. Estos sistemas ya vulnerables sufrirán directamente el estrés climático adicional.	**Alta** – Ya se observan signos de empeoramiento y para el ciclo de planificación 2027 muchas masas no alcanzarán buen estado si no se actúa rápidamente, dado que el clima adverso acelera su degradación.	**Alta** – Las aguas subterráneas son una reserva estratégica para periodos secos; su degradación compromete la seguridad hídrica nacional y la conservación de ecosistemas ligados al agua (alto valor estratégico).

Ecosistemas acuáticos y riesgos sistémicos relacionados

Esta sección abarca impactos en los servicios que proporcionan los ecosistemas de agua dulce y costeros vinculados al ciclo hidrológico (temperatura del agua, biodiversidad, especies invasoras), así como *riesgos sistémicos* derivados de eventos hidrológicos extremos (sequías e inundaciones) que afectan de forma amplia a la sociedad, la economía y el medio ambiente. Los eventos extremos hidrológicos representan riesgos climáticos de primer orden por su carácter sistémico. En España, tanto las sequías extremas como las inundaciones severas ya han mostrado su capacidad de causar impactos multisectoriales enormes. Por ejemplo, la sequía 2017 provocó pérdidas agrícolas millonarias y encareció la electricidad al reducir la hidroeléctrica.

Según la evaluación nacional, *los impactos climáticos en el agua ya alcanzan niveles severos y causan pérdidas crecientes*[, y las sequías extremas amenazan la disponibilidad de recursos hídricos. Con el cambio climático, se espera que el riesgo de escasez hídrica pase a ser alto con +1,5 °C y muy alto con +3 °C en el Mediterráneo. De igual modo, las inundaciones son el peligro natural más dañino históricamente en el país, con tendencia reciente al alza en el área mediterránea. Episodios como la DANA de octubre 2024 en Levante, con 232 fallecidos y 17 mil millones € en pérdidas, ejemplifican la severidad catastrófica posible. El calentamiento del mar intensifica estos eventos convectivos extremos, por lo que *la probabilidad de inundaciones devastadoras también aumenta*. Ambos tipos de eventos tienen alcance nacional – sequías prolongadas afectando varias cuencas a la vez, inundaciones cubriendo comarcas enteras – y revelan vulnerabilidades: desarrollo en zonas inundables, sobredependencia de agua en zonas áridas, etc. La urgencia de abordarlos es máxima, pues ya en la actualidad requieren gestión de crisis frecuente. Su importancia estratégica es indiscutible: la sequía prolongada compromete la seguridad hídrica y alimentaria del país, y las inundaciones extremas ponen en riesgo vidas, infraestructuras críticas y cuantiosos activos económicos, siendo un desafío principal para la adaptación climática en España.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
ECS1	**Elevación de la temperatura del agua en ríos, lagos y embalses** (calentamiento de las masas de agua continentales)	**Media** – El agua más cálida altera las cadenas tróficas y la química (menos oxígeno disuelto), afectando a la pesca continental y calidad del agua; repercusiones moderadas fuera del ecosistema acuático (podría afectar refrigeración industrial/magnitud hidroeléctrica en casos extremos).	**Media-alta** – Pone en riesgo especies acuáticas adaptadas a agua fría (ej. trucha común) que pueden desaparecer localmente; también propicia algas y patógenos. Impacto notable en biodiversidad y potencialmente en usos recreativos (baño, pesca deportiva).	**Alta** – Prácticamente cierto con el calentamiento global. Ya se observan aumentos en la temperatura fluvial, y con +2 °C global las aguas continentales españolas subirán significativamente (especialmente en verano).	**Alta** – Afecta de forma difusa a la mayoría de ríos y masas de agua, con mayor incidencia en tramos medios y bajos de ríos (menos sombra) y aguas someras.	**Alta** – La biota actual tiene poca capacidad de adaptación a cambios térmicos rápidos; muchas especies están en su límite térmico sur en la Península. Ecosistemas ya estresados (contaminados o regulados) son aún más vulnerables al calor.	**Alta** – Es un proceso ya en marcha (registros de aguas dulces más cálidas en las últimas décadas). En el corto plazo puede exceder umbrales ecológicos en algunas masas, por lo que requiere atención inmediata (refugios, caudales frescos).	**Media-alta** – Importante para conservar ecosistemas y cumplir normativa (evitar que la temperatura cause deterioro de masas). También influye en la gestión (menos eficiencia en centrales térmicas/hidroeléctricas en aguas calientes). No es tan visible para la sociedad como otros impactos, pero sí crítico ecológicamente.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
ECS2	**Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos** (pérdida de funciones ecológicas en ríos, humedales, estuarios)	**Media-alta** – Hábitats degradados (riberas secas, humedales menguantes) implican pérdida de servicios ecosistémicos (regulación de crecidas, filtración de agua, ocio) que luego afectan a comunidades humanas locales y sectores como pesca o turismo de naturaleza.	**Alta** – La alteración de ciclos hidrológicos y hábitats (menos caudal, sequía de humedales) conlleva pérdida de biodiversidad, colapso de poblaciones locales y desaparición de servicios clave (ej. polinización en zonas húmedas, refugio de fauna) .	**Alta** – Muy probable. Ya se documenta retroceso de humedales (Doñana en sequía) y degradación de riberas por crecidas extremas. El clima futuro intensificará estos procesos (más sequías prolongadas, inundaciones que erosionan riberas).	**Alta** – Afecta a numerosos ecosistemas en toda España: humedales interiores (La Mancha, Delta Ebro), riberas mediterráneas y bosques de ribera en general, que en su mayoría sufrirán estrés hídrico y eventos extremos.	**Alta** – Muchos hábitats ya están fragmentados y degradados por actividades humanas; el añadido del cambio climático los pilla con poca resiliencia. Por ejemplo, humedales costeros ya afectados por extracción se secan con más calor.	**Alta** – Se están viendo efectos ahora (humedales secos, riberas sin vegetación por sequía). La próxima década es crítica para implementar adaptación (restauración ecológica) o muchas funciones se perderán irreversiblemente.	**Alta** – Los ecosistemas acuáticos sustentan biodiversidad única y brindan servicios esenciales (agua limpia, control de avenidas). Su degradación tiene implicaciones estratégicas en conservación y bienestar humano a largo plazo.
ECS3	**Alteración de las comunidades biológicas (fauna y flora)** (cambios en la composición de especies en aguas continentales)	**Media** – Cambios en comunidades acuáticas (desaparición de especies locales, proliferación de otras) afectan principalmente al equilibrio ecológico y ciertos sectores (pesca recreativa), con escasa repercusión directa en otros ámbitos socioeconómicos.	**Media-alta** – Pérdida de biodiversidad acuática (peces, anfibios, macroinvertebrados) y florística (macrófitos) implica un ecosistema menos resiliente y funcional. Puede llevar a explosiones de algunas especies (p.ej. algas) y colapso de otras, alterando toda la red trófica.	**Alta** – Ya está ocurriendo: desplazamiento de especies hacia el norte o a cotas mayores, desaparición local de sensibles (ej. moluscos de agua fría). Con el aumento térmico e hidrológico previsto, es seguro que las comunidades cambiarán drásticamente.	**Alta** – Generalizado en todos los sistemas de agua dulce del país, aunque con distintos ganadores/perdedores según zonas. Toda la biota acuática ibérica se ve expuesta al cambio de condiciones climáticas.	**Alta** – Muchas especies endémicas o de distribución limitada en España (ej. peces ibéricos) ya están amenazadas por hábitat fragmentado; su vulnerabilidad es altísima. Comunidades ya estresadas por contaminación/invasoras serán las más afectadas.	**Media-alta** – El proceso está en curso, pero es gradual; sin embargo, algunas especies podrían cruzar umbrales de forma abrupta si se supera cierta temperatura o caudal. En próximas décadas se espera aceleración de cambios de composición.	**Media-alta** – Aunque puede no parecer prioritario frente a impactos humanos, la alteración de comunidades indica pérdida de patrimonio natural y posibles disrupciones de servicios (p.ej. insectos acuáticos controlando plagas). Estrategicamente relevante para biodiversidad y la salud de ecosistemas.
ECS4	**Afección a especies emblemáticas y endémicas** (riesgo para especies acuáticas singulares de alto valor patrimonial en España)	**Media** – La extinción local de especies emblemáticas (ej. náyades, peces únicos) es un golpe para la biodiversidad y puede afectar turismo de naturaleza o identidad regional, pero no genera cascadas funcionales amplias en otros sectores humanos.	**Alta** – Muchas especies emblemáticas/endémicas acuáticas podrían extinguirse en ciertas cuencas (ej. salmón atlántico en tramos sur, fartet en humedales costeros) debido al calor o sequía. La pérdida de estos elementos únicos es irreparable, con gran impacto ecológico y cultural.	**Alta** – Alta probabilidad. España alberga gran biodiversidad acuática restringida a hábitats muy concretos (ibones, ríos cabecera, marjales); el cambio climático ya amenaza su supervivencia.	**Media-alta** – Se concentra en hábitats específicos: cabeceras de ríos fríos (trucha común, náyade auriculada), acuíferos cársticos (crustáceos estigobios), humedales costeros (fartet). No es todo el territorio, pero sí numerosos enclaves aislados.	**Alta** – Estas especies a menudo ya están en peligro por hábitat reducido; tienen muy poca capacidad de adaptación o migración. Cualquier cambio climático adicional las empuja al borde de la extinción.	**Alta** – Inminente para algunas: p.ej. poblaciones de anfibios de montaña ya diezmadas por sequías recientes. En los próximos 5-10 años podríamos perder núcleos críticos si no se protege su hábitat/refugio climático.	**Alta** – Desde el punto de vista estratégico de conservación es altísima la prioridad: España tiene responsabilidad internacional en preservar estas especies únicas. Su pérdida supondría incumplir compromisos de biodiversidad.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
ECS5	**Degradación de ecosistemas ribereños y terrestres asociados** (bosques de ribera, turberas, marjales ligados al agua)	**Media-alta** – La desaparición o degradación de bosques de ribera repercute en la erosión de suelos, infiltración y calidad de agua, lo que afecta a la regulación hidrológica y, por ende, a sectores agrícolas y urbanos río abajo.	**Alta** – Los bosques de ribera y humedales asociados pueden secarse o quemarse (incendios en sotos) con climas más secos, perdiéndose su función de *infraestructura verde*. Se acelera la erosión de cauces sin sujeción vegetal y disminuye la recarga de acuíferos locales.	**Alta** – Muy probable. La menor disponibilidad hídrica y mayor frecuencia de crecidas secas/calientes ya está afectando a las formaciones de ribera (pérdida de álamos, olmedas). Continuará con alta probabilidad en escenarios futuros.	**Alta** – Abarca tramos fluviales de buena parte del país, especialmente medianos y pequeños ríos en zonas secas donde las riberas desaparecerán si el río se seca. También humedales interiores y marjales costeros están en riesgo amplio.	**Alta** – Tras décadas de presión (canalizaciones, extracciones), los ecosistemas asociados al agua están muy mermados; su resiliencia ante más estrés climático es baja. Ej: Tablas de Daimiel casi se secan en cada sequía por vulnerabilidad acumulada.	**Alta** – Ya se observan señales (riberas con árboles muertos por falta de caudal, humedales que no se inundan algunos años). Actuar ahora es crucial para restaurar y proteger estos sistemas antes de que se pierdan definitivamente.	**Media-alta** – Estratégicamente son importantes como barrera natural frente a avenidas y para la calidad del agua; sin embargo, históricamente han recibido menos atención que obras grises. Su degradación puede agravar otros riesgos (inundaciones sin retención natural, etc.), por lo que es relevante en adaptación.
ECS6	**Expansión de especies exóticas invasoras** (mejora de condiciones para invasores acuáticos)	**Media-alta** – Las invasoras acuáticas (mejillón zebra, jacinto de agua, lucio, etc.) al propagarse impactan la biodiversidad nativa y también sectores humanos: obstruyen infraestructuras hidráulicas, dañan pesca autóctona, etc., generando costes económicos y de gestión en varios ámbitos.	**Alta** – La proliferación de invasoras puede llevar a extinciones locales de especies nativas, alterar totalmente la estructura de ecosistemas y causar daños económicos considerables (limpieza de embalses, bloqueos de riego, etc.). Es uno de los impactos ecológicos más graves y difíciles de revertir.	**Alta** – Muy probable. El calentamiento amplía el área climáticamente adecuada para invasoras tropicales/subtropicales, y las alteraciones hidrológicas favorecen algunas oportunistas. Ya se han observado nuevos brotes (ej. alga Didymo en ríos fríos con menos caudal).	**Alta** – En todo el país: distintas invasoras en distintos sistemas (ríos del Ebro plagados de mejillón cebra, camalote en Guadiana, caracol manzana en Ebro, etc.). Con el clima templándose, regiones antes frías se vuelven aptas también.	**Media-alta** – Ecosistemas ya perturbados o con pocas especies nativas fuertes son muy vulnerables (ej. cuencas reguladas, lagos artificiales). La vigilancia actual es desigual, por lo que algunos sistemas son muy susceptibles a invasiones sin detección temprana.	**Alta** – La expansión de invasoras está ocurriendo aceleradamente (cada año se detectan nuevas poblaciones). Requiere acción inmediata en prevención, pues una vez establecidas son casi imposibles de erradicar.	**Media-alta** – Por un lado, es estratégico evitar invasoras porque comprometen la **gestión del agua** (embalses, canales) y la biodiversidad; por otro, compite con otras prioridades. Aun así, la lucha contra invasoras es destacada en planificación por sus altos costes a largo plazo si no se ataja.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
ECS7	**Proliferación de patógenos y contaminantes emergentes** (nuevos riesgos biológicos y químicos en el agua por condiciones más cálidas)	**Media** – Un aumento de patógenos (ej. bacterias como *Vibrio* en aguas más cálidas costeras, microbios en embalses) puede afectar la salud humana (bañistas, consumo) y la fauna, implicando al sector salud y medioambiental; no suele generar cascadas amplias más allá.	**Media** – Puede elevar la incidencia de enfermedades de transmisión hídrica (otitis, gastroenteritis) y mortandad de peces por patógenos; también aparición de contaminantes emergentes (microcistinas, etc.). Serio localmente, pero raramente catastrófico.	**Media-alta** – Probable. Ya se han dado casos de *Vibrio* en costas europeas en olas de calor. En interior, temperaturas mayores facilitan *blooms* de cianobacterias tóxicas. A su vez, sequías concentran contaminantes químicos poco estudiados (fármacos, PFAS).	**Media** – Focos localizados: zonas de agua estancada o escasa circulación (embalses, lagunas), y bañistas en costas cálidas. No es un riesgo uniforme en todas las masas de agua.	**Media** – Los sistemas de control de calidad de agua actuales mitigan parte del riesgo (cloración, etc.), pero ecosistemas con fauna no acostumbrada a nuevos patógenos son vulnerables. La capacidad sanitaria en España es alta, reduciendo vulnerabilidad humana, pero no así la de fauna silvestre.	**Media** – Por ahora es un riesgo incipiente, pero con temperaturas récord anuales, podría emerger rápidamente un brote serio. Conviene vigilar ya (no urgente como sequías, pero tampoco trivial a largo plazo por salud pública).	**Media** – De importancia moderada: se relaciona con salud pública (si bien de momento rara vez grave) y con conservación (enfermedades en anfibios, peces). La gestión adaptativa puede incluirlo en planes sanitarios y ambientales sin ser la máxima prioridad, pero con atención.
ECS8	**Incremento de la sedimentación en embalses y cauces** (mayor colmatación por arrastres sólidos, p.ej. tras incendios o lluvias intensas)	**Media-alta** – Embalses colmatados pierden capacidad de regulación, lo que afecta a la disponibilidad de agua para todos los usos y aumenta riesgo de inundaciones. Se extiende por tanto a sector agrícola, abastecimiento y control de crecidas.	**Alta** – La reducción de capacidad útil en embalses grandes puede ser muy perjudicial (menos agua almacenada para riego/consumo, menor laminación de avenidas). Además, la sedimentación excesiva degrada hábitats fluviales y encarece mantenimiento de infraestructuras.	**Alta** – Muy probable. Las lluvias torrenciales más frecuentes y la mayor erosión post-incendios generarán aportes masivos de sedimento. Ya se observa tras eventos extremos (embalse de Yesa, por ejemplo, con avenidas fangosas).	**Alta** – Generalizado en cuencas con pendientes y fuertes tormentas (Pirenaicas, Sistema Central, Béticos). España en general tiene alta erosividad, por lo que la mayor parte de embalses puede verse afectada en distinto grado.	**Media-alta** – Embalses en cuencas deforestadas o incendiadas son muy vulnerables; los que tienen cuencas reguladas o con buena cubierta vegetal resisten mejor. Muchos embalses antiguos ya están medio colmatados (vulnerabilidad creciente con menor margen).	**Media-alta** – El proceso es paulatino pero acumulativo; cada gran tormenta añade sedimentos. En 10-20 años sin medidas, la capacidad en algunos embalses críticos puede quedar seriamente mermada, por lo que es urgente planificar dragados u otras acciones.	**Alta** – Estratégicamente crítico: los embalses son clave para la seguridad hídrica española, y su colmatación compromete esa función. Además, sedimentación en cauces agrava inundaciones. Por ello mantener su capacidad es una prioridad en adaptación.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
ECS9	**Daños sistémicos (sociales, económicos, ambientales) por sequía prolongada** (sequías extremas de larga duración)	**Alta** – Una gran sequía afecta en red a múltiples sectores: agricultura (pérdidas de cosechas), ganadería (falta de pastos), energía (menos hidroeléctrica, más coste eléctrico), salud (olas de calor), ecosistemas (mortandad de árboles), etc. Todo interconectado en la economía nacional.	**Alta** – Históricamente, sequías severas han causado enormes pérdidas económicas y restricciones de agua potable. Una sequía prolongada podría llevar a racionamiento, migración rural, conflictos por el agua, y daños ambientales irreversibles (humedales secos, bosques diezmados).	**Alta** – Muy alta probabilidad. El IPCC y estudios nacionales confirman que las sequías serán más frecuentes y duraderas en la cuenca mediterránea. Ya en 2017 y 2022 se sufrieron sequías severas; con +2°C se espera riesgo muy alto de sequía en el sur de Europa.	**Alta** – Puede afectar simultáneamente a gran parte de España, especialmente cuadrante sur y centro (donde la sequía de 2017 impactó vastas áreas agrícolas). Cobertura prácticamente nacional en escenarios extremos.	**Alta** – España es de por sí vulnerable a la sequía; los sistemas de riego, ciudades y ecosistemas tienen resiliencia limitada a eventos muy largos. Tras uno o dos años secos, los embalses y acuíferos quedan al mínimo, exponiendo la alta vulnerabilidad estructural.	**Alta** – Urgentísimo. Actualmente ya se están experimentando periodos secos alarmantes (2022-23 con emergencia en varias cuencas). Cada ciclo hidrológico aumenta la urgencia de prepararse para sequías plurianuales.	**Alta** – La sequía es quizá el riesgo climático número uno para España por su alcance e impactos múltiples. Amenaza la seguridad alimentaria, el abastecimiento urbano, la producción energética y los ecosistemas; es central en la planificación hidrológica.
ECS10	**Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales** (inundaciones terrestres catastróficas por lluvias extremas)	**Alta** – Inundaciones masivas generan crisis humanitaria (evacuaciones, muertos), paralizan economías locales (infraestructuras dañadas, producción detenida) y requieren movilización de emergencias a gran escala. Efectos cascada: cortes de energía, transporte interrumpido, contaminación difusa, etc..	**Alta** – Son los eventos naturales más devastadores en España en términos de vidas y costes. Por ejemplo, la DANA Mediterránea de 2024 causó 232 muertes y €17.000 millones en daños. Destrucción de viviendas, infraestructura, cultivos e incluso patrimonio cultural.	**Media-alta** – Probabilidad en aumento, aunque con incertidumbre. Observaciones muestran tendencia a más inundaciones costeras mediterráneas por lluvias torrenciales más frecuentes. El calentamiento del mar intensifica DANAs y convectivas, por tanto eventos extremos son más probables (pero la variabilidad natural influye).	**Media-alta** – Aunque no todo el territorio se inunda a la vez, áreas extensas pueden ser afectadas en un mismo episodio (ej. gota fría abarcando varias provincias). Todas las cuencas mediterráneas y atlánticas bajas son propensas a grandes avenidas con tormentas estacionarias.	**Media** – La vulnerabilidad varía: zonas con planificación y defensas adecuadas (p.ej. País Vasco tras inundaciones históricas) son menos vulnerables que cuencas con ocupación de llanuras de inundación (Mediterráneo). En general, la sociedad española tiene cierto nivel de preparación, pero enclaves vulnerables (urbanizaciones en ramblas, etc.) elevan el riesgo.	**Alta** – Tras eventos recientes mortíferos (Mallorca 2018, Dana 2019, Valencia 2024), es claramente urgente mejorar la adaptación: sistemas de alerta, ordenación del territorio, y resiliencia de infraestructuras. Los eventos extremos pueden ocurrir en cualquier momento.	**Alta** – Las inundaciones son un riesgo prioritario en protección civil. Por su impacto multisectorial y pérdidas enormes, tienen alta importancia estratégica; además, con el cambio climático su gestión se ha integrado en directivas (inundaciones) y planificación adaptativa.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
ECS11	**Daños sistémicos por inundaciones costeras y temporales marítimos** (inundación de zonas litorales por subida del nivel del mar y tormentas)	**Alta** – Impactos en cadena: daños en turismo (playas erosionadas, hoteles inundados), infraestructuras portuarias, viviendas costeras, salinización de suelos agrícolas, desplazamiento de poblaciones costeras. También puede afectar industrias (polígonos en costas) y ecosistemas marinos/costeros con efectos socioeconómicos asociados.	**Alta** – Muy grave en escenarios altos: barrios enteros y paseos marítimos destruidos, retroceso permanente de la línea de costa, pérdida de terrenos habitables. Temporales extremos ya han causado destrozos millonarios (Gloria 2020). A finales de siglo, sin adaptación, las pérdidas anuales podrían ser enormes en costas mediterráneas y atlánticas.	**Alta** – Muy probable. Con la elevación del nivel del mar hasta ~0,5 m en 2100 y posiblemente mayor, incluso sin aumento de tormentas, las inundaciones costeras excepcionales serán frecuentes. De hecho, ya se observan más inundaciones de marea en zonas bajas.	**Media-alta** – Las zonas costeras bajas (deltas del Ebro, Llobregat, marismas, Manga del Mar Menor) serán las más afectadas, así como playas abiertas al oleaje. Un ~40% de la población española vive en la costa, así que la extensión del problema es grande, aunque concentrada en franjas estrechas del territorio.	**Alta** – Muy vulnerable: gran densidad poblacional, infraestructuras críticas (puertos, ciudades) y ecosistemas ya estresados (dunas degradadas, manglares ausentes) hacen a las costas españolas particularmente sensibles.	**Media-alta** – El nivel del mar sube gradualmente, pero los efectos empiezan a sentirse (cada tormenta causa más daño que la anterior línea base). Es urgente planificar adaptación costera ya (protecciones, retirada planeada) para evitar daños catastróficos en próximas décadas.	**Alta** – Estratégicamente alto: las costas concentran gran parte del PIB (turismo, comercio) y población. Protegerlas o adaptarse (p.ej. relocalizar) es un desafío nacional de primer orden, reconocido en la Estrategia de Adaptación de Costas.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
ECS12	**Elevación del nivel freático y drenaje deficiente en llanuras litorales** (inundación subterránea de terrenos costeros bajos)	**Media** – Afecta sobre todo a la agricultura (encharcamiento y salinización) y a infraestructuras locales (sótanos, carreteras con drenaje deficiente). Puede agravar lluvias ordinarias e impedir escurrimiento, además de generar problemas de salubridad (humedades, mosquitos), aunque su impacto difícilmente va más allá de la zona costera afectada.	**Media** – El ascenso del nivel freático puede inutilizar tierras de cultivo por anegamiento y salinización, afectando economías agrarias locales. También compromete cimentaciones e infraestructuras de saneamiento. No es un impacto súbito, pero sí un deterioro significativo de la habitabilidad y productividad en llanuras litorales.	**Media-alta** – Bastante probable a medida que suba el mar. Ya se detecta en algunos humedales costeros que el agua subterránea aflora más, y con +0,5 m de mar es casi seguro que muchas zonas bajas no drenen bien. Sin embargo, la magnitud exacta depende de la geomorfología local.	**Media** – Se limita a áreas muy específicas: porciones de deltas (Ebro, Guadalquivir), marjales costeros y planicies detrás de dunas en la costa mediterránea. No es un fenómeno generalizado país adentro.	**Alta** – En las zonas identificadas, la vulnerabilidad es alta: son terrenos ya difíciles de drenar (a menudo necesitaban bombeo) y con alta salinidad natural. Con el mar más alto, esas dificultades se exacerban muchísimo.	**Media** – El proceso es gradual; en un par de décadas podría empezar a ser notorio. A corto plazo no es tan visible como las inundaciones súbitas, pero requiere planificar con tiempo (ej. cambiar cultivos, mejorar drenajes), aunque no al nivel de urgencia de otros riesgos inmediatos.	**Media** – Importancia focalizada: crítico para las comunidades agrarias y naturales de esas zonas (p.ej. arrozales del Delta del Ebro), pero a escala nacional su impacto es sectorial/territorialmente limitado. Sigue siendo un tema a incluir en la adaptación costera integrada.
ECS13	**Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima**	**Alta** – Incendios severos detonan impactos en cascada: pérdidas de biodiversidad y sumideros de carbono, erosión post incendio, picos de turbidez y sedimentación que degradan la calidad del agua y la regulación hidrológica, además de efectos en salud por humo.	**Alta** – En temporadas desfavorables se registran mega incendios con daños catastróficos locales (personas, bienes, hábitats) y degradación duradera de servicios ecosistémicos; el PNACC prioriza el seguimiento de grandes incendios (Indicador 26).	**Alta** – El IPCC prevé un aumento del riesgo de incendios en Europa con el calentamiento. En 2025, World Weather Attribution estimó que las condiciones extremas de calor, sequedad y viento que favorecieron los grandes incendios ibéricos fueron ~40 veces más probables por efecto del cambio climático antropogénico.	**Media - alta** – Afectación principal en regiones mediterráneas e interior con interfaz urbano-forestal; 2025 marcó máximos históricos de superficie quemada en España.	**Alta** – Abandono rural y acumulación de combustible, sequías y olas de calor prolongadas incrementan la sensibilidad del territorio al fuego (el propio PNACC vincula reto demográfico y riesgo de incendios).	**Alta** – Temporadas recientes muestran aceleración del riesgo; se requieren medidas inmediatas de prevención y gestión del combustible.	**Alta** – Riesgo transversal (seguridad, salud, biodiversidad, agua, economía local) y priorizado en el marco PNACC.

Abastecimiento urbano, saneamiento y salud pública

En el entorno urbano, el cambio climático desafía la gestión integral del agua, con implicaciones directas en la población. Las sequías prolongadas ponen en jaque la garantía de abastecimiento urbano, un servicio esencial. Ciudades españolas ya han enfrentado escenarios de reservas al límite (Barcelona en 2008 y 2023, Sevilla en 1995), y el PNACC resalta que los impactos en el agua *ya son severos y provocan pérdidas humanas y económicas*https://climatica.coop/espana-afronta-141-riesgos-climaticos/. Por tanto, se valora alta severidad y propagación: un corte de suministro afecta a hogares, hospitales, industrias... es un impacto sistémico. A su vez, la intensificación de las lluvias extremas está sobrecargando los drenajes urbanos, aumentando las inundaciones en ciudades. Esto conlleva daños locales considerables e interrupción de servicios (transporte, electricidad), con alta urgencia de adaptación en núcleos urbanos.

La calidad del agua bruta también sufre (floraciones algales, turbidez post-DANA), poniendo a prueba las plantas potabilizadoras – un aspecto crítico para la salud pública. Adicionalmente, la combinación de calor, agua estancada e infraestructuras saturadas puede facilitar la proliferación de patógenos y vectores urbanos, aunque hasta ahora España ha contenido bien estos riesgos. En general, todos estos impactos urbanos tienen importancia estratégica elevada, pues inciden en la vida cotidiana de millones de personas y requieren inversiones considerables en infraestructuras resilientes (nuevas fuentes, redes separativas, tanques de tormentas, etc.). La evidencia apoya estas valoraciones: por ejemplo, se prevé aumento tanto de demanda de agua potable como de eventos de lluvia intensa en ciudades, confirmando la alta probabilidad de las tendencias observadas. En suma, las áreas urbanas concentran vulnerabilidades cruciales que exigen respuesta pronta dentro de la planificación hidrológica adaptativa.

Cód	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
AU1	**Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento** (menos fiabilidad en proveer agua potable continua)	**Alta** – Si falta agua potable, afecta a toda la sociedad urbana, con posibles cortes que paralizan escuelas, hospitales, industrias; puede generar tensiones sociales y requisición de agua de otros sectores (impacto cascada elevado).	**Alta** – Implica restricciones de consumo que afectan la calidad de vida y la economía (negocios, turismo). En casos extremos, ciudades podrían agotar sus reservas (escenario tipo "Día Cero" como sufrió Ciudad del Cabo).	**Alta** – Muy probable en cuencas con estrés hídrico creciente. Ya se han activado restricciones en grandes urbes españolas (ej. Barcelona 2008, 2023). Con menos recursos y más sequías, la probabilidad de no poder satisfacer demandas urbanas aumenta significativamente.	**Media-alta** Gran parte de la población podría experimentar alguna restricción en sequías severas.	**Media-alta** – Muchas redes urbanas tienen pérdidas altas y fuentes sobreexplotadas; vulnerables, pero con margen de mejora (ahorro, desalación). Ciudades costeras con desaladoras son menos vulnerables que interiores sin alternativas.	**Alta** – Tras varios conatos recientes, es urgente diversificar fuentes y gestionar demanda ya mismo. Los planes de emergencia de abastecimiento indican la necesidad inmediata de reforzar la garantía ante posibles sequías prolongadas en esta misma década.	**Alta** – Proveer agua potable es prioridad absoluta en planificación hidrológica. Su garantía está ligada a la seguridad ciudadana, la salud y el desarrollo económico; por tanto, este impacto es de máxima importancia estratégica.

Cód	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
AU2	**Incremento de la demanda de agua potable** (más consumo urbano por olas de calor, etc.)	**Media** – Un mayor consumo tensiona las reservas y puede obligar a trasvases o sobreexplotar fuentes, afectando también a otros usuarios (riego, caudales ecológicos). Sin embargo, el efecto cascada es principalmente en la competencia por el recurso entre sectores y territorios.	**Media** – Puede agravar situaciones de escasez y generar déficit estructural si la infraestructura no acompaña. No causa daños directos, pero sí eleva costes (más desalación, bombeos) y riesgo de desabastecimiento en eventos extremos.	**Alta** – Altamente probable. Con temperaturas al alza, se proyecta mayor uso de agua en verano (riego de jardines, refrigeración, consumo personal). Ya se observa tendencia de aumento de demanda en olas de calor.	**Alta** – Especialmente en zonas urbanas costeras y del sur donde el clima será más cálido y la población aumenta en verano (turismo). No obstante, todas las ciudades verán cierto aumento estival.	**Media** – Depende de la eficiencia y hábitos: ciudades con políticas de ahorro y nuevas tecnologías pueden mitigar. En general, hay margen de adaptación (reducción de consumos per cápita), por lo que vulnerabilidad es moderada.	**Media** – El alza es gradual; se puede gestionar con planificación (campañas de ahorro, tarifas). No es tan urgente como la falta de recurso, pero sí conviene anticiparse para evitar picos insostenibles en años secos.	**Media-alta** – Es importante porque la gestión de la demanda es pilar de la adaptación; sin embargo, comparado con otros impactos, un aumento de consumo es abordable con medidas de eficiencia. Estratégicamente, influye en dimensionar infraestructuras futuras y acuerdos de uso del agua.
AU3	**Deterioro de la calidad del agua bruta para potabilización** (fuentes de agua más contaminadas o turbias dificultan el tratamiento)	**Media** – Si el agua de entrada a plantas potabilizadoras viene con algas, sedimentos o contaminantes emergentes, puede comprometer el suministro o exigir parar plantas, lo cual impacta directamente a población e industrias abastecidas. Efecto en cascada moderado pero crítico localmente (necesidad de buscar fuentes alternativas).	**Media-alta** – Cianotoxinas, turbidez extrema o contaminación química pueden dejar sin suministro temporalmente a ciudades o requerir avisos de no beber el agua. Esto supone un riesgo sanitario y logístico importante.	**Media-alta** – Probable. Más algas por eutrofización (ver SW5), más turbidez por tormentas (SW4) y contaminantes emergentes concentrados (SW2, SW6) son escenarios verosímiles con clima cambiante. De hecho, ya ha habido cierres temporales de captaciones por mala calidad post-lluvias intensas.	**Media** – Afectará sobre todo a sistemas abastecidos de embalses superficiales en cuencas agrícolas (por nutrientes) o torrenciales (por turbidez). Los abastecimientos de aguas subterráneas o embalses de montaña se verán menos afectados.	**Media** – Las ETAP modernas pueden tratar variabilidad moderada, pero son vulnerables a parámetros extremos (ej. turbidez > NTU de diseño, toxinas no filtrables sin carbón activado). Muchas instalaciones no están preparadas para condiciones de agua bruta muy degradada.	**Media-alta** – Con eventos extremos en aumento, conviene actualizar sistemas pronto. No es un problema constante aún, pero los picos de mala calidad pueden ocurrir cualquier año (ej. inundación), así que urge mejorar resiliencia operativa de plantas.	**Alta** – Garantizar agua potable segura es estratégico; si la calidad de fuentes empeora, se requieren inversiones en tratamiento. Un fallo en potabilización afecta salud pública rápidamente, por lo que su importancia es alta en planificación.

Cód	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
AU4	**Estrés en las redes de saneamiento y drenaje urbano** (incapacidad de alcantarillado pluvial y sanitario ante lluvias intensas o sequías)	**Media** – Las lluvias torrenciales sobrepasan los drenajes, causando inundaciones urbanas que dañan bienes, tráfico y pueden colapsar servicios (efecto en cascada en movilidad y economía urbana). En sequía, baja fluencia puede producir atascos y malos olores, afectando habitabilidad local.	**Media** – Inundaciones urbanas súbitas pueden ser peligrosas (arrastre de vehículos, anegamiento de bajos) pero suelen ser acotadas; daños económicos locales notables. El estrés en saneamiento en sequía es menos severo (problemas de higiene menores). En conjunto, un impacto de severidad media salvo casos extremos.	**Alta** – Muy probable. Se espera aumento de precipitaciones torrenciales de corto plazo, especialmente en el Mediterráneo, que superarán la capacidad de desagüe. Varias ciudades españolas ya sufren estos eventos casi cada año.	**Media-alta** – Las grandes ciudades costeras (Barcelona, Valencia, Málaga) y otras con sistemas antiguos combinados son las más expuestas. Zonas urbanas con pendiente y suelo impermeable (muchas urbes) también.	**Media-alta** – Muchas ciudades tienen redes de drenaje antiguas o insuficientes; y la urbanización ha reducido infiltración. Por tanto, son bastante vulnerables a lluvias intensas. Pocas han adaptado completamente su drenaje al nuevo régimen (aunque se está trabajando).	**Alta** – Ya vivimos estos eventos (inundaciones urbanas en Valencia 2022, Cartagena 2019...). Con tendencias al alza, es imperativo actuar ya en drenaje sostenible y renovación de alcantarillado.	**Media-alta** – Importante para la resiliencia urbana: inundaciones frecuentes minan la economía y bienestar urbano. Si bien compite con otros asuntos, la adaptación de ciudades (SUDS, planes drenaje) es prioritaria en políticas actuales.
AU5	**Daños en los servicios del ciclo urbano del agua por inundaciones** (ETAps, EDARs, estaciones de bombeo anegadas)	**Media-alta** – Cuando una planta de tratamiento o bombeo se inunda, interrumpe el servicio de agua o saneamiento a poblaciones enteras; esto obliga a emergencias (camiones cisterna, vertidos sin tratar) con impactos en salud pública y ambiental, además de socioeconómicos (paralización de actividad en zonas afectadas).	**Alta** – Si instalaciones críticas fallan, los daños son severos: población sin agua potable ni saneamiento por días, con riesgo de enfermedades; vertido de aguas residuales crudas al medio; costosas reparaciones de equipos. Ejemplo: inundaciones que dejan sin abastecimiento a barrios enteros.	**Media** – Posible en eventos extremos. Muchas instalaciones están en cotas bajas (cerca de ríos o costa) y podrían anegarse con una crecida extraordinaria o tsunami. Ha ocurrido en otros países; en España hay antecedentes locales de EDAR inutilizadas tras riadas. Dado el aumento de extremos, la probabilidad sube aunque sigue siendo de caso excepcional.	**Media** – Localizado: solo sufrirán este impacto instalaciones en zonas inundables. No es generalizado geográficamente, pero sí puede pasar en cualquier cuenca donde la planta esté mal emplazada respecto al riesgo.	**Media** – Depende de las protecciones actuales: algunas plantas críticas tienen diques o planes de contingencia (baja vulnerabilidad), otras no. En general, la vulnerabilidad es moderada; se conoce el riesgo y suele haber cierta preparación, pero no en todos sitios.	**Media** – No ha sido frecuente históricamente, por lo que la urgencia de refuerzo específico es media. Sin embargo, dado que los eventos extremos aumentan, es prudente revisarlo ya. Pero urgencias mayores (sequía, inundaciones urbanas) han acaparado más la atención inmediata.	**Alta** – La continuidad de los servicios de agua es estratégica; si se interrumpen, el impacto social es muy alto. Por tanto, proteger instalaciones frente a eventos extremos es de gran importancia en planes de adaptación, aunque a nivel nacional no sea tan visible como otros problemas.

Cód	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
AU6	**Problemas de salud pública asociados al agua** (enfermedades hídricas, golpes de calor por escasez, proliferación de vectores en aguas estancadas)	**Media** – Enfermedades gastrointestinales por agua contaminada, legionela por estancamiento en redes, o más mosquitos (dengue, etc.) por charcas tras inundaciones pueden incidir en la población. La propagación puede extenderse en comunidades y requerir respuesta sanitaria, pero no suele trascender a escala nacional simultáneamente.	**Media** – Posibles brotes localizados de infecciones (ej. gastroenteritis por fallo en potabilización, casos de dengue o malaria autóctona si vectores proliferan). También impactos indirectos: peor higiene por restricciones de agua, aumentando riesgo de enfermedades. En general, severidad moderada si el sistema sanitario responde bien.	**Media** – Factible. El agua más cálida y variable aumenta estos riesgos: ej. tras inundaciones se reportan infecciones; las olas de calor unidas a escasez de agua agravan problemas sanitarios. No es seguro que ocurran brotes graves, pero la probabilidad de eventos menores va en ascenso.	**Media** – Podría ocurrir en distintas regiones, pero de forma puntual: un brote aquí, otro allá. No es un efecto uniforme nacional, sino dependiente de coyunturas (p.ej. inundación en zona X → brote X).	**Media** – España tiene buena infraestructura de salud pública y agua potable, reduciendo la vulnerabilidad. Aun así, comunidades pobres o rurales con abastecimientos precarios son vulnerables; también tras desastres la vulnerabilidad sube (campamentos, etc.).	**Media** – De momento no es muy acuciante (no se han dado brotes graves salvo incidentes aislados). Pero conviene vigilar a medida que el clima se torna más propicio a vectores y fallos de agua, e ir fortaleciendo la resiliencia sanitaria.	**Alta** – Proteger la salud es prioritario; aunque el riesgo general es moderado, estratégicamente debe considerarse alto porque cualquier amenaza a la salud pública requiere máxima atención preventiva en las políticas (PNACC enfatiza la salud como ámbito clave).

Agricultura, ganadería y suelos

El sector agroganadero español, por su dependencia climática, se cataloga como altamente vulnerable al cambio climático. Los cultivos de secano ya experimentan reducciones de rendimiento por la disminución de lluvias y aumento de calor, con pérdidas severas en años secos recientes. En 2022, por ejemplo, la cosecha de cereal cayó drásticamente por la sequía. Del mismo modo, el regadío enfrenta un doble reto: menos agua disponible (restricciones crecientes en varias cuencas) y mayor demanda de riego por evapotranspiración aumentada. Esto anticipa conflictos en repartos de agua e insostenibilidad de ciertos cultivos intensivos sin adaptación. La evidencia apoya estas tendencias: se prevén pérdidas en producción agrícola en el sur de Europa por escasez hídrica y el propio gobierno español identifica la agricultura como un ámbito crítico con riesgos en cascada sobre seguridad alimentaria y economía rural. Asimismo, el calentamiento facilita la expansión de plagas y enfermedades antes limitadas; ya se ha detectado la llegada de vectores exóticos y patógenos (como *Xylella* en levante). Esto compromete la sanidad vegetal y aumenta costos, mereciendo la valoración alta en probabilidad y severidad. En ganadería, las olas de calor han causado mortalidad de pollos y cerdos en granjas mal acondicionadas, y las dehesas sufren estragos en secanos prolongados (falta de pastos, ganaderos forzados a vender reses).

Particular mención merece la degradación del suelo: con menos vegetación protectora por sequía y más eventos extremos, la erosión avanza. España, con dos tereceras partes del territorio en riesgo de desertificación, ve este problema como muy severo y estratégico, dado que la pérdida de suelo fértil es prácticamente irreversible y compromete la productividad futura. En efecto, el PNACC subraya la prevención de la desertificación como prioridad nacional.

En conjunto, la agricultura y ganadería españolas constituyen un nudo crítico de la adaptación: no solo aportan al PIB y empleo rural, sino que de ellas dependen otros sectores (industria alimentaria) y equilibrios territoriales. Por ello, se han evaluado la mayoría de estos impactos con niveles altos en *propagación, severidad, probabilidad y urgencia*. La necesidad de medidas (nuevos cultivos, eficiencia, seguros, manejo de suelos) es inmediata para salvaguardar la viabilidad de este sector bajo un clima cada vez más adverso.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
AG1	**Mayor estrés hídrico en cultivos de secano** (lluvias insuficientes para cultivos no irrigados)	**Media-alta** – Las cosechas de secano fallidas reducen oferta de alimentos (cereales, oliva, viñedo) y rentas rurales, impactando la economía agraria y precios; puede requerir importaciones (efecto en cadena en mercado alimentario).	**Alta** – Sequías intensas pueden provocar pérdidas de producción >50% en secano, con efectos socioeconómicos graves en regiones enteras (paro rural, abandono de tierras). Además, agrede al paisaje tradicional (dehesas, secanos cerealistas).	**Alta** – Muy probable. Los modelos proyectan disminución de lluvia y más olas de calor, lo que casi con certeza aumentará la frecuencia de años malos en secano. Ya se observan rendimientos decrecientes en cereal por sequía.	**Alta** – Amplia: la mayor parte de la superficie cultivada española es de secano (cereal, viñedo, olivar de secano) y está expuesta en zonas semiáridas extensas (Castilla-La Mancha, Andalucía, Aragón, etc.).	**Alta** – Estos sistemas son intrínsecamente vulnerables a la lluvia: sin riego, dependen totalmente del clima. Poca capacidad adaptativa actual salvo rotaciones o barbechos. Factores como suelos pobres aumentan la vulnerabilidad.	**Alta** – Tras los últimos años secos (2017, 2019, 2023) con pérdidas enormes, es urgente desarrollar variedades resistentes y planes de seguro/adaptación ya. Cada nueva sequía deja al sector más tocado, pidiendo acción inmediata.	**Alta** – Estratégicamente clave: el secano aporta alimentos básicos, mantiene empleo rural y paisaje. Su declive por clima compromete la seguridad alimentaria y equilibrios territoriales, siendo de alta prioridad política.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
AG2	**Reducción de la garantía de suministro del regadío** (menos agua disponible para riego)	**Alta** – Si falta agua para riego, caen rendimientos en cultivos intensivos (frutales, hortalizas), afectando exportaciones y agroindustrias. También provoca tensiones entre regantes y otros usos (ambientales, urbanos).	**Alta** – En casos extremos, se pierden cosechas enteras de regadío de alto valor (miles de millones € en fruta, verdura); comunidades de regantes entran en crisis económica y social. Puede derivar en abandono de cultivos e incremento del paro agrario.	**Alta** – Muy probable en cuencas con escasez creciente. Ya en 2022/23 hubo recortes de dotación drásticos (p.ej. Guadalquivir al 30%). Con recursos a la baja (H1) y demanda al alza (AG3), es casi seguro que la garantía de riego empeore sin adaptaciónhttps://climatica.coop/espana-afronta-141-riesgos-climaticos/.	**Alta** – Regadíos de todo el país, pero especialmente zonas con aguas reguladas insuficientes (Guadalquivir, Segura, Júcar). Muchas de las 3,8 millones ha de regadío en España podrían sufrir restricciones.	**Media-alta** – Pese a modernizaciones, el regadío sigue dependiendo de asignaciones fijas; pocos tienen alternativas (desalación, pozos) a gran escala. Por tanto, vulnerabilidad significativa, aunque algo menor que secano gracias a embalses y tecnología de ahorro.	**Alta** – La crisis hídrica para regadío ya está aquí (2022 fue crítica). Sin cambios, en el próximo quinquenio se consolidarán recortes. Urge replanificar cultivos y eficiencia ahora, para evitar colapsos productivos en el corto plazo.	**Alta** – El regadío es motor económico (España es potencia hortofrutícola). Su viabilidad es asunto estratégico alimentario y de exportaciones. La reducción de suministro amenaza ese pilar, justificando alta prioridad en políticas de adaptación (Plan Nacional de Sequías, etc.).
AG3	**Incremento de la demanda de riego** (cultivos requieren más agua por calor y evapotranspiración creciente)	**Media-alta** – Más demanda implica extraer más agua (si disponible) en detrimento de otros usos o del caudal ecológico, pudiendo generar conflictos intersectoriales y entre cuencas. Además, aumenta el consumo energético para bombeo (nexo agua-energía).	**Media** – Si hay agua disponible, la mayor demanda se traduce en mayor coste (más riego suplementario, pozos más profundos); si no la hay, contribuye a la sobreexplotación. El daño directo es sobre la sostenibilidad de recursos; socioeconómicamente es moderado salvo en escenarios de déficit absoluto (AG2).	**Alta** – Seguro. Con temperaturas más altas, *se espera mayor evapotranspiración y consumo hídrico de los cultivos*. Estudios proyectan aumentos significativos en necesidades de riego en el sur de Europa incluso bajo +1.5°C.	**Alta** – En todas las zonas regables, especialmente en climas cálidos (Sur, Levante). Afecta prácticamente a todo el regadío español, aunque en diferente grado según cultivo (más en hortícolas y frutales de verano).	**Media** – Muchos sistemas de riego ya son eficientes (goteo) pero están al límite; no tienen margen para aumentar dotaciones sin dañar otros usos. La vulnerabilidad técnica es media (se puede optimizar algo), pero climática alta.	**Media-alta** – El aumento es paulatino, pero ya visible; las comunidades de regantes notan que deben regar más tiempo. A corto plazo hay algo de resiliencia con gestión, pero en 10-15 años sin medidas puede hacerse insostenible. Empezar ya a ajustarse es prudente.	**Media-alta** – Es importante porque eleva la presión sobre recursos hídricos, interfiriendo con objetivos ambientales y abastecimiento. Estratégicamente, la adaptación de cultivos a menos agua disponible es fundamental. Aún así, es un impacto manejable con planificación (reducción de superficie, variedades), de ahí su valor medio-alto.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
AG4	**Cambios en la idoneidad de cultivos y en los calendarios agrícolas** (zonas que dejan de ser aptas para ciertos cultivos; épocas de siembra/cosecha alteradas)	**Media** – Requiere adaptación agronómica y de mercado: agricultores cambiando cultivos o adelantando/atrasando siembras. Esto repercute en las cadenas de suministro (ej. diferentes fechas de cosecha afectan precios, logística) y en denominaciones de origen/localidades especializadas que pueden perder su base productiva.	**Media** – La severidad varía: algunos cultivos tradicionales (ej. viñedos en ciertas zonas) pueden volverse inviables, con impacto socioeconómico en esas comarcas. Otros cambios son manejables (introducir variedades más resistentes). En global, un daño moderado, pero con casos localmente serios (pérdida de identidad agrícola regional).	**Alta** – Muy probable. Ya se observan vendimias adelantadas ~2-3 semanas por calor, y olivar en secano con rendimientos en retroceso. Estudios proyectan desplazamiento de zonas óptimas de cultivos hacia el norte/altitud con el calentamiento (beneficios en norte, pérdidas en sur).	**Alta** – Extenso: la mayoría de regiones agrícolas se verán afectadas de algún modo (unas ganan aptitud para nuevos cultivos, otras la pierden). En especial, el sur peninsular puede perder aptitud para cultivos exigentes (maíz, remolacha) y el norte ganar para viñedo, etc.	**Media** – La agricultura española ha mostrado capacidad de adaptación (introducción de nuevos cultivos, variedades) – vulnerabilidad moderada. Pero ciertos sistemas tradicionales (ej. secano cerealista o viñedo de secano) tienen menos flexibilidad, siendo más vulnerables.	**Media** – Cambio gradual pero inexorable; hay tiempo relativo para adaptarse (próximas décadas), aunque conviene empezar ya con investigación y reconversión progresiva. Urgencia media.	**Media** – Importancia media: se trata de reconfigurar sectores agrarios con apoyo político (PAC, etc.). Puede afectar economías locales, pero a escala país es un reajuste manejable con planificación (no amenaza seguridad alimentaria directa).
AG5	**Proliferación de plagas, malas hierbas y enfermedades** (por condiciones más benignas para vectores y patógenos; menos heladas)	**Media-alta** – Impacto transversal: plagas pueden diezmar cosechas, obligando a más uso de pesticidas (impacto ambiental) y afectando rendimientos. Esto repercute en precios de alimentos y en la rentabilidad del sector, pudiendo a la vez generar problemas sanitarios si son zoonosis que saltan a humanos.	**Media-alta** – Ejemplos de severidad: la *Xylella fastidiosa* dañando olivos/almendros, la expansión de mosca de la fruta arruinando frutas, o nuevas malas hierbas resistentes. Pérdidas económicas fuertes y mayor dependencia de agroquímicos.	**Alta** – Muy probable. Climas más cálidos facilitan que plagas subtropicales sobrevivan invierno y se expandan. Ya hay evidencias: procesionaria del pino subiendo altitud, vector del virus lengua azul extendiéndose más al norte, etc. Se espera incremento claro de incidencia de plagas con cambio climático.	**Alta** – En prácticamente todo el territorio agrario, aunque cada zona con sus plagas específicas. La cuenca mediterránea sufrirá más plagas típicas de climas cálidos, pero incluso la cornisa cantábrica verá aparecer patógenos antes limitados por el frío.	**Media-alta** – Muchos cultivos hoy dependen de fitosanitarios; si aparecen plagas nuevas, la vulnerabilidad es alta en monocultivos no acostumbrados a ellas. Sistemas diversos o tradicionales pueden resistir algo mejor. En general, la capacidad de respuesta existe (productos nuevos) pero con costes.	**Media-alta** – Ya se están detectando nuevas plagas/enfermedades (ej. el cotonet de Sudáfrica en cítricos). La urgencia es alta para mejorar vigilancia y control integrados, aunque la aparición es paulatina, cada año una novedad.	**Media-alta** – Importante porque amenaza la productividad agrícola y la sanidad vegetal, ámbitos cruciales para la economía y exportaciones españolas. La protección fitosanitaria es estratégica para garantizar cultivos; no obstante, comparado con sequía su visibilidad es menor, aunque convergen como factor de riesgo alimentario.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
AG6	**Impactos en la producción ganadera intensiva** (estrés por calor en granjas, menor productividad)	**Media** – La ganadería intensiva (porcina, avícola) aporta a la industria alimentaria; el estrés térmico reduce su conversión alimenticia, lo que puede encarecer producción. Indirectamente, puede afectar precios cárnicos y requiere más energía (ventilación, refrigeración), impactando también emisiones.	**Media** – Golpes de calor pueden causar mortandad en granjas mal climatizadas (ha habido casos en olas de calor). En general, disminuyen fertilidad y crecimiento, bajando la producción (leche, carne, huevos). Son pérdidas económicas para productores, pero no críticas a nivel país salvo eventos severos.	**Alta** – Altamente probable. España ya experimenta veranos que ponen a prueba las granjas (≥40°C). Sin adaptación, se verán reducciones productivas cada verano y posibles mortalidades. Es prácticamente seguro con el incremento térmico.	**Alta** – Donde se concentran granjas intensivas: Valle del Ebro, interior de Cataluña, Castilla y León, sureste. Estos lugares alcanzan altas temperaturas. En mayor o menor medida, toda explotación intensiva sin climatización suficiente es susceptible.	**Media** – Muchas granjas ya han implementado ventilación y sistemas de refrigeración, reduciendo vulnerabilidad. Sin embargo, instalaciones antiguas o al aire libre (cebaderos extensivos) son muy vulnerables.	**Media** – Problema creciente pero abordable en el corto plazo con inversión en climatización. Urgencia moderada: importante adaptarse antes de las olas de calor cada verano, pero se puede hacer con medidas conocidas.	**Media** – Importancia media: mantener la industria ganadera es relevante, pero, dado que puede adaptarse con tecnología, no alcanza la criticidad de otros impactos. Eso sí, tiene implicaciones en bienestar animal y economía rural, mereciendo atención en políticas sectoriales.
AG7	**Impactos en la producción ganadera extensiva** (menor pasto por sequía, falta de agua para el ganado, eventos extremos)	**Media** – Las dehesas y sistemas extensivos sufren en sequía (hay que comprar forraje, reducir cabaña). Esto afecta la economía rural y gestión de montes (más riesgo de incendios por menos ganado pastando). Puede influir en precios de ciertos productos (carne de vacuno extensivo).	**Media-alta** – En sequías severas muere ganado por falta de agua o alimentación, y muchos ganaderos se ven abocados al sacrificio de parte de la cabaña. Puede llevar al abandono de la actividad en zonas marginales, con pérdida cultural y aumento de combustible vegetal (más incendios).	**Alta** – Muy probable. Ya en 2017 y 2022 muchos pastos se secaron totalmente, obligando a medidas de emergencia. Con más sequías prolongadas, estas situaciones serán frecuentes.	**Alta** – Zonas extensivas de toda España: dehesas de Extremadura/Andalucía, pastos de montaña en verano (Pirineos, Cordillera Cantábrica). La sequía afecta a la gran mayoría de áreas ganaderas extensivas del país en algún grado.	**Alta** – Alta vulnerabilidad: estos sistemas dependen del pasto natural, sin riego posible. La capacidad adaptativa es limitada (solo caben reducciones de carga ganadera o suplementar, con altos costes). Tras varias sequías seguidas, la resiliencia se agota.	**Alta** – Es ya urgente; muchas explotaciones extensivas están en crisis por la sucesión de años secos. Sin apoyo y adaptación (bajar cargas, diversificar) en lo inmediato, corren peligro de desaparecer en algunas zonas.	**Alta** – Estratégicamente, la ganadería extensiva contribuye a la gestión del territorio (evitar incendios, fijar población). Su declive tendría impactos ambientales y socioeconómicos importantes. Por ello, su adaptación es prioritaria en el PNACC (considerada altamente vulnerable).

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
AG8	**Daños agrícolas por eventos hidrometeorológicos extremos distintos de la sequía** (granizo, tormentas, heladas tardías, riadas)	**Media** – Eventos como granizadas o inundaciones afectan cosechas localmente, pudiendo arruinar producciones en una comarca. Impactan la economía local y cadenas de suministro concretas (ej. una DANA arrasa hortalizas de una vega), pero no suelen tener efecto macroeconómico nacional salvo que se encadenen muchos.	**Media** – Pueden ser muy destructivos localmente: granizo puede perder el 100% de la cosecha en minutos; inundaciones aplastan cultivos; heladas inesperadas dañan frutales en flor. Sin embargo, la severidad a escala nacional es mitigada por seguros agrarios y diversificación geográfica.	**Alta** – Se prevé mayor intensidad de tormentas convectivas (granizo grande) y lluvias torrenciales, así como mayor variabilidad térmica (riesgo de heladas tras días cálidos). Por tanto, es muy probable que aumenten estos eventos dañinos puntuales.	**Media-alta** – Regional: comarcas hortofrutícolas (Levante, Valle del Ebro) son propensas a granizo; vegas fluviales a inundaciones; frutales tempranos (C. Valenciana, Aragón) a heladas tardías. Distintos impactos en diferentes zonas, cubriendo en conjunto buena parte del país agrícola.	**Media** – Los agricultores tienen cierta resiliencia vía seguros y técnicas (mallas antigranizo, etc.), pero no en todos lados. Sistemas intensivos suelen estar asegurados (baja vulnerabilidad financiera), extensivos menos.	**Media** – Siempre ha sido un riesgo manejado con seguros; la urgencia adicional es moderada. Sin embargo, eventos más extremos pueden sobrepasar coberturas, por lo que conviene reforzar prevención y seguros a medio plazo.	**Media** – Gracias a seguros y ayudas, este impacto está parcialmente controlado en política. Es importante pero no tanto como sequía para la estrategia global agraria. No obstante, un aumento sostenido de eventos podría tensionar el sistema de seguros, volviéndolo más relevante estratégicamente.
AG9	**Pérdida de fertilidad o erosión de suelos** (degradación de suelos agrícolas por sequía, lluvias torrenciales e incendios)	**Alta** – Suelos erosionados reducen la productividad agrícola a largo plazo, afectando la seguridad alimentaria y la resiliencia frente al clima. Además, la erosión acarrea sedimentación de embalses (SW4, ECS8) y desertificación, con efectos ambientales y socioeconómicos amplios (abandono rural, dust bowls).	**Alta** – España ya tiene 74% del territorio vulnerable a la desertificaciónhttps://climatica.coop/espana-afronta-141-riesgos-climaticos/. La pérdida de suelo fértil es un daño prácticamente irreversible en tiempos humanos. Afecta no solo al agro, también a ecosistemas y asentamientos (colapsos, polvo). Es de las consecuencias más graves a largo plazo.	**Alta** – Muy probable. El clima más seco y caliente acelera la descomposición de materia orgánica y reduce la vegetación protectora, facilitando erosión. Lluvias torrenciales barren suelos descubiertos post-sequía/incendio. Sin mitigación, la pérdida de suelos se incrementará significativamente.	**Alta** – Extenso: cuencas del sureste y valle del Ebro ya sufren erosión severa; también laderas de zonas semiáridas. Prácticamente en todas las zonas agrícolas de secano y forestales degradadas se espera algún grado de empeoramiento.	**Alta** – Muchas áreas ya tienen suelos empobrecidos y sin cubierta vegetal en verano; altísima vulnerabilidad a la erosión. La capacidad de regeneración natural es baja en climas áridos.	**Alta** – Ya está en curso; cada año de sequía vemos suelo perdido. Es imperativo actuar ya en conservación de suelos (cubiertas vegetales, terrazas) porque luego es tarde.	**Alta** – La protección del suelo es estratégica para la sostenibilidad agraria y ambiental. La desertificación amenaza la habitabilidad y productividad futura del territorio español, por lo que su relevancia estratégica es máxima (prioridad destacada en PNACC).

Energía e industria

Los impactos climáticos en energía e industria están ligados sobre todo a la disponibilidad de agua y a eventos extremos. La hidroenergía sufrirá una merma notable: informes prevén reducciones significativas de producción en el Mediterráneo por la caída de caudales. Esto tiene implicaciones en el sistema eléctrico – España ya notó en 2019-2020 cómo la baja hidráulica elevó los precios de la luz. Asimismo, las centrales térmicas y nucleares enfrentan riesgos de refrigeración: en veranos secos, los ríos pueden no aportar suficiente agua o esta puede estar demasiado caliente para enfriar las plantas sin rebasar límites ambientales. Francia vivió esto en 2019 y España podría replicarlo en zonas como el Tajo o Ebro (Trillo, Ascó). De hecho, el nexo agua-energía se destaca como vulnerabilidad en el perfil español. Por otro lado, eventos extremos (inundaciones, incendios) amenazan infraestructuras críticas: la tormenta Gloria dañó redes eléctricas en Cataluña, y los incendios veraniegos ponen en peligro líneas de alta tensión. Estos impactos son de *propagación alta*, pues una caída de la red eléctrica afecta a todos los sectores (transporte, comunicaciones, hogares).

En la industria, el principal factor es la escasez de agua para procesos. En sequías extremas, podría restringirse suministro a zonas industriales tras asegurar población y agricultura prioritarias. Sectores como la alimentación, química o textil podrían verse forzados a recortes productivos. Aunque hasta ahora esto no ha sido generalizado, es un escenario posible con estrés hídrico creciente. Cabe señalar que la planificación hidrológica española ya considera otorgar prioridad alta al uso industrial tras el abastecimiento, mitigando algo la vulnerabilidad.

Finalmente, en cuanto a nuevas soluciones energéticas: la producción de biomasa y biocombustibles depende de recursos naturales (bosques, cultivos) susceptibles al clima (incendios, sequía). También el incipiente sector del hidrógeno verde requerirá agua en abundancia para electrolisis. Si no se planifica con fuentes no convencionales (reutilización o desalación), el clima podría limitar su expansión. Si bien estos impactos se valoran hoy moderados por la poca implantación actual, *a futuro cobran relevancia* en la estrategia de descarbonización.

En suma, los criterios tienden a valorarse altos en probabilidad y severidad para la hidroeléctrica y la vulnerabilidad del *nexo agua-energía*, y altos en importancia dada la criticidad de la energía para la sociedad. Los impactos industriales se valoran algo menores, con importancia media, salvo en casos muy específicos. Las evidencias (como la fuerte interdependencia agua-energía destacada por el PNACC y las proyecciones de AR6) refuerzan estas evaluaciones.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
EI1	**Disminución de la producción hidroeléctrica** (menos generación por caudales reducidos)	**Alta** – La menor hidroeléctrica debe compensarse con otras fuentes (gas, nuclear), afectando al mix eléctrico y precios, con efecto sistémico en roda la esonomía. Puede obligar a importar energía o quemar más combustibles (impacto en emisiones).	**Alta** – En años secos recientes, la generación hidroeléctrica española cayó hasta un 40%, encareciendo notablemente la electricidad y reduciendo la seguridad de suministro en picos. Si se vuelve crónico, supone pérdida de un recurso energético barato y gestionable.	**Alta** – Muy probable. Con caudales y embalses menguantes por cambio climático, la capacidad media de generación hidroeléctrica anual descenderá de forma sostenida. Ya en AR6 se prevé menor potencial hidro en el Mediterráneo.	**Alta** – Afecta a todas las cuencas con embalses hidroeléctricos (Duero, Tajo, Ebro, Guadiana, etc.). España entera notará la merma en su sistema eléctrico, aunque las plantas en el norte (más lluvia) sufrirán menos que las del sur.	**Media** – Cierta resiliencia: el parque hidro tiene margen de operación y se priorizará generar en horas punta. Pero si falta agua, no hay sustituto directo; vulnerabilidad moderada a fuerte en sequías plurianuales.	**Media** – Problema creciente pero progresivo. No exige acción de emergencia inmediata, pero sí planificar a medio plazo el mix energético considerando menos hidro.	**Alta** – La hidroeléctrica es estratégica para la regulación de la red (almacenamiento). Su declive reduce flexibilidad frente a demanda punta. Aunque se puede suplir con otras fuentes, se pierde soberanía energética renovable; es importante en planificación.
EI2	**Limitaciones en la refrigeración de centrales térmicas e industriales** (por falta de agua o agua demasiado caliente)	**Media** – Centrales nucleares o térmicas que no puedan refrigerar deben reducir potencia, pudiendo comprometer la estabilidad de la red en picos de demanda, lo que afectaría a consumidores y sector productivo. También en industria (refinerías, siderúrgicas) la falta de agua de enfriamiento puede forzar paradas.	**Media-alta** – Un ejemplo: en 2017 la nuclear de Trillo redujo carga por caudal bajo del río. Si varias plantas se limitan simultáneamente en ola de calor, hay riesgo de apagones parciales. Económicamente, paros industriales por refrigeración implican grandes pérdidas de producción.	**Media-alta** – Bastante probable. Ríos con menor caudal y más calor verán temperaturas por encima de límites de vertido, obligando a recirculación o parada. Ha ocurrido en Europa (Francia) y es previsible en España en veranos extremos.	**Media** – Plantas concretas: nucleares en Tajo, Ebro; térmicas e industrias en cuencas pequeñas. No es generalizado geográficamente, pero las afectadas son críticas para el sistema.	**Media** – Las centrales cuentan con planes de calor, pero no están totalmente a salvo si el río baja mucho. Vulnerabilidad moderada; suelen tener cierto margen (embalses de reserva, torres refrigeración).	**Media** – Por ahora manejable con gestión puntual, pero conforme suban extremos se vuelve más apremiante garantizar refrigeración. Urgencia media: conviene empezar adaptación (sistemas cerrados, torres) antes de que ocurra un incidente mayor.	**Alta** – Mantener la generación y la industria operativa es estratégico. Cualquier factor que las limite (como falta de agua) adquiere alta relevancia. Por eso, aunque localizado, se debe tratar como prioridad en seguridad energética/industrial.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
EI3	**Daños en infraestructuras energéticas por eventos extremos** (líneas eléctricas, oleoductos, etc., afectados por riadas, vientos, incendios)	**Media-alta** – Tormentas e inundaciones pueden tumbar torres eléctricas, cortar suministro a amplias zonas (apagones). Incendios dañan postes y cableado. Esto afecta transversalmente a todos los sectores que dependen de la energía y comunicaciones (efecto cascada considerable).	**Media-alta** – Ya se han visto apagones significativos por DANA (ej. en Murcia 2019). Un evento severo puede dejar sin luz a cientos de miles, con daños económicos y potencial riesgo civil (falta de calefacción/refrigeración, parálisis de transportes). Sin embargo, suelen reponerse en días, no es devastador a largo plazo.	**Media-alta** – Probable. Se esperan temporales más intensos, crecidas récord y mega incendios – todos con capacidad de dañar infraestructuras. Las estadísticas indican aumento de incidencias climáticas en redes europeas.	**Alta** – Puede ocurrir en cualquier región según el fenómeno (vientos fuertes en costas, riadas en cuencas, incendios en bosques con líneas). En conjunto, toda la geografía tiene algún tipo de exposición.	**Media** – Las infraestructuras están diseñadas con cierto margen y se reparan relativamente rápido. Aun así, vulnerabilidad existe, sobre todo en instalaciones antiguas o mal mantenidas.	**Media-alta** – Vistos los eventos recientes, es urgente reforzar algunas infraestructuras críticas (p.ej. enterrar líneas sensibles) antes de que ocurran fallos mayores.	**Alta** – La resiliencia de la red energética es estratégica nacionalmente. Este impacto es de alta importancia, reflejado en planes de adaptación sectoriales por la potencial cascada de consecuencias.
EI4	**Afectación de la producción industrial por escasez de agua** (fábricas que reducen producción por falta de agua de proceso)	**Media** – Industrias que consumen mucha agua (alimentaria, textil, papelera) podrían ver restringido su acceso en sequía, frenando producción. Ello repercute en la cadena de suministro (menos productos, posible ERTEs) y en la economía local. A escala macro, solo sectores puntuales sufrirían, no toda la industria.	**Media** – Reducciones de producción implican pérdidas económicas locales, pero la severidad nacional es limitada salvo en polos industriales muy dependientes de agua (ej. refinerías, químicas). Pudiera implicar pérdida de competitividad internacional de esas plantas.	**Media** – Posible en escenarios de sequía muy extrema. Por ahora, incluso en sequías graves, se prioriza el agua industrial tras abastecimiento. Sin embargo, con estrés hídrico mayor podría darse (ya en 2022 algunas industrias redujeron turnos por ahorro de agua).	**Media** – Acotado a zonas industriales sin fuentes alternativas: p.ej. cuencas interiores pequeñas (Guadiana alto), donde una papelera o alimentaria compite con riego y urbano. Polígonos costeros pueden paliar con desaladoras, etc.	**Media** – Muchas industrias han mejorado eficiencia y tienen planes de contingencia, no son totalmente vulnerables. Aun así, instalaciones sin reciclaje interno o dependientes de caudal de ríos pequeños están expuestas.	**Media** – No es inminente a gran escala, pero conviene anticipar en planes de cuenca. Urgencia moderada: enfocada en zonas con alerta de abastecimiento industrial.	**Media** – Importancia media: mantener la actividad industrial es crucial, pero este impacto se circunscribe a sectores específicos. Con buena gestión de recursos, se puede atenuar. Estratégicamente, es relevante asegurar agua a industrias clave para la economía local.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
EI5	**Impacto en la bioenergía y nuevos sistemas energéticos** (disponibilidad de biomasa, biocombustibles, hidrógeno verde condicionados por agua)	**Media-baja** – Si cultivos energéticos o biomasa forestal disminuyen por sequía, afecta la planificación de energías renovables emergentes, pero de momento son parte pequeña del mix. El hidrógeno verde requiere mucha agua para electrólisis; en estrés hídrico podría limitar proyectos, con cierto efecto en la transición energética.	**Media-baja** – La severidad directa es limitada pues aún son sectores incipientes. Sin embargo, a largo plazo, si la escasez de agua impide escalar biocombustibles o hidrógeno, podría ralentizar objetivos climáticos y obligar a importarlos (impacto estratégico moderado).	**Media** – Hipotético. Depende de cuánto apueste España por estas tecnologías y de las mejoras en eficiencia hídrica. Podría ser un problema si en el futuro muchas plantas de hidrógeno compiten por agua, algo aún por ver.	**Media** – Localizado donde se planten biocombustibles (de momento, poca superficie) o donde se proyecten polos de hidrógeno (probablemente costa con desalación). La extensión sería baja.	**Media** – La vulnerabilidad se puede mitigar desde el diseño (usar agua reutilizada o desalinizada para hidrógeno, etc.). Por ahora, es manejable.	**Baja** – A corto plazo no es prioritario; hay tiempo de sobra para planificar estos sistemas con disponibilidad de agua en mente.	**Media-baja** – De menor importancia estratégica inmediata, dado que el grueso del sector energético no depende de estos subsectores hoy. No obstante, en visión de futuro, asegurar agua para la transición energética (hidrógeno, biorefinerías) es un tema a considerar en políticas integradas.

Ocio, turismo y patrimonio natural vinculado al agua

El clima condiciona fuertemente las actividades de ocio y turismo relacionadas con el agua, así como el disfrute del patrimonio natural hídrico. En España, ya se reportan impactos como la degradación del Mar Menor por episodios de anoxia (relacionados con calor y escorrentías), que han afectado su uso recreativo y turístico. Los informes resaltan que la intensificación de eventos extremos incrementa el riesgo de inundaciones en áreas mediterráneas, lo cual puede golpear destinos turísticos (ej. la riada de 2023 en Valencia afectó zonas turísticas). Asimismo, las olas de calor cada vez más intensas pueden tornar incómoda la temporada alta de verano en ciertas regiones. El IPCC señala que el sur de Europa sufrirá mayores necesidades de refrigeración, y esto se traduce en posibles cambios de comportamiento turístico (viajeros que eligen meses menos cálidos). De hecho, ya se observa cierta tendencia a adelantar o retrasar vacaciones fuera de picos de calor. Esto tiene implicaciones para la planificación del sector, aunque es un fenómeno aún emergente.

Por otro lado, la pérdida de caudal en ríos y embalses reduce oportunidades de turismo activo (piragua, rafting) y deja imágenes poco atractivas (p.ej. embalses medio vacíos en plena temporada). Junto con la posible proliferación de algas o patógenos (vinculada a calidad, como *Vibrio* en aguas cálidas), podría afectar a la calidad de las experiencias de baño y recreo, aunque hasta ahora España mantiene estándares altos de calidad en la mayoría de sus playas (gracias a saneamiento y renovación marina). No obstante, en aguas continentales cerradas, ya se han dado cierres temporales por cianobacterias en algunos embalses recreativos durante olas de calor.

En cuanto al patrimonio natural escénico, cascadas emblemáticas o lagunas de alto valor cultural (por ej. Fuente Dé o las Tablas de Daimiel) ven mermado su esplendor con menos agua, afectando tanto al ecosistema como al turismo asociado. Este es un impacto menos cuantificable económicamente pero importante desde la perspectiva de pérdida de valor natural. El PNACC y la evaluación ERICC mencionan que la pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos puede generar impactos en cascada, incluyendo en sectores como turismo de naturaleza.

En conjunto, se ha evaluado estos impactos con severidades y probabilidades medias a altas, y propagación generalmente limitada (afectan sobre todo a las comunidades locales y sector turismo, no a toda la economía). La importancia estratégica varía: es alta cuando consideramos el turismo global (dada su aportación al PIB), pero individualmente estos impactos son manejables con adaptación (el turismo puede ajustar calendarios, diversificar ofertas). Sin embargo, son aspectos cruciales para regiones específicas cuyo sustento depende de un atractivo natural o de una temporada concreta, por lo que localmente revisten gran importancia. Integrar estos riesgos en la planificación hidrológica – coordinada con planificación turística y ambiental – ayudará a proteger tanto los ecosistemas asociados al agua como las actividades económicas que de ellos dependen.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
RE1	**Deterioro de la calidad de aguas de baño y recreo** (playas, ríos)	**Media** – Cierres de playas o embalses por mala calidad (algas tóxicas, bacterias) afectan al turismo local y ocio ciudadano, con pérdidas económicas en destinos puntuales. No suele tener mayores efectos sistémicos.	**Media** – Puede causar problemas de salud (infecciones cutáneas, gastrointestinales) y dañar la imagen turística de ciertos destinos si ocurre frecuentemente. Aun así, la severidad global es moderada, circunscrita a experiencias de bañistas y rentas locales.	**Media-alta** – Probable. El calentamiento del agua favorece patógenos marinos como *Vibrio*, ya registrados en Europa, y proliferación de medusas o algas en playas. En aguas continentales, más eutrofización y cianobacterias pueden prohibir el baño en embalses.	**Media** – Local: zonas costeras poco renovadas (marismas, rías) y embalses concurridos son más propensas. No todo el litoral ni todos los ríos se verán igual; será en sitios específicos (p.ej. Mar Menor, ciertas playas tras lluvias).	**Media** – Playas turísticas suelen tener vigilancia sanitaria (menos vulnerables, se reabren rápido). Más vulnerables son aguas recreativas interiores donde es difícil controlar algas/patógenos una vez presentes.	**Media** – De momento, incidentes esporádicos. Si aumentan, habrá que actuar (mejor depuración, alertas). No es urgente nacionalmente, pero debe monitorearse cada temporada.	**Media** – Importancia moderada: incide en turismo (sector clave) pero salvo casos excepcionales no amenaza su conjunto. Eso sí, para destinos concretos (p.ej. balnearios de interior, Mar Menor) es crítico mantener la calidad del agua, por lo que tiene peso estratégico regional.
RE2	**Reducción de caudales y niveles en ríos y embalses** (afectando actividades recreativas: piragüismo, navegación, pesca deportiva)	**Media-baja** – Menos agua para recreo impacta principalmente a empresas turísticas locales y usuarios recreativos. Poca propagación más allá del sector turismo/rural local, aunque puede disminuir ingresos municipales en zonas de turismo activo.	**Media** – Ciertas actividades podrían cesar (ej. rafting en ríos secos, pantanos inutilizables para navegación). Pérdidas económicas para negocios de ocio y deterioro del atractivo natural. Sin embargo, no es un daño grave a gran escala, sino en economías de nicho.	**Alta** – Muy probable. Ya muchos ríos llevan mínimos históricos en verano por la sequía, afectando deportes de aguas bravas. Embalses vacíos (2022, 2023) dejaron puertos deportivos en seco. Estas situaciones serán cada vez más comunes con el descenso hídrico proyectado.	**Alta** – Generalizado: afecta cuencas de toda España, con mayor incidencia en mediterráneas. La mayoría de los destinos de turismo fluvial o de embalse experimentarán menor caudal/nivel en veranos futuros, limitando las temporadas.	**Media-alta** – Pueblos que diversificaron en turismo activo (rafting, pesca) tienen vulnerabilidad alta (no hay alternativa si no hay agua). Regiones con embalses para recreo también (sus inversiones turísticas dependen del agua).	**Alta** – Ya está ocurriendo (veranos sin apenas descensos de ríos navegables, embalses por debajo del 30%). Es urgente replantear esas ofertas turísticas o adaptarlas, pues en el corto plazo la situación puede empeorar súbitamente en una sequía.	**Media** – Aunque localmente importante, a escala nacional el turismo de agua dulce es un segmento menor. Su afectación es relevante para diversificación rural, pero no al nivel del turismo de sol y playa. Aun así, en contexto de desarrollo rural merece atención para apoyar alternativas.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
RE3	**Pérdida de atractivos naturales vinculados al agua (cascadas, lagunas…)**	**Media** – Menos cascadas o lagunas secas reducen el atractivo turístico de ciertos parajes, afectando economías locales (guías, restaurantes). Propagación limitada al sector turístico local y al patrimonio natural/cultural.	**Media** – Para destinos que basan su atractivo en un elemento hídrico (p.ej. nacimientos de río, cascadas famosas), la pérdida de ese elemento resta gran parte del valor. Puede implicar disminución notable de visitantes y, por ende, ingresos. Sin embargo, no es severo en términos absolutos salvo para comunidades muy dependientes.	**Alta** – Muy probable. Ya hay cascadas que pasan secas gran parte del año o lagunas estacionales más tiempo sin agua. Con menos lluvia, muchos de estos hitos naturales perderán su esplendor con alta frecuencia.	**Media-alta** – Varias comunidades: ejemplo, los Ojos del Guadiana secos, cascadas en cuencas del Duero o Tajo reducidas, humedales esteparios permanentemente secos. Muchas regiones tienen algún enclave así susceptible.	**Media** – La vulnerabilidad varía: algunas atracciones tienen regulaciones (embalses que aseguran caudal mínimo a cascadas), otras dependen 100% de la naturaleza. Estas últimas son altamente vulnerables.	**Media** – Es un cambio paulatino; en la última década ya se notó en ciertos lugares. No es urgencia vital, pero para conservar esos valores se requerirían acciones de restauración en próximos años.	**Media-baja** – A escala estratégica nacional, es un impacto de orden secundario (patrimonial/paisajístico). No obstante, localmente puede suponer la desaparición de un reclamo turístico importante. Desde el punto de vista cultural y ambiental, tiene importancia en la conservación del patrimonio natural.
RE4	**Alteraciones en la temporada turística por clima extremo** (veranos demasiado calurosos, eventos extremos que acortan temporadas)	**Media-alta** – Cambios en el flujo turístico afectan al sector servicios de muchas regiones. Si turistas evitan pleno verano por calor o riesgo de incendios, se desplaza la demanda a otras temporadas o destinos (efecto económico en cadena en hostelería, transporte).	**Media** – Podría reducir ingresos en destinos tradicionales de verano si estos se vuelven menos agradables. No obstante, algunos impactos son compensables (turismo se desplaza temporalmente). Podría aumentar costes (más aire acondicionado, adaptar horarios) y generar saturación en otras épocas.	**Media-alta** – Probable. Ya se observan comportamientos: olas de calor intensas en el Mediterráneo hacen que turistas busquen refugio o viajen antes/después. Las proyecciones indican veranos más tórridos que pueden sobrepasar la tolerancia de muchos visitantes. Eventos como DANAs en septiembre también pueden espantar turismo.	**Alta** – Amplio: todo destino de sol y playa en España, que es base de la industria turística, se verá afectado de algún modo por el calor creciente. También destinos de interior (ciudades históricas) en olas de calor extremas.	**Media** – El sector turístico tiene cierta adaptabilidad (puede promocionar primavera/otoño, por ejemplo), pero está muy arraigado al verano. Además, muchos negocios pequeños no tienen estructura para variaciones bruscas (vulnerabilidad moderada).	**Media** – Se empieza a notar, pero gradualmente. No es una crisis inmediata, aunque conviene prepararse diversificando oferta fuera de verano.	**Alta** – Dado que el turismo representa ~12% del PIB español, cualquier alteración en sus patrones es de alta importancia. Adaptar el modelo turístico al nuevo clima (más resiliente a extremos) es estratégico para la economía nacional.

Acuicultura y Pesca Continental

Se identifican varios riesgos del cambio climático sobre la acuicultura marina y continental, con impacto sobre todo local y regional, pero con probabilidad alta de intensificación. El descenso del rendimiento acuícola se valora de impacto medio, pero con severidad y probabilidad altas por el efecto ya observable del aumento de temperatura, las olas de calor, las sequías y los daños en infraestructuras (jaulas, bateas), que incrementan mortalidades y costes y obligan a adaptar o desplazar explotaciones. La intrusión salina en deltas y estuarios se considera de impacto moderado a escala país, pero potencialmente catastrófico a escala local, al poder inutilizar suelos y áreas de cultivo en un contexto de ascenso del nivel del mar y menores caudales fluviales.

En aguas continentales, el riesgo más crítico es el cambio en las poblaciones de peces nativos, con severidad, probabilidad, extensión, vulnerabilidad y urgencia altas por la combinación de calentamiento, sequías, estratificación de embalses y presiones previas (barreras, contaminación, especies exóticas), que puede llevar a extinciones locales y pérdida de funciones ecosistémicas. La aparición de nuevas enfermedades y parásitos en sistemas de cría tiene un carácter más sectorial, con severidad y probabilidad medio-altas, pero extensión limitada, al concentrarse en explotaciones concretas con altas densidades, baja diversidad genética y brechas de bioseguridad; se subraya una urgencia medio-alta de reforzar vigilancia, bioseguridad e I+D para reducir la magnitud de futuros brotes.

Cód.	Impacto	Propagación	Severidad	Probabilidad	Extensión	Vulnerabilidad	Urgencia	Importancia
AC1	**Descenso del rendimiento de la acuicultura por condiciones adversas**	**Media** – El menor rendimiento acuícola impacta sobre todo a nivel local-regional (comunidades costeras/rurales) y en la disponibilidad de algunos productos, con efectos en cadena moderados sobre otros sectores.	**Media-Alta** – Puede causar pérdidas notables de biomasa y rentabilidad. Las olas de calor ya provocan mortalidades y estrés, reduciendo la producción; y los temporales dañan jaulas/bateas y elevan costes operativos.	**Alta** – Muy probable que se intensifique: proyecciones indican aguas más cálidas, más olas de calor y sequías en España. Con alta certeza, estas condiciones seguirán y empeorarán.	**Media** – Exposición focalizada en zonas con acuicultura: áreas costeras (Galicia, litoral mediterráneo; mejillón, ostra, dorada, lubina…) y sistemas continentales concretos (truchicultura en ríos fríos y estanques).	**Media-Alta** – Muchas explotaciones usan especies sensibles a temperatura y calidad del agua y tienen poco margen de adaptación rápida, lo que incrementa la vulnerabilidad.	**Media-Alta**. – Riesgo gradual pero ya visible; urge adaptar. En años muy cálidos o secos se han registrado mortalidades por temperaturas Altas y déficit de oxígeno.	**Media** – Sector estratégico por empleo, economía local y alimentos, aunque de peso moderado en el PIB y el empleo agroalimentario . Relevante para seguridad alimentaria y desarrollo rural.

AC2	**Intrusión salina y cambios en estuarios que afectan cultivos marinos**	**Media** – Impactos ambientales con efectos en cadena principalmente locales-regionales: pérdida de hábitat y servicios, salinización de recursos, desplazamiento/reubicación de cultivos y efectos socioeconómicos en comunidades pesqueras y agrícolas si no se gestiona coordinadamente.	**Media-Alta** – Localmente puede ser catastrófica: inutiliza tierras y zonas acuícolas, causa mortalidades y cambios económicos duraderos. Riesgo de baja reversibilidad; sin medidas, deltas como el Ebro podrían degradarse/hundirse. Agregado nacional moderado.	**Alta** – Ascenso del mar (50–60 cm a 2100) y menores caudales por sequía/evaporación intensificarán y prolongarán la cuña salina; ya se observan intrusiones relevantes (p. ej., Ebro en sequías). Tendencia con alta certeza.	**Media-baja** – Focalizada en deltas y estuarios vulnerables (Ebro, Guadalquivir, otros). Superficie reducida, pero con ecosistemas y actividades muy sensibles (marisqueo, acuicultura, arroz); la mayor parte del litoral se ve poco afectada.	**Alta** – Sistemas frágiles por regulación, déficit de sedimentos y subsidencia; acuíferos ya salinizados y defensas insuficientes. Escasa capacidad de reubicación; pequeños cambios en nivel/caudal provocan intrusiones notables.	**Media** – Proceso gradual pero potencialmente irreversible: urge planificar ahora (sedimentos, restauración, barreras) para evitar pérdidas permanentes en próximas décadas. Permite respuestas escalonadas, pero no posponer esta década.	**Media-baja** – Impacto local/sectorial que no compromete pilares nacionales del agua; estratégico por el valor único de deltas/estuarios y actividades asociadas. Alta relevancia regional (Ebro, Doñana); prioridad para conservar servicios y valores culturales.
AC3	**Cambios en las poblaciones de peces continentales**	**Media** – Impacto sobre todo ecológico: desequilibrios tróficos y pérdida de servicios (p. ej., control de plagas, calidad del agua). Efectos socioeconómicos acotados (pesca recreativa/local), con costes de conservación puntuales.	**Alta** – Riesgo de pérdidas irreversibles de especies endémicas y degradación funcional de ríos; los hábitats dulces concentran más extinciones locales por cambios climático. Casos como el salmón cantábrico y endemismos mediterráneos lo evidencian; probable homogenización faunística.	**Alta** – Ya se observan desplazamientos altitudinales/latitudinales; IPCC proyecta más calor, sequías y olas de calor que reducirán hábitat y aumentarán estrés e invasoras. Impactos graduales y episodios agudos muy probables.	**Alta** – Prácticamente todas las cuencas expuestas; mayor intensidad en zonas mediterráneas, pero también en cantábricas/pirenaicas por veranos más cálidos. Embalses más estratificados y bajadas de nivel amplían la exposición; tendencia generalizada en ríos ibéricos.	**Alta** – Poblaciones ya presionadas (extracciones, contaminación, barreras, exóticas) con baja resiliencia; ejemplos críticos como el salmón del Bidasoa. Especies de arroyos temporales muy sensibles; conectividad limitada y gestión adaptativa aún incipiente.	**Alta** – Impactos presentes y ventana corta para evitar extinciones locales; riesgo de muy baja reversibilidad. Priorizar ya restauración, refugios térmicos y caudales ecológicos antes de nuevos veranos extremos.	**Media** – Aunque el peso económico es menor, es estratégico para objetivos de conservación, servicios ecosistémicos y salud de masas de agua; indicador de degradación ambiental con implicaciones para otros usos. Relevante, pero por debajo de agua/energía.

AC4	**Nuevas enfermedades y parásitos en sistemas de cría**	**Media - baja**. Impacto mayormente sectorial; efectos en cadena limitados. Puede afectar fauna silvestre cercana y generar costes/ restricciones comerciales, pero rara vez escala a crisis nacionales.	**Media - Alta**. Brotes pueden causar 50–100% de mortalidad y pérdidas económicas graves, especialmente en pequeñas explotaciones; control difícil (vaciados, tratamientos). Magnitud país amortiguada por la compartimentación.	**Media - Alta**. Aguas más cálidas y sequías favorecen patógenos y vectores; ya emergen enfermedades en latitudes altas. Alta confianza en más episodios, con incertidumbre sobre patógenos concretos.	**Media - baja**. Exposición centrada en granjas (bateas, piscifactorías, alevinajes) de varias comunidades autónomas; efectos especie-dependientes y colaterales locales en fauna silvestre. Nichos concretos, aunque casi todas las explotaciones son potencialmente vulnerables.	**Alta**. Densidades altas, baja diversidad genética y agua compartida facilitan transmisión; brechas de bioseguridad y escasez de vacunas. Casos recientes: VNN en dorada, *L. garvieae* en lubina. Capacidad adaptativa aún incipiente (mejora genética, vigilancia, coordinación).	**Media - Alta**. Riesgo ya activo y de aparición súbita; urge reforzar bioseguridad, vigilancia y I+D de vacunas. Retrasos elevan la probabilidad y severidad de brotes pese a cierta capacidad de respuesta.	**Media - baja**. Relevante para seguridad alimentaria regional y "enfoque de salud única" (evitar uso excesivo de antibióticos / resistencia a los antimicrobianos y raras zoonosis), pero sin comprometer pilares nacionales; contribuye a proteína sostenible con menor escala que agricultura/ganado.

Conclusiones

En resumen, la aplicación de criterios cualitativos de evaluación evidencia que todos los impactos identificados revisten algún grado de relevancia en la planificación hidrológica adaptativa en España, si bien con distintos matices:

- Impactos relacionados con la **disponibilidad de agua** (recursos hídricos superficiales y subterráneos) obtienen sistemáticamente valoraciones **altas** en severidad, probabilidad, urgencia e importancia estratégica. La reducción de recursos por cambio climático es prácticamente un *hecho cierto* en las próximas décadas, y amenaza pilares básicos como el abastecimiento, la agricultura y los ecosistemas acuáticos.
- En cuanto a **calidad del agua**, se perfila también como un ámbito crítico, con valoraciones altas en probabilidad y severidad para aspectos como la concentración de contaminantes, eutrofización e incumplimiento de objetivos ambientales. El cambio climático actuará como *multiplicador de riesgos existentes* (p. ej. contaminación difusa, sobreexplotación), exacerbando problemas de calidad ya presentes.
- Los impactos sobre **ecosistemas acuáticos** y biodiversidad alcanzan igualmente niveles altos, en particular porque muchos de ellos son irreversibles (extinción de especies, degradación de humedales) y tienen efecto cascada sobre servicios ecosistémicos fundamentales]. España, por su alta biodiversidad, enfrenta aquí un reto estratégico de conservación.
- Los **riesgos sistémicos** asociados a eventos extremos (sequías e inundaciones) obtienen las máximas valoraciones en casi todos los criterios. Son riesgos de naturaleza transversal, capaces de producir daños catastróficos, y cuya *gestión integrada* es prioritaria en políticas nacionales.
- En sectores socioeconómicos clave (agua urbana, agricultura, energía, turismo), los impactos analizados muestran en su mayoría **alta probabilidad** de intensificarse con el clima futuro, y pueden comprometer la seguridad hídrica, alimentaria y energética si no se adoptan medidas de adaptación robustas. El Plan Nacional de Adaptación 2021-2030 ya identifica al agua, agricultura y energía entre los ámbitos de trabajo prioritarios, y los resultados aquí expuestos reafirman esa priorización mediante evidencia cualitativa y bibliográfica.

En este ejercicio se ha justificado cada evaluación con referencias a fuentes autorizadas: desde los informes del IPCC AR6 (que aportan el contexto científico global) hasta estudios nacionales recientes como el informe ERICC-2025 y el PNACC 2021-2030. Todas coinciden en la gravedad de los riesgos climáticos hídricos en España, subrayando **mensajes clave**:

- El **sur de Europa** (y en particular España) ya sufre impactos hídricos significativos y está entre las regiones más afectadas por **sequías, olas de calor e incendios**.
- A futuro, se proyectan **impactos muy negativos en recursos hídricos, agricultura y salud en regiones del sur**, con aumento de la **escasez de agua** y de los **eventos extremos**.
- Se requieren **acciones urgentes de adaptación integradas en la planificación hidrológica**: mejoras en gestión de sequías e inundaciones, conservación de ecosistemas, aumento de la eficiencia y diversificación de fuentes, entre otras.

La matriz cualitativa elaborada aporta una visión estructurada de qué impactos necesitan mayor atención (los de valor “Alta”) y por qué, orientando así la toma de decisiones. Por ejemplo, confirma la necesidad de priorizar medidas contra la sequía prolongada (riesgo crítico), contra la intrusión salina en acuíferos costeros (irreversible), o para reforzar la resiliencia del regadío y del abastecimiento urbano (alta vulnerabilidad actual). Del mismo modo, identifica impactos de importancia quizá más *local* o de largo plazo (p.ej. alteraciones en el turismo de baño, o nuevos riesgos como patógenos emergentes) que, sin ser los más apremiantes ahora, deben incorporarse en estrategias de seguimiento y adaptación gradual.

En conclusión, el análisis cualitativo muestra un panorama de riesgo climático alto para el agua en España, con múltiples impactos valorados en niveles de Alta o Media-alta en dimensiones clave. Esto refleja tanto la robustez de las evidencias científicas recopiladas (alta confianza en que el cambio climático intensificará esos impactos) como la necesidad de acciones adaptativas proporcionales.

Anejo 6. Indicadores de exposición y vulnerabilidad

Metodología general para la evaluación del riesgo

La metodología empleada sigue el enfoque general propuesto en la OECC, basado en el marco conceptual del IPCC (AR5–AR6), alineado con la propuesta de ESPON-CLIMATE. El análisis se estructura en tres componentes: Peligro (P), Exposición (E) y Vulnerabilidad (V), valoradas mediante un indicador o un conjunto de indicadores representativos. En el caso de la vulnerabilidad, puede utilizarse un indicador capaz de integrar simultáneamente la sensibilidad y la capacidad adaptativa o una combinación de ambas dimensiones.

El objetivo es disponer de información geográfica continua, homogénea y comparable para los tres componentes del riesgo. Para ello se han integrado diversas fuentes de información, originalmente heterogéneas en formato, escala y resolución, que se transforman posteriormente a una malla común. El proceso se ha desarrollado en las siguientes fases:

- **Sistema de proyección**: Todos los datos se transforman a ETRS89 / UTM Zone 30N (EPSG: 25830). Esta proyección es la recomendada para análisis cartográficos de precisión en España.
- **Rasterización**: cuando las tres componentes del riesgo presentan resoluciones espaciales diferentes, es necesario unificarlas para calcular un ráster de Riesgo coherente. Al decidir la resolución de trabajo se persiguieron tres objetivos: (1) evitar la generación de una falsa granularidad espacial a partir de datos que no la poseen; (2) minimizar la propagación de errores al elevar o reducir resoluciones; y (3) optimizar el coste computacional. Dado que el propósito principal del estudio es evaluar el impacto del cambio climático sobre la intensidad del peligro, por defecto se ha adoptado como resolución de análisis la resolución original del ráster de Peligro. Esta decisión prioriza la fidelidad de la componente climática en la que se centra el estudio y evita introducir información artificialmente fina o gruesa en dicha variable.
- **Reescalado**: Las tres componentes del riesgo (Peligro, Exposición y Vulnerabilidad) presentan unidades, rangos y distribuciones distintas. Para hacerlas comparables y permitir su combinación en un índice común, cada ráster se reclasifica en cinco categorías ordinales. El reescalado se realiza aplicando cortes basados en cuantiles (0–20–40–60–80–100%). Este procedimiento divide la distribución de cada variable en cinco intervalos que contienen aproximadamente el mismo número de celdas, evitando que variables con escalas muy amplias o con valores fuertemente concentrados dominen el resultado final. De esta forma, se garantiza una clasificación equilibrada y coherente desde el punto de vista espacial y estadístico. Las categorías resultantes representan niveles crecientes de intensidad y se etiquetan de la siguiente forma: 1-Muy Bajo, 2-Bajo, 3-Medio, 4-Alto y 5-Muy Alto. Este enfoque permite integrar las tres variables en un índice de riesgo final mediante operaciones matemáticas combinadas, manteniendo la comparabilidad y la consistencia conceptual entre ellas.
- **Cálculo del riesgo Total**: El riesgo total se calcula como una combinación ponderada de las tres componentes: [R = P * CPP * NCP + E * CPE * NCE + V * CPV * NCV]
  - **CP. Coeficiente de ponderación**: el CP define el peso relativo que se asigna a cada una de las tres componentes del riesgo climático (P, E y V). Su valor puede oscilar entre 0 y 1, y la suma de los tres debe ser igual a 1. Por defecto, cuando no existe un criterio que justifique una ponderación diferenciada, se asigna el mismo peso a cada componente (CP = 1/3). La elección de los coeficientes de ponderación puede basarse en criterios como (i) relevancia teórica de cada componente en el tipo de impacto evaluado, (ii), evidencia empírica disponible sobre los factores que más contribuyen al riesgo (iii), requisitos normativos o metodológicos establecidos por organismos oficiales, (iv), juicio experto fundamentado en estudios previos o análisis sectoriales.
  - **NC. Nivel de confianza**: el Nivel de Confianza (NC) permite ponderar cada componente del riesgo (P, E y V) en función de la incertidumbre asociada a sus datos de entrada, a las metodologías de cálculo aplicadas, y a las proyecciones de cambio climático. Su objetivo es ajustar la influencia de cada ráster en el resultado final cuando su calidad,

resolución o cobertura no son equivalentes. Los valores de NC oscilan entre 0 (ausencia de confianza) y 1 (confianza máxima). Cuando no existe base suficiente para discriminar entre componentes, se asigna un valor por defecto de 1 en cada componente, equivalente a suponer el máximo nivel de fiabilidad para P, E y V.

- Para escenarios históricos y actuales, se consideran los siguientes criterios, con su peso relativo:
  - Cobertura espacial: grado en que los datos cubren homogéneamente el área de estudio (0.25)
  - Calidad de la fuente: nivel de fiabilidad y oficialidad de la fuente (institucional, validada, modelada) (0.25)
  - Resolución espacial: adecuación de la resolución original a la malla usada en el análisis (0.15)
  - Consistencia temporal: longitud, continuidad y coherencia temporal de las series de datos (0.10)
  - Incertidumbre de proyección: considera el horizonte temporal, reflejando la fiabilidad relativa (0.25)

- **Cálculo del Nivel de Confianza**: el NC de cada componente (NCi) se obtiene como la suma ponderada de las puntuaciones de cada criterio. La inclusión del NC, junto con los coeficientes de ponderación (CP), permite construir un índice de riesgo más transparente, porque documenta la fiabilidad de cada componente, más adaptable, porque se puede actualizar si se incorporan nuevas fuentes y más robusto, porque reduce la influencia de datos con baja calidad.
- **Clasificación final:** cada ráster resultante (Peligro (P), Exposición (E), Vulnerabilidad (V) y Riesgo Final (R)) se clasifica en cinco niveles ordinales que permiten interpretar de forma homogénea la intensidad relativa del fenómeno representado. La clasificación asigna a cada celda un valor discreto entre 1 y 5, con la siguiente equivalencia semántica: 1-Muy Bajo, 2-Bajo, 3-Medio, 4-Alto y 5-Muy Alto. Esta categorización se obtiene aplicando un sistema basado en cuantiles (cuantiles al 20%), de modo que cada clase contiene aproximadamente el mismo número de celdas. Este enfoque permite una comparación equitativa entre áreas heterogéneas y favorece la representatividad estadística, especialmente en variables con distribuciones fuertemente asimétricas.
- **Nivel de Confianza del Riesgo Total:** El NC total del riesgo combina los NCi de cada componente con los coeficientes de ponderación (CP) asignados a cada componente. Se presentan dos métricas complementarias:
  - **Opción A: Media ponderada (NC promedio)**: refleja la fiabilidad media ponderada por la importancia de cada componente.

    $$\mathrm{NC}_{total} = \sum_i CP_i \times NC_i$$

  - **Opción B: Propagación conservadora de incertidumbres (RMS ponderada):** penaliza la presencia de componentes con baja confianza. Se transforma NCi en incertidumbre ui = 1 – NCi y se calcula la incertidumbre combinada. Esta opción produce valores más conservadores de manera que si una componente tiene un NC bajo y un peso alto, el NC total disminuye significativamente.

    $$U_{comb} = \sqrt{\sum_i (CP_i \cdot u_i)^2}, \quad NC_{total} = 1 - U_{comb}$$

A efectos de este estudio, y dado que en todos los riesgos analizados se han asignado coeficientes de ponderación similares a las tres componentes, se ha optado por calcular un único nivel de confianza del riesgo total mediante la opción A (media ponderada), al considerarse suficiente y coherente para la comparación entre riesgos.

Criterios para la selección de indicadores de riesgo

La selección de los indicadores empleados en la evaluación de los distintos riesgos se ha realizado atendiendo a un conjunto de criterios metodológicos comunes, con el objetivo de garantizar la coherencia interna del análisis, su reproducibilidad a escala nacional y su aplicabilidad en escenarios futuros de cambio climático.

Dado el carácter del estudio y su vocación de servir como marco común de evaluación del riesgo, la elección de indicadores no se ha basado exclusivamente en su potencial explicativo teórico, sino en su viabilidad operativa, su disponibilidad espacial y su capacidad de integración en un esquema de análisis homogéneo.

Principios generales de selección

Los indicadores seleccionados para cada componente del riesgo (P, E y V) cumplen, de manera conjunta, los siguientes criterios:

- **Disponibilidad de información georreferenciada a escala nacional**: todos los indicadores utilizados proceden de fuentes oficiales o consolidadas que ofrecen cobertura completa del territorio nacional, permitiendo un análisis continuo y evitando discontinuidades territoriales o sesgos administrativos.
- **Compatibilidad espacial y posibilidad de integración ráster**: los indicadores han sido seleccionados atendiendo a su capacidad para ser transformados en capas ráster continuas o binarias, compatibles con una malla espacial común. Este requisito es esencial para la combinación coherente de los componentes del riesgo y para su representación cartográfica.
- **Replicabilidad metodológica**: se han priorizado indicadores cuya obtención y tratamiento pueda reproducirse de manera sistemática para distintos riesgos, ámbitos territoriales o actualizaciones temporales, evitando variables altamente específicas, no estandarizadas o dependientes de información ad hoc.
- **Robustez conceptual y vínculo directo con el riesgo analizado**: cada indicador mantiene una relación clara y directa con el fenómeno de riesgo evaluado, representando de forma sintética procesos físicos, sociales o económicos relevantes para la generación del impacto.
- **Escalabilidad temporal y disponibilidad de proyecciones futuras**: en el caso del componente de peligro, se ha considerado de forma prioritaria la existencia de datos proyectados bajo escenarios de cambio climático, permitiendo la evaluación del riesgo en horizontes temporales futuros.

Enfoque centrado en peligros climáticos

La selección de indicadores de peligro se ha limitado exclusivamente a aquellos que caracterizan el peligro de origen climático y su evolución futura, con el fin de aislar y hacer comparable el incremento del riesgo atribuible al cambio climático. Al mismo tiempo, se reconoce que, en muchos riesgos, concurren factores no climáticos de naturaleza social, económica, territorial o de gestión, que pueden actuar como detonantes o amplificadores del daño.

Como consecuencia, el mapa final de riesgo puede diferir del que cabría esperar si se integraran esos factores no climáticos, discrepancia que puede hacerse más patente cuando se contrasta con cartografía de impactos observados (riesgo materializado). Esto es especialmente evidente, por ejemplo, en incendios, donde el clima condiciona la peligrosidad meteorológica pero la ocurrencia y severidad dependen también de igniciones, combustible, interfaz urbano-forestal y capacidad de respuesta, o en el estado de las aguas, donde la señal climática interactúa con presiones antrópicas y condiciones de partida. La integración de estos peligros adicionales es técnicamente viable mediante la incorporación de indicadores específicos y podría abordarse en futuros ciclos si se considera conveniente, pero no se ha incluido en esta primera generación para mantener la “pureza climática” y la consistencia metodológica del ejercicio.

Consideración temporal de los componentes del riesgo

En la evaluación de los riesgos climáticos se ha considerado explícitamente la evolución futura del componente de peligro, incorporando variables climáticas e hidrológicas proyectadas bajo distintos escenarios de cambio climático. Esta aproximación es coherente con el carácter dinámico del clima y con la disponibilidad de información robusta y homogénea a escala nacional para horizontes futuros.

Sin embargo, los componentes de exposición (E) y vulnerabilidad (V) se han tratado como estáticos, representativos de una situación de referencia reciente, sin incorporar su posible evolución futura. Esta decisión responde a criterios metodológicos y prácticos bien definidos:

- En la actualidad apenas existen proyecciones futuras sistemáticas, homogéneas y georreferenciadas de exposición y vulnerabilidad a escala nacional comparables en calidad y cobertura a las proyecciones climáticas.
- La evolución de la exposición y la vulnerabilidad depende en gran medida de factores socioeconómicos, territoriales y de gobernanza, sujetos a alta incertidumbre y difícil modelización espacial coherente.
- Mantener la exposición y la vulnerabilidad constantes permite aislar el efecto del cambio climático sobre el riesgo, facilitando la interpretación de los resultados y la comparación entre escenarios.

Este enfoque es habitual en evaluaciones de riesgo climático a gran escala y resulta especialmente adecuado cuando el objetivo es identificar tendencias relativas y áreas potencialmente más sensibles al incremento del peligro climático.

Posibles extensiones futuras

Desde un punto de vista conceptual, la metodología es plenamente compatible con la incorporación de escenarios futuros de exposición y vulnerabilidad, en caso de que se dispusiera de información adecuada. Algunas posibles extensiones serían:

- **Escenarios de evolución de la exposición**, incorporando cambios en: distribución de la población, usos del suelo y expansión urbana, intensificación o abandono de actividades económicas y agrarias, etc.
- **Escenarios de vulnerabilidad**, considerando cambios demográficos (envejecimiento, despoblación, distribución de rentas), mejora o deterioro de infraestructuras y sistemas de gestión, medidas de adaptación planificadas o implantadas, etc.
- **Evaluación de riesgos futuros** mediante la combinación coherente de: peligro proyectado, exposición y vulnerabilidad dinámicas y diferentes trayectorias socioeconómicas (enfoques tipo SSP).

La incorporación de estas dimensiones permitiría avanzar hacia una **evaluación dinámica del riesgo**, más cercana al concepto de riesgo futuro total. No obstante, mientras no se disponga de datos fiables y comparables, el enfoque adoptado representa un equilibrio adecuado entre rigor metodológico, reproducibilidad y utilidad para la planificación estratégica.

Justificación de la selección frente a indicadores alternativos

Si bien existen múltiples indicadores potencialmente válidos para caracterizar los distintos componentes del riesgo, muchos de ellos presentan limitaciones operativas que dificultan su uso en un marco nacional homogéneo. Entre las principales restricciones consideradas destacan:

- Falta de cobertura territorial completa o resolución heterogénea.

- Ausencia de series temporales suficientemente largas.
- Imposibilidad de proyección futura consistente.
- Dependencia de información local no sistematizada.
- Dificultad para su integración espacial con otros componentes del riesgo.

En este contexto, los indicadores finalmente seleccionados representan un equilibrio entre rigor técnico, viabilidad operativa y aplicabilidad práctica, priorizando aquellos que permiten construir una base metodológica sólida y coherente, aun a costa de renunciar a variables más específicas que solo estarían disponibles en ámbitos territoriales concretos.

Flexibilidad y posibilidad de mejora del esquema de indicadores

El enfoque adoptado permite una evaluación coherente y reproducible del riesgo a escala nacional. No obstante, la metodología presenta un carácter flexible y escalable, y podría perfeccionarse significativamente en escenarios futuros o en ámbitos territoriales concretos si se dispusiera de información geográfica adicional, de mayor resolución o específicamente orientada al análisis del riesgo.

En este sentido, los indicadores utilizados deben entenderse como variables sustitutivas robustas, adecuadas para un análisis estratégico a gran escala, pero susceptibles de ser sustituidos o complementados por variables más detalladas en estudios de ámbito regional, local o sectorial, sin alterar la estructura conceptual del modelo de riesgo.

SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales (DMA)

El riesgo por empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales se ha evaluado mediante la combinación de tres componentes fundamentales: peligro climático (P), exposición (E) y vulnerabilidad (V), integrados espacialmente en un formato continuo y homogéneo de manera coherente.

Componentes del riesgo

Peligro climático

El **peligro climático** se ha caracterizado mediante un **indicador compuesto**, calculado a **escala de cuenca vertiente** a las masas de agua superficiales, que integra tres variables climáticas e hidrológicas clave relacionadas con los procesos de deterioro del estado ecológico y químico.

Las fuentes de información utilizadas han sido el modelo SIMPA (CEDEX) y productos climáticos procedentes de AdapteCCa, para el periodo 1980–2023. Todas las variables se han reproyectado y armonizado a una resolución espacial de 500 × 500 m.

Para su integración con el resto de componentes del riesgo, el indicador de peligro se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante un método de cuantiles.

- Componentes del indicador combinado:
  - Aportaciones: controlan la capacidad de dilución, renovación y transporte de contaminantes, así como el régimen hidrológico de las masas de agua, por lo que constituyen el factor dominante del peligro.
  - Temperatura máxima: influye directamente en procesos biogeoquímicos (metabolismo, solubilidad del oxígeno, eutrofización) y en el estrés térmico de los ecosistemas acuáticos.
  - Precipitación máxima: representa el papel de los eventos extremos, que incrementan la escorrentía superficial y la carga de contaminantes difusos hacia las masas de agua.

  En coherencia con esta relevancia relativa, se han asignado las siguientes ponderaciones: aportaciones (0,60), temperatura máxima (0,20) y precipitación máxima (0,20).
- Procedimiento de cálculo:
  - Para cada cuenca hidrográfica se han extraído estadísticos representativos de cada variable y se han normalizado mediante una transformación min–max para garantizar su comparabilidad. En el caso de las aportaciones, la variable se ha invertido, de modo que menores aportaciones impliquen mayor peligro.
  - El peligro climático final se ha obtenido mediante una combinación lineal ponderada de las variables normalizadas.
  - El indicador resultante se ha rasterizado a la malla de análisis de 500 × 500 m, asignando a cada celda el valor de peligro de la cuenca a la que pertenece.

Este enfoque permite reflejar de forma integrada tanto los procesos hidrológicos de base como los factores climáticos extremos que contribuyen al deterioro del estado de las masas de agua.

Exposición

La **exposición** se ha definido a partir de la **localización de las masas de agua superficiales** del tercer ciclo de planificación hidrológica, utilizadas como indicador directo del elemento potencialmente afectado. La información vectorial se ha rasterizado a una resolución de 500 × 500 m, generando un ráster binario con valores 1 (presencia de masa de agua superficial) o 0 (ausencia).

Este enfoque permite identificar de forma clara las áreas donde existe exposición directa al riesgo, facilitando su integración con los indicadores continuos de P y V.

Vulnerabilidad

La **vulnerabilidad** se ha estimado a partir del **estado ecológico y químico** de las masas de agua superficiales (PHWeb). A cada masa de agua se le ha asignado un nivel de vulnerabilidad discreto en función de su estado:

- Muy alta (5): estado ecológico y químico peor que bueno
- Alta (4): Estado ecológico peor que bueno
- Media (3): Estado químico peor que bueno
- Baja (2): Estado ecológico bueno
- Muy baja (1): Estado ecológico es muy bueno

Este criterio permite reflejar que las masas de agua ya degradadas presentan una mayor susceptibilidad a empeorar ante presiones climáticas adicionales.

Posibles mejoras y alternativas metodológicas

El enfoque adoptado permite una evaluación coherente y reproducible del riesgo a escala nacional. No obstante, la metodología presenta un carácter flexible y escalable, y podría perfeccionarse significativamente en escenarios futuros o en ámbitos territoriales concretos si se dispusiera de información geográfica adicional, de mayor resolución o específicamente orientada al análisis del riesgo.

A continuación, se describen las principales líneas de mejora y alternativas metodológicas identificadas.

Mejoras en los indicadores de peligro

El peligro climático para SW7 se entiende como la combinación de señales climáticas e hidrológicas que incrementan la probabilidad de deterioro del estado ecológico o químico, principalmente a través de la reducción de dilución y renovación, el aumento de la temperatura del agua y una mayor persistencia de condiciones de estiaje. Sobre esa base, el peligro puede caracterizarse con mayor precisión incorporando métricas que representen mejor la recurrencia, duración y estacionalidad de las situaciones críticas, sin introducir indicadores que ya corresponden a impacto o a gestión.

- **Frecuencia y duración de caudales bajos** mediante índices hidrológicos objetivos, por ejemplo, número de días por debajo de un percentil bajo de caudal, magnitud y duración de episodios de bajo caudal, o indicadores de “déficit de caudal” acumulado en estiaje. Esto permite capturar persistencia y recurrencia del peligro, no solo el cambio medio.

- **Estacionalidad** del recurso, incorporando indicadores que reflejen cambios en aportaciones o caudales en los meses críticos, por ejemplo, aportaciones estivales o relación estiaje–total anual, cuando exista información disponible.
- **Índices de sequía hidrológica** complementarios al caudal absoluto para representar la severidad relativa de la sequía hidrológica y su comparabilidad espacial.
- **Señales térmicas relevante para procesos de calidad**, usando como aproximación el incremento proyectado de temperatura y, cuando sea posible, un indicador indirecto de calentamiento del agua o de "días por encima de umbrales térmicos" en periodo cálido, dada su vinculación con oxigenación, blooms y degradación del estado.

El incumplimiento de caudales ecológicos se considera un resultado/impacto, no un indicador de peligro. En todo caso, los umbrales de caudal pueden usarse como referencia para construir métricas de peligro del tipo "frecuencia de caudales por debajo de un umbral hidrológico", manteniendo la lectura climática del indicador.

Adicionalmente, podría explorarse la incorporación de **factores no climáticos que condicionan de forma significativa la presión efectiva sobre el recurso**. En particular, la densidad de PIB podría emplearse como un indicador sintético de intensidad de actividad socioeconómica y, por tanto, de presión antrópica potencial sobre las masas de agua subterránea. Su inclusión permitiría avanzar hacia una representación más completa del riesgo, combinando la señal climática asociada a la disponibilidad del recurso con la intensidad de los usos del agua. No obstante, esta aproximación requeriría una definición clara del marco conceptual, diferenciando explícitamente entre peligro climático y presión antrópica, así como la disponibilidad de información homogénea y consistente que permita su aplicación de forma robusta y replicable.

Alternativas y mejoras en los indicadores de exposición

En SW7, la exposición se refiere a la presencia y magnitud de los receptores potencialmente afectados por el peligro climático, es decir, las masas de agua superficiales y, si se quiere ampliar la lectura del riesgo, los elementos dependientes directamente vinculados a esas masas. La exposición puede representarse de forma más informativa (sin incorporar presiones antrópicas, que no son exposición).

- **Desagregación por tipología** de masa de agua para representar adecuadamente qué receptores están expuestos (ríos, lagos, embalses, masas de transición u otras tipologías relevantes). Esta desagregación no cambia el peligro, sino que mejora la lectura del receptor expuesto y facilita interpretaciones específicas.
- **Magnitud del receptor expuesto** mediante métricas de extensión o tamaño, por ejemplo, longitud total de masas lóticas y superficie de masas lénticas por unidad espacial, y cuando proceda volumen/capacidad en embalses como indicador de dimensión.
- **Exposición de elementos ambientalmente valiosos o funcionalmente críticos**, por ejemplo, masas en espacios protegidos, zonas húmedas asociadas o tramos con valores ecológicos singulares, entendido como "receptores de alto valor expuestos", sin entrar en su sensibilidad.
- **Usos dependientes aguas abajo** como exposición socioeconómica complementaria. Si se quiere reflejar el componente de servicios, puede incorporarse un indicador de exposición basado en la presencia de captaciones o tramos asociados a abastecimiento, riego o uso recreativo, formulado explícitamente como exposición de receptores humanos/servicios y no como peligro.

Alternativas y mejoras en los indicadores de vulnerabilidad

La vulnerabilidad para SW7 se interpreta como la susceptibilidad de las masas de agua expuestas a deteriorarse ante el peligro climático y su capacidad de respuesta/recuperación. Es conceptualmente consistente usar el estado ecológico y químico como aproximación de sensibilidad, pero puede enriquecerse con indicadores que capturen mejor la resiliencia y la propensión a cambios persistentes, evitando introducir presiones antrópicas como si fueran vulnerabilidad.

- **Tendencias históricas del estado** como indicador de trayectoria y resiliencia, distinguiendo masas con empeoramiento persistente, estancamiento o mejora, lo que informa sobre capacidad de recuperación y margen de seguridad.

- **Sensibilidad específica** a mecanismos climáticos dominantes en la conformación del riesgo SW7, por ejemplo, susceptibilidad a calentamiento y eutrofización, incorporando proxies de vulnerabilidad intrínseca como poca profundidad o alta residencia en lénticos, o baja capacidad de dilución y alta estacionalidad en lóticos.
- **Capacidad de amortiguación hidrológica** como componente de vulnerabilidad, por ejemplo, dependencia de aportes de base, conectividad con aguas subterráneas o presencia de refugios hidrológicos, cuando exista información disponible y sea coherente con la escala.
- **Capacidad de respuesta y gestión** como componente de vulnerabilidad, incluyendo de forma explícita variables de capacidad adaptativa cuando sean trazables, por ejemplo, existencia y grado de implantación de medidas de restauración/mejora relevantes, y capacidades de seguimiento/operación que condicionen recuperación.

Nota metodológica sobre "presiones significativas": su uso como "vulnerabilidad" tiende a mezclar conceptos; si se incorporan, sería preferible tratarlas como peligro no climático o modulador del riesgo en futuras versiones. En esta primera aproximación, su efecto suele quedar reflejado indirectamente en el estado y su tendencia.

Incorporación explícita de la incertidumbre

De cara a la evaluación de escenarios futuros de cambio climático, la metodología podría reforzarse incorporando de forma explícita la incertidumbre asociada tanto a las proyecciones climáticas como a los supuestos socioeconómicos, mediante:

- **Factores de penalización progresivos** del nivel de confianza, vinculados al horizonte temporal de análisis (futuro cercano, medio y lejano), reflejando el aumento de la incertidumbre conforme se incrementa el plazo de proyección.
- **Uso de conjuntos de modelos climáticos** (ensembles) y análisis de la dispersión de resultados, permitiendo caracterizar rangos de variabilidad y escenarios plausibles.
- **Representación cartográfica complementaria de la incertidumbre**, mediante mapas específicos de confianza o robustez del riesgo estimado.

Este enfoque facilitaría una interpretación más prudente de los resultados y un mejor apoyo a la toma de decisiones estratégicas.

GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA)

El riesgo por empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas se ha evaluado mediante la combinación de tres componentes fundamentales: peligro climático (P), exposición (E), y vulnerabilidad (V), esta última estimada por combinación de la capacidad adaptativa (C), y sensibilidad (S). Todos los componentes se han integrado espacialmente en un formato continuo y homogéneo de manera coherente.

Componentes del riesgo

Peligro climático

El **peligro climático** se ha caracterizado a partir de la **infiltración** media, utilizada como indicador indirecto de la recarga potencial de los acuíferos. Este indicador refleja de forma directa la capacidad del sistema hidrogeológico para compensar las extracciones y mantener el equilibrio hídrico subterráneo bajo condiciones climáticas variables. Valores bajos de infiltración se asocian a una mayor probabilidad de deterioro cuantitativo de las masas de agua subterránea, incrementando el riesgo de sobreexplotación y de impactos indirectos sobre el estado químico.

La información utilizada procede del modelo SIMPA (CEDEX), con una resolución espacial de 500 × 500 m y un periodo de análisis 1980–2023. Para su integración con el resto de las componentes del riesgo, el indicador de peligro se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante un método de cuantiles, invirtiendo previamente el sentido del indicador de modo que menores infiltraciones se correspondan con mayor nivel de peligro.

Exposición

La **exposición** se ha definido mediante la **localización de las masas de agua subterráneas** correspondientes al tercer ciclo de planificación hidrológica. Este componente identifica los elementos directamente susceptibles de experimentar un deterioro de su estado, independientemente de su uso o grado de explotación. La información procede del Catálogo de Metadatos del MITECO y se ha rasterizado a una resolución de 500 × 500 m, generando un ráster binario que distingue entre presencia (1) y ausencia (0) de masas de agua subterránea en cada celda del territorio.

Este enfoque permite centrar el análisis del riesgo exclusivamente sobre los sistemas hidrogeológicos reconocidos en la planificación.

Vulnerabilidad

La **vulnerabilidad** se ha estimado como una combinación de dos dimensiones complementarias: la **sensibilidad** del sistema y su **capacidad adaptativa**, ambas derivadas de la información oficial de los planes hidrológicos del tercer ciclo:

- **Sensibilidad**: se ha estimado a partir del **índice de explotación (IE)**, entendido como un indicador sintético de la presión estructural ejercida sobre la masa de agua subterránea. En el marco de este estudio, el IE se ha considerado constante en los escenarios futuros, al no disponerse de proyecciones homogéneas y consistentes sobre la evolución de las extracciones a escala nacional.

  El índice de explotación se ha reclasificado en cinco categorías crecientes de sensibilidad, desde valores bajos de presión (IE < 0,5) hasta situaciones de explotación muy elevada (IE ≥ 5):

- Muy baja (1): IE < 0.5
- Baja (2): IE <= 1
- Media (3): IE < 2
- Alta (4): IE < 5
- Muy Alta (5): IE >= 5

Conviene señalar que la reducción de la recarga asociada al cambio climático incide de forma directa sobre la sostenibilidad de las extracciones y, por tanto, sobre el IE. No obstante, incorporar esta relación de forma explícita implicaría asumir hipótesis adicionales sobre la evolución futura de la demanda y de la gestión del recurso, que exceden el alcance de este análisis. Por este motivo, el IE se utiliza como un indicador estructural de presión, manteniendo su valor constante a lo largo de los horizontes analizados.

- La **capacidad adaptativa** se ha definido en función del **estado global** de la masa de agua subterránea y de la **existencia y grado de implementación de programas de actuación específicos**. Este enfoque permite incorporar no solo la situación actual del sistema, sino también su capacidad de respuesta y gestión frente a situaciones de riesgo. Se ha asignado:
  - Capacidad adaptativa muy alta (5) a masas en buen estado.
  - Capacidad alta (4) a masas en mal estado declaradas en riesgo con programa de actuación implementado.
  - Capacidad media (3) cuando el programa está pendiente de implementación.
  - Capacidad baja (2) a masas declaradas en riesgo sin programa de actuación.
  - Capacidad muy baja (1) a masas en mal estado no declaradas en riesgo.

  Para su integración con la sensibilidad, la capacidad adaptativa se ha invertido, de manera que valores altos representen mayor vulnerabilidad.

El indicador final de vulnerabilidad se ha obtenido ponderando ambas componentes al 50 %.

Posibles mejoras y alternativas metodológicas

El enfoque adoptado permite una evaluación coherente y reproducible del riesgo a escala nacional. No obstante, la metodología presenta un carácter flexible y escalable, y podría perfeccionarse significativamente en escenarios futuros o en ámbitos territoriales concretos si se dispusiera de información geográfica adicional, de mayor resolución o específicamente orientada al análisis del riesgo.

A continuación, se describen las principales líneas de mejora y alternativas metodológicas identificadas.

Mejoras en los indicadores de peligro

El peligro climático en GW3 se ha representado mediante la infiltración media como indicadore de la recarga (SIMPA), lo que aporta homogeneidad espacial y una lectura coherente con la disponibilidad climática del recurso. Como líneas de mejora, conviene reforzar la caracterización del peligro incorporando métricas que describan mejor la señal futura y, sobre todo, la persistencia de condiciones desfavorables para la recarga, sin introducir variables que correspondan a presión antrópica o a estado/impacto.

- **Persistencia y recurrencia**: incorporar métricas de años/meses con recarga baja, duración de rachas secas y déficit acumulado de recarga, para distinguir entre territorios con medias similares pero distinta frecuencia de episodios críticos.

- **Estacionalidad de la recarga**: introducir indicadores que capturen cambios en las ventanas efectivas de recarga, especialmente donde la recarga se concentra en pocos meses y es sensible a cambios estacionales.
- Apoyo con **índices climáticos de balance**: utilizar, cuando sea útil, proxies basados en precipitación y demanda evaporativa para reflejar la pérdida de "potencial de recarga" por aumento de aridez, manteniendo la lectura estrictamente climática.
- En masas costeras, considerar la **señales climáticas marinas** (ascenso del nivel medio del mar y temporales), como condicionantes del contorno litoral y afección al equilibrio agua dulce–agua salada, pudiendo disminuir el recurso explotable compatible con mantener gradientes hidráulicos hacia el mar.

Para las masas de agua subterránea, resulta igualmente aplicable la reflexión anterior sobre la incorporación de indicadores no climáticos de presión antrópica, en los términos ya descritos para aguas superficiales.

Alternativas y mejoras en los indicadores de exposición

La exposición se ha definido como la presencia/localización de las masas de agua subterránea del tercer ciclo, lo que es adecuado para delimitar el receptor del riesgo sin mezclarlo con el grado de explotación o con consecuencias socioeconómicas. Las mejoras recomendables se orientan a describir mejor "cuánto receptor" hay expuesto y qué tipologías están representadas, manteniendo la exposición separada de presiones.

- **Exposición ponderada por tamaño del receptor**: complementar el ráster binario con la superficie de la masa (y, si fuese viable de forma homogénea, algún indicador indirecto simple de magnitud del almacenamiento), evitando que todas las masas "pesen" igual. Puede también diferenciarse la **localización de masas costeras e interiores**, para matizar la vinculación a componentes de peligros de origen marino.
- **Receptores dependientes** como capa complementaria: incorporar, de forma explícitamente separada, la presencia de ecosistemas dependientes o puntos de descarga relevantes (manantiales/humedales) como "elementos expuestos" al deterioro de la masa, sin convertirlos en vulnerabilidad ni en presión.

Nota: volúmenes extraídos o población/actividad dependiente pueden ser útiles para interpretar consecuencias, pero no son exposición del receptor hidrogeológico en sentido estricto; si se incluyen, conviene tratarlos como "exposición de servicios" en una capa diferenciada.

Alternativas y mejoras en los indicadores de vulnerabilidad

La vulnerabilidad se ha construido combinando una sensibilidad aproximada por el índice de explotación (IE) y una capacidad adaptativa basada en el estado y en la existencia/implantación de programas de actuación. Para mantener la coherencia conceptual, el IE debe interpretarse como un condicionante estructural que amplifica el deterioro ante una reducción de recarga, no como peligro climático. A partir de esta base, las mejoras pueden reforzar la susceptibilidad intrínseca y la capacidad real de respuesta sin desplazar la presión antrópica al bloque equivocado.

- **Sensibilidad de partida** más completa: complementar el IE con variables del propio diagnóstico de la masa, como estado cuantitativo/químico y, cuando sea posible, tendencias (trayectoria), que informan del margen de resiliencia y del riesgo de cambios persistentes.
- **Amortiguación hidrogeológica**: incorporar atributos intrínsecos que modulan la respuesta ante déficits de recarga, como almacenamiento relativo, tiempos de renovación o grado de confinamiento, cuando existan de forma homogénea y comparable.
- **Tipología hidrogeológica del acuífero** –medios porosos (detríticos), medios carbonatados, medios fisurados), en la medida en que condiciona almacenamiento, tiempos de respuesta y capacidad de amortiguación frente a déficits de recarga.
- **Capacidad adaptativa** verificable: afinar el componente de gestión incorporando proxies trazables de capacidad de control y respuesta, por ejemplo densidad/robustez del seguimiento, grado de control de extracciones y evidencia de eficacia de programas cuando esté disponible.

Incorporación explícita de la incertidumbre

De cara a la evaluación de escenarios futuros de cambio climático, la metodología podría reforzarse incorporando de forma explícita la incertidumbre asociada tanto a las proyecciones climáticas como a los supuestos socioeconómicos, mediante:

- **Factores de penalización progresivos del nivel de confianza**, vinculados al horizonte temporal de análisis (futuro cercano, medio y lejano), reflejando el aumento de la incertidumbre conforme se incrementa el plazo de proyección.
- **Uso de conjuntos de modelos climáticos (ensembles)** y análisis de la dispersión de resultados, permitiendo caracterizar rangos de variabilidad y escenarios plausibles.
- **Representación cartográfica complementaria de la incertidumbre**, mediante mapas específicos de confianza o robustez del riesgo estimado.

Este enfoque facilitaría una interpretación más prudente de los resultados y un mejor apoyo a la toma de decisiones estratégicas.

ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos

El riesgo del deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos no se ha evaluado aplicando el algoritmo Peligro-Exposición-Vulnerabilidad. En su lugar, se han adoptado directamente los mapas de riesgo desarrollados en el trabajo "***Determinación de los mapas de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo asociados al Cambio Climático en España" (UPV 2020)***.

La metodología aplicada se basa en la **relación funcional entre la temperatura del aire y la temperatura del agua** como principal factor de presión climática sobre los ecosistemas acuáticos continentales. Este enfoque permite traducir la señal climática atmosférica, para la que existen series largas y proyecciones robustas, a una variable directamente relevante para los procesos ecológicos y el estado de las masas de agua.

El análisis se apoya **en funciones de traslación aire–agua,** obtenidas a partir de evidencias empíricas y modelos desarrollados específicamente para distintos tipos de masas de agua. Estas funciones permiten estimar la respuesta térmica del medio acuático ante cambios en la temperatura atmosférica, capturando de forma integrada los efectos del clima, la hidromorfología y las condiciones locales.

A partir de estas relaciones, se evalúa la exposición térmica de los sistemas acuáticos y su potencial afección sobre elementos de calidad biológica, físico-química e hidromorfológica, en coherencia con los marcos conceptuales de la Directiva Marco del Agua. El enfoque es consistente con una evaluación estratégica a escala nacional, priorizando la comparabilidad espacial y la reproducibilidad del análisis frente al detalle local.

Riesgos considerados

El análisis considera tres tipos de riesgo asociados al incremento de la temperatura del agua, cada uno de los cuales se representa mediante cartografía temática independiente:

- Riesgo de **pérdida de hábitat para especies de aguas frías**: se representa a través del caso de la trucha común (Salmo trutta), como especie indicadora. Este riesgo se modela a partir del impacto térmico sobre la aptitud del hábitat, considerando la superación de un umbral de temperatura crítica en el mes de agosto, interpretado como una "barrera térmica" para la especie. Este componente de peligro térmico se combina con un indicador de vulnerabilidad asociado al estado de la vegetación de ribera, representado mediante el índice QBR, que modula la capacidad del sistema fluvial para amortiguar el estrés térmico.
- Riesgo de **reducción del oxígeno disuelto**, estimando la concentración de O_2 en el agua en función de la temperatura y la altitud. Las estimaciones se han contrastado con observaciones disponibles (red NABIA) y se evalúan frente a umbrales asociados a condiciones consideradas compatibles con un buen estado ecológico. Este indicador permite identificar tramos fluviales en los que el calentamiento del agua puede comprometer procesos biológicos clave y aumentar el estrés para las comunidades acuáticas.
- Riesgo de **afección a macroinvertebrados**, modelando una respuesta creciente al aumento de la temperatura del agua. Este impacto se expresa en términos de deterioro potencial del índice IBMWP y del porcentaje de individuos afectados, aplicando umbrales que permiten clasificar el riesgo en niveles alto y muy alto. Este componente proporciona una visión integrada de la sensibilidad biológica del sistema frente al calentamiento, complementaria a los indicadores fisicoquímicos.

En relación con los escenarios climáticos y horizontes temporales, los mapas se basan en las proyecciones disponibles en el estudio de la UPV (2020), que considera los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 y las ventanas temporales 2010–2040, 2040–2070 y 2070–2100. Estas proyecciones constituyen una referencia válida en el momento de elaboración del estudio, si bien deberán actualizarse en futuros ejercicios del EACC conforme se disponga de nuevas generaciones de escenarios y modelos climáticos.

Líneas de evolución metodológica

La metodología aplicada constituye una base sólida y conceptualmente coherente. Sin embargo, conforme se disponga de nuevas evidencias científicas y herramientas metodológicas, el enfoque podría perfeccionarse mediante las mejoras que se detallan a continuación:

- Avanzar en la consolidación y sistematización de las **funciones de traslación entre temperatura atmosférica y temperatura del agua**, diferenciando de forma más explícita por tipologías de masas de agua, régimen hidrológico y condiciones climáticas regionales. Una caracterización más refinada de estas relaciones permitiría reducir incertidumbres y mejorar la consistencia del análisis entre demarcaciones.
- Integrar de manera progresiva nuevas evidencias empíricas que relacionen la temperatura —y eventualmente otros factores climáticos— con **elementos de calidad ecológica**, tales como comunidades biológicas, procesos metabólicos o umbrales térmicos críticos. En particular, los trabajos recientes descritos en la **sección 5.7** ofrecen una base prometedora para reforzar el vínculo entre presión climática y respuesta ecológica, superando enfoques basados únicamente en variables físicas.
- **Integración explícita de los trabajos en biodiversidad** (ver sección 5.6.), incorporando información sobre especies y hábitats sensibles al calentamiento, conectividad ecológica y resiliencia de los sistemas acuáticos. Este enfoque permitiría evolucionar desde una evaluación centrada en el estado de las masas de agua hacia una valoración más completa de los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad acuática y los servicios ecosistémicos asociados.
- Mejorar el **alineamiento metodológico con el resto de los riesgos climáticos evaluados**, tanto en la definición de los componentes de peligro, exposición y vulnerabilidad como en los procedimientos de agregación y reclasificación. Esta convergencia facilitaría la interpretación conjunta de resultados y la priorización integrada de medidas de adaptación.

En conjunto, estas mejoras permitirían reforzar el carácter operativo de la metodología y su utilidad para la planificación adaptativa, manteniendo al mismo tiempo la coherencia con los marcos normativos y científicos existentes.

Reflexiones complementarias para la interpretación de los componentes del riesgo

Dado que en ECS2 se adoptan cartografías de riesgo ya desarrolladas, la separación entre peligro, exposición y vulnerabilidad no se presenta mediante el esquema estándar empleado en otros riesgos del anejo. No obstante, el enfoque es compatible con esa lógica conceptual si se interpreta que el peligro viene dado por el forzamiento térmico de origen climático y sus extremos relevantes, la exposición por la presencia y magnitud de los receptores ecológicos potencialmente afectados, y la vulnerabilidad por los atributos que modulan la susceptibilidad y la capacidad de amortiguación y recuperación del sistema.

En particular, las tipologías de masas de agua y otros rasgos con significado funcional no deben leerse como exposición, sino como factores que condicionan la respuesta del receptor ante un mismo forzamiento térmico. Su papel es, por tanto, el de componentes de vulnerabilidad, en la medida en que influyen en la persistencia de refugios térmicos, en la conectividad, en los tiempos de residencia y en la capacidad de amortiguación local. En cambio, la exposición debe reservarse para expresar “cuánto receptor hay” y “dónde está”, por ejemplo, en términos de extensión de tramos fluviales o superficie de masas lénticas y hábitats asociados.

Esta distinción resulta especialmente importante si en futuras evoluciones metodológicas se incorporan peligros compuestos del tipo calor y estiaje. En ese caso, el componente hidrológico derivado del clima debe formularse como parte del peligro climático, mientras que los factores no climáticos que modulan el estrés térmico y la disponibilidad de refugios, como la regulación, la alteración hidromorfológica o la estructura de ribera, deben mantenerse en el ámbito de la vulnerabilidad. Con ello se evita desplazar al bloque de peligro elementos que pertenecen a condiciones de partida o a la capacidad del sistema para amortiguar impactos, preservando la coherencia conceptual del análisis y su comparabilidad con el resto de los riesgos.

ECS8. Incremento de la sedimentación en embalses y cauces

El riesgo de incremento de la sedimentación en embalses y cauces se ha evaluado mediante la combinación de tres componentes fundamentales: peligro climático (P), exposición (E), y vulnerabilidad (V), integrados espacialmente en un formato continuo y homogéneo de manera coherente.

Componentes del riesgo

Peligro climático

El **peligro climático** se ha caracterizado a partir de la **precipitación máxima en 24 horas**, seleccionada como indicador clave de eventos de alta intensidad que generan escorrentía y transporte sólido hacia embalses y cauces. Este indicador refleja de manera directa la probabilidad de episodios de sedimentación elevada en función de la intensidad de la lluvia.

Los datos utilizados proceden de AdapteCCa, con resolución espacial de 5 × 5 km y periodo histórico 1971–2000.

Para adaptar la información a la escala de los embalses se realizaron las siguientes operaciones:

- Se calcularon las subcuencas drenantes a cada embalse a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT, 50 m) y la ubicación de las presas (Catálogo de Metadatos).
- Se realizaron ajustes puntuales de la ubicación de cerradas/presas para alinear los puntos con los píxeles de mayor acumulación de flujo.
- Se calculó la precipitación máxima mediana en la subcuenca drenante de cada embalse.

Finalmente, el indicador se reclasificó en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante cuantiles, facilitando su integración con los componentes de exposición y vulnerabilidad.

Exposición

La **exposición** se ha definido como la **capacidad útil de los embalses**, que refleja el volumen de agua potencialmente afectado por los procesos de sedimentación. La información utilizada procede del Boletín Hidrológico y del Catálogo de Metadatos de embalses, considerando los datos más recientes disponibles, correspondientes a noviembre de 2025.

Para integrar esta información en el análisis espacial, se ha asociado de forma directa el volumen útil con el polígono correspondiente a cada embalse, permitiendo una representación homogénea y comparable de la exposición en todo el territorio. Finalmente, con el objetivo de facilitar la combinación con los otros componentes del riesgo, se ha reclasificado la capacidad útil en cinco categorías, de Muy bajo a Muy alto, mediante un método de cuantiles.

Vulnerabilidad

La **vulnerabilidad** se ha estimado a partir de la **erosión potencial de los suelos en la cuenca drenante de cada embalse**, como indicador indirecto de la sensibilidad del territorio frente a la sedimentación.

La información procede del Inventario Nacional de Erosión de Suelos (2002–2019), con una resolución de 25 × 25 metros, lo que permite capturar con detalle la variabilidad espacial de los procesos erosivos.

Para cada embalse se ha calculado la mediana de erosión potencial en su cuenca drenante, y el valor obtenido se ha reclasificado en cinco categorías comparables, de Muy bajo a Muy alto, proporcionando un indicador de vulnerabilidad directamente interpretable y coherente con el resto de las componentes del riesgo.

Consideraciones sobre la proyección futura del riesgo

En este análisis no se proyecta el riesgo a horizontes futuros, debido a la **elevada incertidumbre asociada a la evolución de los extremos de precipitación**. Tal y como se expone en la sección 3.20 de la memoria, los estudios disponibles muestran resultados contradictorios y no permiten identificar una señal robusta en la precipitación máxima diaria, ni en escenarios intermedios (SSP2-4.5) ni de altas emisiones (SSP5-8.5). Ante esta falta de consenso y con el fin de evitar introducir supuestos poco consistentes, la evaluación del riesgo se basa exclusivamente en información histórica, garantizando un análisis coherente, transparente y replicable.

Posibles mejoras y alternativas metodológicas

El enfoque adoptado permite una evaluación coherente y reproducible del riesgo a escala nacional. No obstante, la metodología presenta un carácter flexible y escalable, y podría perfeccionarse significativamente en escenarios futuros o en ámbitos territoriales concretos si se dispusiera de información geográfica adicional, de mayor resolución o específicamente orientada al análisis del riesgo.

A continuación, se describen las principales líneas de mejora y alternativas metodológicas identificadas.

Mejoras en los indicadores de peligro

El indicador actual (precipitación máxima en 24 horas) es un buen indicador indirecto de episodios con capacidad de generar pulsos de escorrentía y transporte sólido hacia embalses y cauces. Para reforzar el peligro sin mezclarlo con exposición o vulnerabilidad, las mejoras deberían centrarse en describir mejor la intensidad, recurrencia y dinámica de los eventos extremos, manteniendo el foco en variables de origen climático:

- **Representar la cola de extremos con mayor detalle**, incorporando indicadores vinculados a distintos periodos de retorno o cuantiles altos, en lugar de una única métrica resumen, para discriminar mejor cuencas donde el riesgo está dominado por eventos raros pero muy eficientes en movilizar sedimentos.
- **Complementar con métricas de intensidad y duración** (p. ej., intensidades sub-diarias, IDF o proxies de erosividad de la lluvia), ya que la movilización de sedimentos responde más a la energía del episodio que a la acumulación diaria por sí sola. En términos metodológicos, esto es una mejora del peligro (forzamiento), no de la vulnerabilidad (susceptibilidad del terreno).
- **Incorporar una señal de irregularidad**/eventos encadenados (por ejemplo, episodios intensos tras periodos secos), cuando existan datos homogéneos, porque estas secuencias tienden a aumentar la eficiencia de generación de escorrentía y arrastre sólido.
- **Evolución futura del peligro**: dado que se asume explícitamente que no se proyecta el riesgo a futuro por la incertidumbre en la evolución de los extremos diarios, cualquier mejora prospectiva debe plantearse como línea de trabajo condicionada a disponer de señal robusta (p. ej., productos más consistentes o enfoques sub-diarios).

Alternativas y mejoras en los indicadores de exposición

La exposición actual se basa en la capacidad útil de los embalses, interpretada como magnitud del activo potencialmente afectado por la colmatación. Para enriquecerla sin introducir sensibilidad o gestión (vulnerabilidad), las mejoras deberían seguir expresando "cuánto receptor hay" y "dónde":

- **Ampliar la exposición más allá del embalse** cuando se quiera reflejar el componente "cauces" del impacto, incorporando tramos o elementos fluviales con valor expuesto (p. ej., longitudes de cauce en zonas con elevada ocupación de infraestructuras hidráulicas, tomas, azudes, puentes o tramos urbanos susceptibles a colmatación). Esto sigue siendo exposición de activos/receptores, no vulnerabilidad.
- **Distinguir exposición por tipología de activo**, manteniendo la lógica de receptor: grandes embalses de regulación, pequeños embalses, balsas u otras infraestructuras relevantes si se dispone de inventario homogéneo.
- **Exposición de servicios como capa separada** (opcional): si se desea ponderar el impacto potencial por función (abastecimiento, riego, laminación, hidroeléctrica), conviene explicitarlo como "exposición de servicio" o "ponderación por criticidad" para no confundirlo con vulnerabilidad. El receptor físico (capacidad) y la relevancia del servicio son dimensiones distintas.

Alternativas y mejoras en los indicadores de vulnerabilidad

La vulnerabilidad actual se aproxima mediante la erosión potencial en la cuenca drenante como indicador indirecto de sensibilidad del territorio a generar aporte sólido. Para reforzarla manteniendo la separación con el peligro (lluvia extrema) y con la exposición (capacidad/activos), las mejoras deberían incorporar factores que expliquen la susceptibilidad y la capacidad de amortiguación/gestión:

- Pasar de "erosión potencial" a una **vulnerabilidad más matizada**, desagregando (si hay datos homogéneos) componentes del tipo cubierta vegetal/uso del suelo y prácticas de conservación. Esto permite distinguir cuencas con erosión potencial similar pero distinta protección del suelo y, por tanto, distinta propensión real a aportar sedimento.
- **Conectividad y entrega de sedimentos** como parte de la vulnerabilidad: incorporar proxies de conectividad ladera–cauce y de eficiencia de transporte (pendiente, densidad de drenaje, proximidad a red, confinamiento), porque no todo lo erosionado llega al embalse o al tramo crítico.
- **Capacidad adaptativa y gestión del sedimento**, incorporando la presencia/eficacia de medidas de control (diques de retención, obras de corrección, estrategias de vaciado/arrastre, dragados programados), ya que modulan la respuesta del sistema ante un mismo peligro.
- **Evidencia histórica** de colmatación/resiliencia donde exista información comparable (pérdida histórica de capacidad, batimetrías, registros de aterramiento o de mantenimiento), como indicador integrador de vulnerabilidad real. Esto no sustituye el enfoque estructural, pero ayuda a calibrar y discriminar cuencas con dinámicas distintas.

Cualquier variable que describa el episodio meteorológico (intensidad/erosividad de lluvia) debe quedar en peligro; variables que describan el activo (capacidad/infraestructura) en exposición; y variables que describan cómo responde el territorio y el sistema de gestión (susceptibilidad, conectividad, capacidad adaptativa) en vulnerabilidad.

ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada

El riesgo por daños sistémicos por sequía prolongada se ha evaluado mediante la combinación de tres componentes fundamentales: peligro climático (P), exposición (E) y vulnerabilidad (V), integrados espacialmente en un formato continuo y homogéneo de manera coherente.

Componentes del riesgo

Peligro climático

El **peligro climático** se ha caracterizado a partir del **balance hídrico** (P–ETP), que refleja de forma directa el déficit o superávit de agua disponible en el territorio. Este indicador es conceptualmente equivalente al SPEI, pero permite una interpretación física más directa y su aplicación consistente tanto en condiciones históricas como en escenarios futuros de cambio climático.

La información utilizada procede del modelo SIMPA (CEDEX), con una resolución espacial de 500 × 500 m y un periodo de análisis 1980–2023. Para su integración con el resto de componentes del riesgo, el indicador de peligro se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante un método de cuantiles, invirtiendo previamente el sentido del indicador de modo que un menor balance se corresponda con mayor nivel de peligro.

Exposición

La **exposición** se ha definido mediante dos componentes, ponderadas de forma equitativa: la presencia de espacios de la Red Natura 2000 y el PIB municipal. Para su integración con el resto de las componentes del riesgo, el indicador de exposición se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante un método de cuantiles.

- El **valor ambiental protegido**, representado por la presencia de **espacios de la Red Natura 2000**. Fuente: Catálogo de Metadatos del MITECO.
- La **actividad económica**, representada por una **estimación del PIB municipal**, aplicando un procedimiento de desagregación basado en renta per cápita y población municipal, redistribuyendo el PIB provincial de manera proporcional al peso económico de cada municipio. Posteriormente, la información se ha transformado en un ráster continuo mediante el cálculo de densidades económicas y su rasterización a la malla de análisis. Este proceso permite convertir la exposición en un valor absoluto comparable espacialmente, garantizar coherencia geométrica entre capas, integrar la información socioeconómica con los ráster de P y V en un formato común.
  - Fuentes de información: Renta media por persona a nivel municipal (Atlas de Distribución de Renta de los Hogares (INE), serie 2015–2022), Población municipal 2024 (INE), PIB provincial (Contabilidad Regional de España, serie 2021–2023, INE), cobertura municipal en formato shapefile (Catálogo de Metadatos del MITECO).
  - Estimación económica municipal: a partir de los datos oficiales de renta por persona, se estimó la renta total de cada municipio: *Renta Municipal = Población Municipal * Renta per cápita (2022)*. Posteriormente se redistribuye el PIB provincial entre los municipios de forma proporcional a su aportación relativa en renta: *PIB Municipal (€) = Renta Municipal * [(PIB Provincial / 1000) / Renta Provincial (M€)]*. De esta forma, cada municipio recibe la fracción del PIB provincial que le corresponde según su peso económico real dentro de la provincia.
  - Para integrar el PIB municipal con las componentes de P y V, ha sido necesario convertir la información económica —originalmente asociada a polígonos municipales— en un ráster continuo y homogéneo. Para ello, en primer lugar, se reproyectaron los límites municipales a ETRS89 / UTM 30N (EPSG:25830) y se calculó la superficie real de cada

municipio en metros cuadrados. A partir de estos valores, se obtuvo una variable continua comparable entre municipios mediante el cálculo de la densidad económica en €/m², definida como: *PIB (€/m2) = PIB Municipal (€) / Área municipal (m²).*

- Rasterización del PIB Municipal: a partir del ráster plantilla, se rasterizó la densidad económica (€/m²) calculada para cada municipio. Al tratarse de una variable continua, se utilizó el método "*mean*" para asignar a cada celda el valor promedio del municipio en el que se encuentra. El resultado es un ráster homogéneo y continuo, en el que cada pixel representa la densidad económica asociada a su ubicación, perfectamente alineado con la resolución espacial del resto de componentes.
- Cálculo del PIB por celda: para obtener un indicador de exposición comparable con el resto de las capas, la densidad económica (€/m²) se transformó en *PIB por celda (€) = PIB (€/m2) * Área de la celda (m²)*.

Para su integración con el resto de las componentes del riesgo, el indicador de exposición se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante un método de cuantiles.

Vulnerabilidad

La **vulnerabilidad** se ha estimado como un indicador derivado del **porcentaje de tiempo en situaciones de alerta y emergencia**, en base a los indicadores de escasez recogidos en los Planes Especiales de Sequía. Este indicador refleja la susceptibilidad del territorio a sufrir impactos cuando el peligro se materializa.

La información utilizada procede de los Planes Especiales de Sequía. Para su integración con el resto de componentes del riesgo, el indicador de vulnerabilidad se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante un método de cuantiles.

Posibles mejoras y alternativas metodológicas

El enfoque adoptado permite una evaluación coherente y reproducible del riesgo a escala nacional. No obstante, la metodología presenta un carácter flexible y escalable, y podría perfeccionarse significativamente en escenarios futuros o en ámbitos territoriales concretos si se dispusiera de información geográfica adicional, de mayor resolución o específicamente orientada al análisis del riesgo.

A continuación, se describen las principales líneas de mejora y alternativas metodológicas identificadas.

Mejoras en los indicadores de peligro

El balance hídrico (P–ETP) constituye un indicador robusto y de interpretación directa, al reflejar explícitamente el déficit o superávit de agua disponible en el territorio. Manteniendo ese enfoque y evitando incorporar variables de exposición o vulnerabilidad, las principales líneas de mejora serían:

- **Capturar mejor la persistencia y la recurrencia**, complementando el balance medio con métricas de duración y frecuencia de déficits relevantes, como rachas secas, déficit acumulado y porcentaje de tiempo por debajo de umbrales (en ventanas móviles). Esto permite representar mejor el carácter "prolongado" del riesgo, más allá de la intensidad media del déficit.
- **Introducir escalas temporales múltiples de sequía**, de manera que el peligro refleje la propagación del déficit desde escalas cortas a largas (por ejemplo, ventanas estacionales y plurianuales). En un riesgo sistémico, la escala temporal condiciona la transición de tensiones operativas a impactos agregados.

- **Vincular el peligro a la traducción hidrológica** cuando sea necesario, incorporando un indicador hidrológico de apoyo (p. ej., anomalías de aportación/escorrentía o caudales bajos) siempre como extensión del peligro climático-hidrológico, no como consecuencia. Esto mejora la lectura en territorios donde el déficit P–ETP no se traduce linealmente en disponibilidad efectiva.
- **Coherencia con el análisis de escenarios**: dado que en la proyección futura del ECS9 se estima el cambio manteniendo constantes los umbrales de reclasificación del periodo actual para asegurar comparabilidad, cualquier refinamiento del peligro debería preservar esa comparabilidad temporal o, si se introducen nuevas métricas, acompañarse de una regla de equivalencia clara.

Alternativas y mejoras en los indicadores de exposición

La exposición utilizada en el análisis se basa en la actividad económica municipal y en el valor ambiental protegido, representado mediante la presencia de espacios de la Red Natura 2000. Esta combinación permite aproximar, de forma sintética y coherente a escala nacional, tanto los activos económicos potencialmente afectados por la sequía prolongada como los valores ambientales especialmente sensibles a la disponibilidad de agua.

- **Exposición ambiental más informativa**, pasando del binario "Natura 2000 sí/no" a una representación multicomponente que refleje tipología de espacios, dependencia hídrica, estado de conservación y servicios ecosistémicos sensibles a la disponibilidad de agua, manteniéndolo como "receptor valioso expuesto" y no como sensibilidad o estado.
- **Exposición económica más específica**, complementando el PIB total con proxies de concentración de actividad y, cuando exista información homogénea, con exposición de sectores especialmente dependientes del agua (expresado como valor/actividad expuesta, no como capacidad de respuesta). En este sentido, la superficie de regadío o el PIB agrario se presentan como indicadores especialmente relevantes de exposición directa al déficit hídrico.
- Otras **capas de exposición de servicios** (opcionales y explícitas), separadas de la exposición base: por ejemplo, presencia de infraestructuras críticas o nodos de servicios esenciales vinculados al agua. La clave es mantenerlo como potencial de afectación, sin incorporar todavía su fragilidad o capacidad de gestión.

Alternativas y mejoras en los indicadores de vulnerabilidad

La vulnerabilidad se ha aproximado mediante un indicador operativo de escasez, el porcentaje de tiempo en alerta/emergencia según los Planes Especiales de Sequía (1980–2023), que ofrece una lectura directa de la susceptibilidad del sistema a que el peligro se traduzca en restricciones y tensiones. No obstante, este componente podría ampliarse incorporando indicadores adicionales que reflejen de forma más completa la capacidad del territorio para absorber, gestionar y adaptarse a la sequía prolongada, entre ellos:

- **Vulnerabilidad estructural de los sistemas de abastecimiento**, relacionada con una baja capacidad de regulación, escasa redundancia de fuentes, elevada dependencia de recursos locales o limitada interconexión entre sistemas.
- **Vulnerabilidad socioeconómica**, mediante variables que reflejen capacidad de absorción del impacto y recuperación (renta, desempleo, envejecimiento, etc.), o dependencia económica de sectores especialmente sensibles a la disponibilidad hídrica, manteniéndolas como sensibilidad/capacidad adaptativa y no como "valor expuesto" (que ya cubre el PIB).
- **Histórico de episodios críticos y respuesta**, incorporando indicadores de duración e intensidad de restricciones, y proxies de capacidad de gestión y adaptación (existencia y desarrollo de planes, medidas de ahorro/eficiencia, experiencia previa), para discriminar territorios con exposición similar, pero resiliencia distinta.
- **Capacidad de gestión y adaptación**, evaluada a partir de la existencia y grado de desarrollo de planes de emergencia, medidas de ahorro y eficiencia, diversificación de fuentes o experiencias previas de adaptación.

Incorporación explícita de la incertidumbre

De cara a la evaluación de escenarios futuros de cambio climático, la metodología podría reforzarse incorporando de forma explícita la incertidumbre asociada tanto a las proyecciones climáticas como a los supuestos socioeconómicos, mediante:

- **Factores de penalización progresivos del nivel de confianza**, vinculados al horizonte temporal de análisis (futuro cercano, medio y lejano), reflejando el aumento de la incertidumbre conforme se incrementa el plazo de proyección.
- **Uso de conjuntos de modelos climáticos (ensembles)** y análisis de la dispersión de resultados, permitiendo caracterizar rangos de variabilidad y escenarios plausibles.
- **Representación cartográfica complementaria de la incertidumbre**, mediante mapas específicos de confianza o robustez del riesgo estimado.

Este enfoque facilitaría una interpretación más prudente de los resultados y un mejor apoyo a la toma de decisiones estratégicas.

ECS10/ECS11. Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales / inundaciones costeras y temporales marítimos

En España, la evaluación y gestión del riesgo de inundación, tanto fluvial como costera, se rige por la Directiva de Inundaciones (Directiva 2007/60/CE) y su transposición mediante el Real Decreto 903/2010. Este marco establece un proceso metodológico común a todas las demarcaciones hidrográficas, que se desarrolla en tres fases: la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI), la elaboración de los Mapas de Peligrosidad y Riesgo de Inundación (MAPRI) y los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI).

Cartografía disponible

La cartografía oficial resultante de este proceso se publica en el **Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables** (SNCZI). El visor del SNCZI contiene los mapas de peligrosidad y los mapas de riesgo correspondientes a las zonas identificadas en la EPRI como Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI). Estos mapas son elaborados en cada demarcación por las autoridades competentes en materia de aguas, costas y protección civil, de acuerdo con el procedimiento establecido en el artículo 8 del Real Decreto 903/2010.

De forma resumida, los contenidos del SNCZI se estructuran en dos grandes bloques cartográficos:

- Mapas de **peligrosidad**, que representan la extensión potencial de la inundación y el calado o nivel del agua para distintos escenarios de probabilidad, permitiendo identificar las zonas que quedarían anegadas y la intensidad del fenómeno en cada punto.
- Mapas de **riesgo**, que muestran las consecuencias adversas potenciales asociadas a la inundación dentro de las zonas inundables. Estos mapas integran la información de peligrosidad con distintos tipos de elementos afectados y se organizan en cuatro categorías principales: riesgo para la población, riesgo para las actividades económicas, riesgo para el medio ambiente y riesgo en puntos de especial importancia.

En el presente estudio **no se ha realizado un cálculo propio del riesgo de inundación. La evaluación se basa exclusivamente en la utilización y representación de la cartografía oficial disponible en el SNCZI**, garantizando así la coherencia con la metodología establecida a nivel nacional y la comparabilidad entre demarcaciones.

Concretamente, se han utilizado los mapas de riesgo correspondientes a:

- Riesgo para la **población**: sobre la extensión de la zona inundable, se muestra el número indicativo de habitantes que pueden verse afectados en cada zona.
- Riesgo para las **actividades económicas**: sobre la extensión de la zona inundable, se muestra el tipo de actividad económica (uso de suelo) que puede verse afectada.
- Afección a **áreas de importancia ambiental**: sobre la extensión de la zona inundable, se muestran cuatro tipos de posibles afecciones a figuras ambientales:
  - Masas de agua de la Directiva Marco del Agua.
  - Zonas protegidas para la captación de aguas destinadas al consumo humano.
  - Masas de agua de uso recreativo.
  - Zonas para la protección de hábitats o especies.
- Riesgo en **puntos de especial importancia**: muestra posibles afecciones a elementos de cuatro tipos específicos en el ámbito de la zona inundable:

- Instalaciones industriales, según la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).
- EDAR (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales)
- Patrimonio cultural.
- Elementos significativos para protección civil.

Estos mapas permiten una visión sintética y comparable del riesgo de inundación a escala nacional, constituyendo una referencia sólida para el análisis estratégico y la priorización de medidas de adaptación.

Consideraciones sobre la proyección futura del riesgo

Debido a la elevada incertidumbre asociada a la evolución de los extremos de precipitación, en este análisis no se proyecta el riesgo a horizontes futuros. Tal y como se expone en la sección 3.20 de la memoria, los estudios disponibles muestran resultados contradictorios y no permiten identificar una señal robusta en la precipitación máxima diaria, ni en escenarios intermedios (SSP2-4.5) ni de altas emisiones (SSP5-8.5). Ante esta falta de consenso y con el fin de evitar introducir supuestos poco consistentes, la evaluación del riesgo se basa exclusivamente en información histórica, garantizando un análisis coherente, transparente y replicable.

ECS13. Riesgo de incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima

El riesgo de incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima se ha evaluado mediante la combinación de tres componentes fundamentales: peligro climático (P), exposición (E) y vulnerabilidad (V), integrados espacialmente en un formato continuo y homogéneo de manera coherente.

Componentes del riesgo

Peligro climático

El **peligro climático** de incendios forestales se ha caracterizado mediante el **Fire Weather Index (FWI)** o Índice Meteorológico de Incendios, desarrollado por el Servicio Forestal Canadiense. El FWI es un índice meteorológico adimensional, ampliamente utilizado a escala global, que permite estimar las condiciones favorables para la ignición y propagación de incendios forestales a partir de variables meteorológicas diarias registradas al mediodía: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación acumulada en las últimas 24 horas. Situaciones de alto riesgo suelen coincidir con la conocida regla del 30-30-30 (temperatura ≥ 30 °C, humedad ≤ 30 % y viento ≥ 30 km/h).

En el marco del Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S), se dispone de datos históricos y proyecciones futuras del FWI para Europa, basadas en simulaciones climáticas EURO-CORDEX. Estas simulaciones presentan resolución diaria y una resolución espacial de 0,11° × 0,11°, y cubren los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 para el periodo 1970–2098. El tramo histórico (1970–2005) se emplea como referencia para el análisis de tendencias. Se pueden encontrar más especificaciones técnicas en la documentación de los conjuntos de datos:

- Datos históricos de los índices de peligro de incendios del Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus[19]
- Indicadores de peligro de incendios para Europa de 1970 a 2098 derivados de las proyecciones climáticas[20]

Además de los valores diarios, el conjunto de datos incluye indicadores derivados, como el número de días con peligro moderado, alto y muy alto, según la clasificación del Sistema Europeo de Información sobre Incendios Forestales (EFFIS), y el **FWI medio del periodo junio–septiembre** (temporada de incendios en Europa). Este último es el que se ha utilizado para el análisis del riesgo ECS13. Se calcula como la suma del índice meteorológico diario de incendios durante la temporada de incendios dividida por el número total de días dentro de este intervalo de fechas. Cuanto más alto es el valor del índice, más favorables son las condiciones meteorológicas para que se produzca un incendio forestal. El peligro se ha reclasificado según los rangos del índice FWI utilizados por el European Forest Fire Information System (EFFIS).

[19] https://ewds.climate.copernicus.eu/datasets/cems-fire-historical-v1?tab=overview

[20] https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/sis-tourism-fire-danger-indicators?tab=overview

Fire Danger Classes	FWI ranges (upper bound excluded)
Very low	< 5.2
Low	5.2 - 11.2
Moderate	11.2 - 21.3
High	21.3 - 38.0
Very high	38.0 - 50.0
Extreme	>= 50.0

Rangos del FWI utilizados por EFFIS para la definición de las clases de peligro de incendios.

Este indicador constituye una medida directa y fácilmente interpretable de la incidencia potencial de incendios asociados al clima

Fuente: Seasonal FWI (Copernicus Climate Data Store), con resolución espacial de 100 x 10 km (resampleado a una resolución de 2 km), para el periodo 1970-2098.

Exposición

La **exposición** se ha definido a partir de la **superficie forestal y vegetación natural**, utilizada como indicador de la presencia de masa forestal o vegetación natural susceptible de arder. A partir de la información procedente del CORINE Land Cover 2018 en formato vectorial se ha identificado como superficie forestal toda la superficie contenida en las clases:

- 3.1 Bosques
- 3.2 Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea

Esta información se ha rasterizado y se le ha dado un tratamiento binario: se asigna valor 1 si la celda contiene superficie forestal y un valor 0 si no hay superficie forestal. El resultado permite identificar el territorio expuesto en términos de presencia de combustible forestal.

Fuente: CORINE Land Cover 2018, rasterizado a una resolución de 500 x 500 m.

Vulnerabilidad

La **vulnerabilidad** se ha estimado mediante el indicador derivado del **Vegetation Health Index (VHI),** un índice compuesto que combina el VCI (Vegetation Condition Index), basado en NDVI (vegetación/biomasa) y el TCI (Temperature Condition Index), basado en la temperatura de superficie (LST). El VHI refleja la sensibilidad del sistema forestal al daño por incendio; las áreas donde un incendio puede tener mayor impacto sobre la vegetación debido a su estado, salud o estrés hídrico. En términos de vulnerabilidad climática, un VHI bajo indica vegetación estresada por calor o falta de agua, es decir, áreas potencialmente vulnerables.

Para su cálculo se han empleado los productos mensuales VHI-M de la FAO[21], disponibles en formato ráster, correspondientes al periodo 1984–2023 y con una resolución de 1 km. Cada archivo mensual incluye información georreferenciada del estado de la vegetación, con valores normalizados entre 0 y 1, donde valores bajos indican mayor estrés.

Con el fin de captar la respuesta acumulada de la vegetación a escala anual, los datos mensuales se han agregado por año hidrológico y se ha calculado la mediana anual de cada celda, reduciendo así la influencia de valores extremos puntuales y priorizando una señal representativa del comportamiento medio del sistema.

A partir de la serie de medianas anuales por año hidrológico, se ha calculado un valor mediano global para todo el periodo de estudio (1984–2023), obteniéndose un único ráster representativo de las condiciones medias de estrés de la vegetación a largo plazo.

Finalmente, para su integración con el resto de componentes del riesgo, este indicador se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante un método de cuantiles.

Posibles mejoras y alternativas metodológicas

El enfoque adoptado permite una evaluación coherente y reproducible del riesgo a escala nacional. No obstante, la metodología presenta un carácter flexible y escalable, y podría perfeccionarse significativamente en escenarios futuros o en ámbitos territoriales concretos si se dispusiera de información geográfica adicional, de mayor resolución o específicamente orientada al análisis del riesgo.

A continuación, se describen las principales líneas de mejora y alternativas metodológicas identificadas.

Mejoras en los indicadores de peligro

El peligro se está caracterizando mediante el indicador FWI estacional reclasificado según rangos EFFIS. A partir de esa base, las mejoras más consistentes pasan por explotar mejor la señal de extremos y persistencia, y por complementar el FWI con indicadores que capturen el trasfondo de sequía que favorece episodios severos:

- Incorporar, además del valor medio estacional, **métricas derivadas como el número de días en peligro moderado, alto y muy alto** y la duración de rachas consecutivas con FWI elevado, para representar mejor episodios prolongados de condiciones críticas.
- Complementar con **índices de sequía y estrés hídrico como SPEI** (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) o el **SSI** (Soil Moisture Stress Index), para reflejar el contexto de déficit hídrico acumulado que puede amplificar la disponibilidad de combustible y la severidad potencial, especialmente en escalas multi-mensuales y plurianuales.
- Añadir información específica sobre **combinaciones meteorológicas extremas** que disparan grandes incendios, como olas de calor prolongadas y periodos secos intensos, de forma que el peligro recoja no solo intensidad, sino concurrencia de condiciones.
- Utilizar **registros históricos de incendios** para contrastar y, cuando sea posible, ajustar los umbrales de reclasificación del FWI, reforzando la consistencia entre clases de peligro y ocurrencia observada.

En ámbitos donde se disponga de capacidad y datos, valorar el apoyo con modelos de propagación integrados con el forzamiento meteorológico, para aproximar explícitamente la componente de crecimiento y extensión potencial asociada a escenarios climáticos.

[21] https://www.fao.org/giews/earthobservation/asis/index_2.jsp?lang=en

Alternativas y mejoras en los indicadores de exposición

La exposición se está representando mediante la presencia de superficie forestal y vegetación natural. Ese planteamiento es sólido como primera aproximación y puede refinarse sin cambiar su sentido, pasando de un indicador binario a una descripción más informativa del receptor expuesto:

- Desagregar la exposición por tipos de **cobertura y combustibilidad de la vegetación forestal y arbustiva** presente, de manera que el receptor expuesto no sea solo "hay o no hay combustible", sino también "qué tipo de combustible domina".
- Incorporar **métricas de continuidad y fragmentación** del combustible a escala espacial, dado que la distribución del receptor expuesto condiciona la propagación potencial y permite diferenciar territorios con igual superficie forestal pero distinta configuración.
- Añadir la **interfaz urbano-forestal** como dimensión de exposición cuando se quiera representar explícitamente la presencia de personas y activos en zonas donde el incendio puede afectar directamente a población e infraestructuras, además del componente estrictamente ecológico.
- Incluir, si existe información homogénea, una **aproximación a la carga de combustible o su variación estacional** como medida de "cuánto receptor combustible" está disponible, manteniéndolo como exposición del receptor y no como señal meteorológica.

Alternativas y mejoras en los indicadores de vulnerabilidad

La vulnerabilidad se está estimando a partir del VHI, que informa sobre el estado y el estrés de la vegetación como indicador indirecto de susceptibilidad. A partir de esa base, las mejoras más útiles suelen centrarse en representar mejor la capacidad de recuperación, la susceptibilidad acumulada y condicionantes locales que amplifican daños:

- Incorporar información de **recuperación postincendio y resiliencia de la vegetación**, de forma que la vulnerabilidad no refleje solo estrés previo, sino también la capacidad de retorno tras el impacto.
- Considerar el **historial de incendios, incluyendo frecuencia e intensidad**, para identificar áreas con recurrencia alta o con señales de degradación progresiva que incrementen la susceptibilidad ante nuevos episodios.
- Integrar **condicionantes del terreno y del contexto operativo**, como pendiente y accesibilidad, que influyen tanto en la propagación y severidad local como en la efectividad de la respuesta y de medidas de mitigación.
- Cuando sea pertinente, ampliar la lectura hacia la **vulnerabilidad socioambiental** en zonas con interfaz urbano-forestal, incorporando variables que reflejen capacidad de preparación y respuesta y la sensibilidad de los receptores humanos y ambientales.

Incorporación explícita de la incertidumbre

De cara a la evaluación de escenarios futuros de cambio climático, la metodología podría reforzarse incorporando de forma explícita la incertidumbre asociada tanto a las proyecciones climáticas como a los supuestos socioeconómicos, mediante:

- **Factores de penalización progresivos del nivel de confianza**, vinculados al horizonte temporal de análisis (futuro cercano, medio y lejano), reflejando el aumento de la incertidumbre conforme se incrementa el plazo de proyección.
- **Uso de conjuntos de modelos climáticos (ensembles)** y análisis de la dispersión de resultados, permitiendo caracterizar rangos de variabilidad y escenarios plausibles.
- **Representación cartográfica complementaria de la incertidumbre**, mediante mapas específicos de confianza o robustez del riesgo estimado.

Este enfoque facilitaría una interpretación más prudente de los resultados y un mejor apoyo a la toma de decisiones estratégicas.

AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento

El riesgo por reducción de la garantía de suministro al abastecimiento se ha evaluado mediante la combinación de tres componentes fundamentales: peligro climático (P), exposición (E) y vulnerabilidad (V), integrados espacialmente en un formato continuo y homogéneo de manera coherente.

Componentes del riesgo

Peligro climático

El **peligro climático** se ha caracterizado a partir de la **aportación específica.** Este indicador constituye una medida directa de la disponibilidad natural de agua y de su variabilidad climática, siendo especialmente relevante para evaluar situaciones de reducción de aportaciones que puedan comprometer la garantía del suministro urbano. La información procede del modelo SIMPA (CEDEX), utilizando la variable de escorrentía total, con una resolución espacial de 500 × 500 m y un periodo de análisis 1980–2023.

Con el fin de integrar este indicador con el resto de las componentes del riesgo, los valores de aportación específica se han transformado en un índice de peligro, invirtiendo previamente el sentido del indicador de modo que menores aportaciones se correspondan con mayor nivel de peligro. Posteriormente, el indicador de peligro se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante un método de cuantiles.

Exposición

La **exposición** se ha definido a partir de la **densidad de población**, utilizada como indicador sintético del volumen de población potencialmente afectada por una reducción en la garantía de suministro de agua para abastecimiento urbano.

La información de población municipal correspondiente al año 2024 (INE) se ha transformado en un ráster continuo, permitiendo representar de forma homogénea la distribución espacial de la población y su integración con los indicadores de peligro y vulnerabilidad. Este enfoque permite identificar las áreas donde un mismo nivel de peligro puede generar impactos significativamente distintos en función del número de personas expuestas.

Para su integración con el resto de las componentes del riesgo, el indicador de exposición se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante un método de cuantiles.

Vulnerabilidad

La **vulnerabilidad** se ha estimado mediante el **Índice Sintético de Vulnerabilidad Urbana (ISVU),** procedente del "*Atlas de Vulnerabilidad Urbana*", elaborado por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana[22]. Este índice permite caracterizar la susceptibilidad social y estructural de la población urbana frente a impactos que afectan a servicios básicos, como el abastecimiento de agua, considerando factores sociodemográficos, socioeconómicos y residenciales.

[22] https://atlasvulnerabilidadurbana.mitma.es/#c=home

El Atlas se basa en los datos de los Censos de Población y Viviendas de 2001 y 2011, y proporciona información a nivel de sección censal para el conjunto del territorio nacional. En este estudio se ha empleado la **Clasificación Multicriterio Global (ISVU-G)**, que integra un total de 20 indicadores de vulnerabilidad agrupados en cuatro grandes dominios temáticos:

- ISVU-SD, Clasificación según criterios Sociodemográficos, incluye el conjunto de los 5 indicadores sociodemográficos: (1) Porcentaje de población de 75 años y más, (2) Porcentaje de hogares unipersonales de mayores de 64 años, (3) Porcentaje de hogares con un adulto y un menor o más, (4) Porcentaje de población extranjera y (5) Porcentaje de población extranjera infantil.
- ISVU-SE, Clasificación según criterios Socioeconómicos, incluye el conjunto de 5 indicadores socioeconómicos: (6) Porcentaje de población en paro. (IBVU), (7) Porcentaje de población juvenil en paro, (8) Porcentaje de ocupados eventuales, (9) Porcentaje de ocupados no cualificados y (10) Porcentaje de población sin estudios. (IBVU).
- ISVU-R, Clasificación según criterios Residenciales, incluye el conjunto de los 5 indicadores residenciales: (11) Porcentaje de viviendas con menos de 30 m², (12) Superficie media por habitante (m²), (13) Porcentaje de población en viviendas sin servicio o aseo. (IBVU: Indicador Básico de Vulnerabilidad Urbana), (14) Porcentaje de viviendas en edificios en mal estado de conservación y (15) Porcentaje viviendas en edificios anteriores a 1951.
- ISVU-S, Clasificación según criterios Subjetivos, incluye el conjunto de los 5 indicadores subjetivos: (16) Porcentaje de población con problemas de ruidos exteriores, (17) Porcentaje de población con problemas de contaminación en su entorno, (18) Porcentaje de población con problemas de malas comunicaciones, (19) Porcentaje de población con problema de escasez zonas verdes y (20) Porcentaje de población con problemas de delincuencia en su entorno.

Para su integración con el resto de componentes del riesgo, el índice se ha rasterizado y homogeneizado a la resolución de análisis (500 x 500 m), y posteriormente se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante un método de cuantiles.

Posibles mejoras y alternativas metodológicas

El enfoque adoptado permite una evaluación reproducible del riesgo a escala nacional. No obstante, la metodología deberá perfeccionarse significativamente en escenarios futuros para que sea coherente con los resultados obtenidos en el plan hidrológico, que contempla específicamente la realización de balances a largo plazo donde se tendrá en cuenta el posible efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos naturales de la demarcación (artículo 21.4 del RPH).

A continuación, se describen las principales líneas de mejora y alternativas metodológicas identificadas.

Mejoras en los indicadores de peligro

El peligro se ha aproximado con la aportación específica (SIMPA, 1980–2023), reclasificada por cuantiles tras invertir el sentido para que menores aportaciones impliquen mayor peligro. Sobre esa base, las mejoras más útiles consisten en capturar mejor persistencia, estacionalidad y severidad de episodios de baja aportación, sin desplazar al bloque de peligro variables de desempeño del sistema.

- **Persistencia y recurrencia de baja aportación**: complementar el promedio con métricas de duración y frecuencia (años/meses por debajo de umbrales relativos, rachas secas hidrológicas y déficit acumulado), para discriminar mejor sequías multianuales relevantes para el abastecimiento.
- **Estacionalidad del déficit**: incorporar indicadores centrados en los periodos críticos (por ejemplo, señal de aportaciones en meses de estiaje o ratios estiaje–anual), dado que la garantía suele depender de la coincidencia entre baja aportación y periodos de máxima demanda.
- **Índices multiescala de sequía**: mantener y desarrollar el uso de SPEI y SSI para caracterizar la sequía a distintas escalas temporales (corto, medio y largo plazo) y mejorar la comparabilidad espacial del peligro.

- **Traducción hidrológica hacia sistemas de regulación** (cuando proceda): incorporar la reducción de aportaciones naturales a sistemas de regulación como descriptor hidrológico del peligro en ámbitos fuertemente regulados, manteniendo el foco en la señal climática-hidrológica.

Alternativas y mejoras en los indicadores de exposición

La exposición se ha representado mediante densidad de población (INE 2024), rasterizada y reclasificada por cuantiles, como aproximación al volumen de población potencialmente afectada. Este enfoque es consistente a escala nacional, pero puede refinarse para reflejar mejor los receptores efectivamente dependientes del abastecimiento y los elementos expuestos:

- **Población efectivamente abastecida** por unidades/sistemas de suministro, diferenciando (cuando exista información) el origen principal del recurso (superficial, subterráneo o mixto), para alinear la exposición con la organización real del servicio.
- **Infraestructuras críticas de abastecimiento** (captaciones, ETAP, depósitos, conducciones principales) como exposición de activos cuya afección puede amplificar el impacto más allá del patrón poblacional.
- **Servicios esenciales sensibles** a fallos de suministro (hospitales, centros sociosanitarios, colegios), incorporados como capa específica de exposición para captar criticidad territorial.
- **Exposición estacional y turística**: complementar la población residente con proxies de población estacional o consumo estacional urbano para representar territorios donde la exposición real supera la residente en periodos críticos.

Alternativas y mejoras en los indicadores de vulnerabilidad

La vulnerabilidad se ha estimado con el ISVU (Atlas de Vulnerabilidad Urbana), que caracteriza susceptibilidad social y estructural mediante dimensiones sociodemográficas, socioeconómicas y residenciales. Es una base sólida para el componente social, pero puede completarse para reflejar mejor la capacidad de adaptación del sistema de abastecimiento y la propensión a que el peligro se traduzca en restricciones.

- **Vulnerabilidad "técnica" del sistema urbano**: incorporar indicadores de dependencia de un único recurso, baja redundancia, limitada interconexión o escasa capacidad de almacenamiento/regulación disponible para el abastecimiento, como determinantes directos de la resiliencia del servicio.
- **Evidencia operativa de fragilidad**: incluir históricos de restricciones o episodios de emergencia en abastecimiento cuando exista información homogénea, como síntesis de susceptibilidad del sistema. También pueden emplearse indicadores hidrológicos directos de garantía de suministro, balance o ratios demanda–recursos y déficits simulados.
- **Capacidad institucional y de gestión**: considerar la existencia y grado de implantación de planes de emergencia/sequía, diversificación de fuentes, y medidas de gestión de la demanda como proxies de capacidad adaptativa.

Incorporación explícita de la incertidumbre

De cara a la evaluación de escenarios futuros de cambio climático, la metodología podría reforzarse incorporando de forma explícita la incertidumbre asociada tanto a las proyecciones climáticas como a los supuestos socioeconómicos, mediante:

- **Factores de penalización progresivos del nivel de confianza**, vinculados al horizonte temporal de análisis (futuro cercano, medio y lejano), reflejando el aumento de la incertidumbre conforme se incrementa el plazo de proyección.
- **Uso de conjuntos de modelos climáticos (ensembles)** y análisis de la dispersión de resultados, permitiendo caracterizar rangos de variabilidad y escenarios plausibles.

- **Representación cartográfica complementaria de la incertidumbre**, mediante mapas específicos de confianza o robustez del riesgo estimado.

Este enfoque facilitaría una interpretación más prudente de los resultados y un mejor apoyo a la toma de decisiones estratégicas.

AG2. Reducción de la garantía de suministro al regadío

El riesgo por reducción de la garantía de suministro al regadío se ha evaluado mediante la combinación de tres componentes fundamentales: peligro climático (P), exposición (E) y vulnerabilidad (V), integrados espacialmente en un formato continuo y homogéneo de manera coherente.

Componentes del riesgo

Peligro climático

El peligro climático se ha caracterizado mediante el déficit hídrico (ETP–ETR) como indicador estrictamente climático y, por tanto, proyectable en escenarios SSP. Este indicador representa el desequilibrio entre la demanda atmosférica de agua y la evapotranspiración efectivamente alcanzable en el sistema suelo–vegetación, capturando el grado de aridez funcional y la persistencia del estrés hídrico que acompañan a episodios de escasez. Se reconoce que el riesgo AG2 se materializa en sistemas de explotación regulados y que, en ese contexto, la garantía de suministro no depende del "régimen natural" en sentido operativo, sino de reglas de asignación, capacidad de regulación, interconexiones y gestión; precisamente por ello, el déficit hídrico pretende representar el forzamiento climático que incrementa la probabilidad de restricciones al actuar simultáneamente sobre la demanda de riego y sobre la disponibilidad natural de recursos que alimenta el sistema. Valores elevados del déficit hídrico indican condiciones de estrés hídrico persistente, asociadas a una mayor probabilidad de reducción de aportaciones y limitaciones en la disponibilidad de recursos hídricos para usos consuntivos, particularmente el regadío.

El déficit hídrico se ha calculado utilizando la información de las variables de ETP y ETR disponibles en el modelo SIMPA (CEDEX), con una resolución espacial de 500 × 500 m y un periodo de análisis 1980–2023.

Para su integración con el resto de las componentes del riesgo, el indicador de peligro se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante un método de cuantiles.

Exposición

La **exposición** se ha definido a partir de la **superficie en regadío**, utilizada como indicador sintético del valor directamente expuesto a una posible reducción de la garantía de suministro hídrico.

La información utilizada proviene del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR, 2021), con una resolución espacial de 10 m.

A partir de esta cartografía, se ha generado un ráster binario de exposición, asignando valor 1 a las celdas clasificadas como regadío, y valor 0 al resto del territorio. Este enfoque permite identificar de manera clara la presencia o ausencia de exposición, facilitando su integración con los indicadores continuos de P y V.

Vulnerabilidad

La **vulnerabilidad** se ha estimado mediante el indicador derivado del **Vegetation Health Index (VHI),** un índice compuesto que combina el VCI (Vegetation Condition Index), basado en NDVI (vegetación/biomasa) y el TCI (Temperature Condition Index), basado en la temperatura de superficie (LST). El VHI constituye un buen indicador indirecto

de la "salud de la vegetación" bajo condiciones de estrés hídrico y térmico. En términos de vulnerabilidad climática, un VHI bajo indica vegetación estresada por calor o falta de agua, es decir, áreas potencialmente vulnerables.

Para su cálculo se han empleado los productos mensuales VHI-M de la FAO[23], disponibles en formato ráster, correspondientes al periodo 1984–2023 y con una resolución de 1 km. Cada archivo mensual incluye información georreferenciada del estado de la vegetación, con valores normalizados entre 0 y 1, donde valores bajos indican mayor estrés.

Con el fin de captar la respuesta acumulada de la vegetación a escala anual, los datos mensuales se han agregado por año hidrológico y se ha calculado la mediana anual de cada celda, reduciendo así la influencia de valores extremos puntuales y priorizando una señal representativa del comportamiento medio del sistema.

A partir de la serie de medianas anuales por año hidrológico, se ha calculado un valor mediano global para todo el periodo de estudio (1984–2023), obteniéndose un único ráster representativo de las condiciones medias de estrés de la vegetación a largo plazo.

Finalmente, para su integración con el resto de componentes del riesgo, el indicador de vulnerabilidad se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante un método de cuantiles.

Posibles mejoras y alternativas metodológicas

El enfoque adoptado permite una evaluación reproducible del riesgo a escala nacional. No obstante, la metodología deberá perfeccionarse significativamente en escenarios futuros para que sea coherente con los resultados obtenidos en el plan hidrológico, que contempla específicamente la realización de balances a largo plazo donde se tendrá en cuenta el posible efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos naturales de la demarcación (artículo 21.4 del RPH).

A continuación, se describen las principales líneas de mejora y alternativas metodológicas identificadas.

Mejoras en los indicadores de peligro

Partiendo del déficit hídrico ETP–ETR como aproximación al estrés climático relevante para la disponibilidad de agua en el sistema suelo–vegetación, las mejoras pueden orientarse a representar con mayor fidelidad la persistencia del déficit y su traslación a condiciones hidrológicas directamente vinculadas a la garantía de suministro.

- **Indicadores hidrológicos directos de disponibilidad**: complementar (o, donde proceda, sustituir) el déficit climático por señales como reducción de aportaciones naturales, caudales bajos o volúmenes disponibles, por su conexión más inmediata con situaciones de restricción de suministro.
- **Índices multiescala de sequía (SPI/SPEI)**: incorporar métricas a distintas escalas temporales para capturar la persistencia y acumulación del déficit, especialmente relevante en sequías prolongadas que comprometen campañas sucesivas.
- **Indicadores compuestos clima–recursos**: explorar formulaciones que integren simultáneamente señal climática de déficit y condiciones hidrológicas del sistema, mejorando la lectura del peligro desde la perspectiva de la gestión del recurso.

[23] https://www.fao.org/giews/earthobservation/asis/index_2.jsp?lang=en

Alternativas y mejoras en los indicadores de exposición

La exposición basada en presencia/ausencia de regadío es una primera aproximación robusta para localizar el receptor expuesto, pero puede enriquecerse para pasar de una exposición binaria a una representación más graduada del valor potencialmente afectado.

- **Superficie de regadío ponderada por tipo de cultivo**: diferenciar cultivos permanentes, herbáceos o de mayor valor, para reflejar distinta magnitud del activo expuesto sin alterar la lógica de receptor.
- **Demanda hídrica** asociada al regadío: incorporar necesidades de riego estimadas por cultivo y zona (como indicador indirecto de "magnitud de actividad dependiente del agua"), para graduar la exposición más allá del área.
- **Infraestructuras vinculadas** al regadío: añadir redes, balsas, captaciones u otros elementos, especialmente donde su concentración incremente la exposición territorial a restricciones.
- **Valor económico del regadío**: integrar producción agraria o valor añadido (si existe información espacialmente explícita), para aproximar la exposición en términos de impacto potencial económico.

Alternativas y mejoras en los indicadores de vulnerabilidad

El uso del VHI proporciona una aproximación biofísica consistente al estrés hídrico y térmico observado en la vegetación, pero puede complementarse con variables que reflejen de forma más directa la capacidad real de los sistemas de riego para absorber y gestionar déficits.

- **Garantía ponderada de riego por sistema de explotación**: incorporar un indicador sintético de fiabilidad del suministro al regadío, al tratarse de un indicador sintético que integra tanto la disponibilidad efectiva del recurso como las reglas de gestión y asignación existentes. Este indicador permitiría diferenciar sistemas con similar exposición climática pero distinta fiabilidad en el suministro al regadío.
- **Características del sistema de riego**: añadir proxies de eficiencia global, nivel de modernización, pérdidas en red y flexibilidad operativa, como determinantes de susceptibilidad a restricciones.
- **Capacidad de adaptación agraria**: considerar diversificación de cultivos, acceso a recursos alternativos o tecnologías de ahorro, para reflejar margen de ajuste ante campañas con dotaciones reducidas.
- **Histórico de restricciones de riego**: incorporar frecuencia e intensidad de campañas con dotaciones reducidas como evidencia operacional de vulnerabilidad frente a la escasez.
- **Indicadores socioeconómicos del regadío**: incluir dependencia económica del regadío o estructura de explotación (p. ej., tamaño medio) como aproximación a la capacidad de absorción del impacto.

Incorporación explícita de la incertidumbre

De cara a la evaluación de escenarios futuros de cambio climático, la metodología podría reforzarse incorporando de forma explícita la incertidumbre asociada tanto a las proyecciones climáticas como a los supuestos socioeconómicos, mediante:

- **Factores de penalización progresivos del nivel de confianza**, vinculados al horizonte temporal de análisis (futuro cercano, medio y lejano), reflejando el aumento de la incertidumbre conforme se incrementa el plazo de proyección.
- **Uso de conjuntos de modelos climáticos (ensembles)** y análisis de la dispersión de resultados, permitiendo caracterizar rangos de variabilidad y escenarios plausibles.

- **Representación cartográfica complementaria de la incertidumbre**, mediante mapas específicos de confianza o robustez del riesgo estimado.

Este enfoque facilitaría una interpretación más prudente de los resultados y un mejor apoyo a la toma de decisiones estratégicas.

EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica

El riesgo de disminución de la producción hidroeléctrica se ha evaluado mediante la combinación de tres componentes fundamentales: peligro climático (P), exposición (E) y vulnerabilidad (V), integrados espacialmente en un formato continuo y homogéneo que permite su análisis comparativo a escala nacional.

El análisis se ha realizado sobre el conjunto de centrales hidroeléctricas inventariadas, utilizando información puntual asociada a cada instalación y combinándola con indicadores climáticos proyectados.

Componentes del riesgo

Peligro climático

El **peligro climático** se ha caracterizado a partir de la **aportación acumulada**, utilizada como indicador indirecto directo de la disponibilidad de recurso hídrico para la generación hidroeléctrica. Este indicador refleja la capacidad del sistema hidrológico para alimentar los aprovechamientos hidroeléctricos y, por tanto, su sensibilidad frente a reducciones sostenidas de caudal asociadas a sequías prolongadas o a cambios en el régimen hidrológico. Valores bajos de aportación se asocian a un mayor peligro de disminución de la producción hidroeléctrica, especialmente en centrales con escasa capacidad de regulación.

La información empleada procede del modelo SIMPA (CEDEX), para el periodo 1980–2023, con una resolución espacial de 500 × 500 m. A partir de esta información, se ha asignado a cada central hidroeléctrica el valor de aportación acumulada correspondiente a la celda en la que se localiza, garantizando una asignación homogénea y reproducible a escala nacional.

Con el fin de integrar este indicador con el resto de componentes del riesgo, los valores de aportación se han transformado en un índice de peligro, invirtiendo previamente el sentido del indicador de modo que menores aportaciones se correspondan con mayor nivel de peligro. Posteriormente, el indicador de peligro se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto) mediante un método de cuantiles.

Exposición

La **exposición** se ha definido a partir de la **potencia máxima instalada** de cada central hidroeléctrica, utilizada como indicador indirecto del valor energético potencialmente afectado por una reducción de las aportaciones hídricas.

La potencia instalada se ha reclasificado en cinco categorías (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto), mediante cuantiles, de forma que las centrales con mayor capacidad de producción reciben valores de exposición más elevados.

Este enfoque permite representar de manera sintética la importancia relativa de cada instalación dentro del sistema hidroeléctrico, manteniendo la comparabilidad entre centrales.

Vulnerabilidad

La **vulnerabilidad** se ha estimado en función del **tipo de central hidroeléctrica**, diferenciando entre centrales reguladas y fluyentes, dado que su capacidad de adaptación frente a la variabilidad hidrológica es sustancialmente distinta.

- Las centrales vinculadas a presas se consideran reguladas, al disponer de capacidad de almacenamiento que permite amortiguar las fluctuaciones de caudal. A estas se les asigna una vulnerabilidad baja.
- Las centrales no vinculadas a presas se consideran fluyentes, altamente dependientes del caudal instantáneo del río, y por tanto se les asigna una vulnerabilidad alta.

La tipología de las centrales hidroeléctricas se ha inferido a partir de su vinculación con infraestructuras de regulación. En ausencia de información explícita sobre el tipo de central, se ha aplicado un procedimiento espacial consistente en la generación de un buffer de 500 metros alrededor de cada central y su intersección con la cartografía de presas. Aquellas centrales que intersectan con una presa se han clasificado como reguladas, al disponer de capacidad de almacenamiento que permite amortiguar la variabilidad hidrológica, mientras que las restantes se han considerado fluyentes, al depender directamente del caudal circulante.

Para su integración con el resto de componentes del riesgo, el indicador de vulnerabilidad se ha reclasificado en dos categorías, asignando el mínimo valor (1) a las centrales reguladas y el máximo valor (5) a las centrales fluyentes.

Este enfoque permite inferir de manera objetiva y reproducible la vulnerabilidad relativa de cada central frente a situaciones de déficit hídrico, garantizando su aplicabilidad a escala nacional.

Posibles mejoras y alternativas metodológicas

El enfoque adoptado permite una evaluación coherente y reproducible del riesgo a escala nacional. No obstante, la metodología presenta un carácter flexible y escalable, y podría perfeccionarse significativamente en escenarios futuros o en ámbitos territoriales concretos si se dispusiera de información geográfica adicional, de mayor resolución o específicamente orientada al análisis del riesgo. A continuación, se describen las principales líneas de mejora y alternativas metodológicas identificadas.

Mejoras en los indicadores de peligro

El peligro se aproxima mediante aportación acumulada como indicador indirecto de la disponibilidad de recurso para generación, con asignación espacial a cada central y reclasificación por cuantiles. Sobre esa base, las mejoras más consistentes se orientan a representar mejor la señal operativa del déficit (persistencia, estacionalidad y umbrales), sin sustituir el indicador de referencia:

- **Estacionalidad de aportaciones/caudales**: complementar el indicador anual con métricas centradas en periodos críticos para la producción (p. ej., estiaje y meses de mayor valor del agua), de forma que la señal del peligro distinga cambios en el “cuándo” además del “cuánto”.
- **Frecuencia y duración por debajo de umbrales mínimos**: incorporar indicadores del tipo “días/meses por debajo de un umbral” (o percentiles bajos) que representen episodios de indisponibilidad efectiva para turbinar y no solo reducción media.
- **Persistencia y recurrencia de déficits**: añadir métricas de rachas secas y déficit acumulado (multimensual/plurianual) para diferenciar centrales sometidas a déficits breves frente a déficits prolongados, más determinantes en escenarios de sequía larga.

- **Extremos hidrológicos relevantes para explotación**: cuando exista base homogénea, incorporar señales de extremos (cuantiles altos/bajos) que condicionen la capacidad de producir (y no únicamente el valor medio).

Alternativas y mejoras en los indicadores de exposición

La exposición se define con la potencia máxima instalada por central como indicador indirecto del valor energético potencialmente afectado, reclasificada por cuantiles. Manteniendo ese enfoque, las mejoras útiles pasan por refinar la representación del "activo expuesto" y su relevancia funcional:

- **Potencia instalada + producción media anual**: complementar la potencia con una métrica de generación media histórica (cuando exista información consistente), para captar diferencias en salto, régimen de explotación y utilización real que no quedan plenamente reflejadas por la potencia nominal.
- **Diferenciación gran/pequeña hidráulica**: distinguir tipologías por escala para mejorar la lectura territorial del activo expuesto y evitar que unidades con perfiles muy distintos queden agregadas en una única métrica.
- **Peso relativo en el mix eléctrico**: incorporar un descriptor de dependencia territorial de la hidráulica (por región o sistema), entendido como exposición "de servicio" para priorización, sin sustituir la exposición física de la instalación.
- **Infraestructura eléctrica asociada**: considerar, cuando sea pertinente, la criticidad de nodos de evacuación (subestaciones/líneas clave) para identificar ámbitos donde una pérdida de producción tiene mayor repercusión sistémica.

Alternativas y mejoras en los indicadores de vulnerabilidad

La vulnerabilidad se estima a partir del tipo de central, diferenciando reguladas (vulnerabilidad baja) y fluyentes (vulnerabilidad alta), a partir de su vinculación espacial con presas. Sobre esta base, la mejora natural es pasar de una tipología binaria a atributos que capturen mejor la capacidad de amortiguar déficits y la sensibilidad a restricciones:

- **Capacidad real de regulación**: incorporar el volumen útil (y, cuando sea posible, ratios como volumen útil/aportación o volumen útil/potencia) para discriminar centrales reguladas con comportamientos muy distintos ante el mismo déficit.
- **Condicionantes ambientales relevantes**: incluir el grado de dependencia de caudales ecológicos u otras restricciones que limiten la turbinación en periodos de escasez, porque modulan la pérdida efectiva de producción.
- **Flexibilidad operativa y gestión en cascada**: incorporar (cuando haya información) la posibilidad de explotación coordinada en sistemas encadenados, que aumenta la capacidad de adaptación frente a variabilidad intraanual.
- **Evidencia histórica de pérdidas en sequía**: utilizar series de producción y episodios de sequía para caracterizar vulnerabilidad observada, como contraste y refuerzo del enfoque estructural.
- **Aportación "efectiva" en tramos regulados**: tratar la diferencia entre aportación natural y caudal turbinable condicionado por regulación/reglas de explotación como parte de la capacidad de amortiguación del sistema, mejorando la representatividad de la vulnerabilidad en centrales ligadas a embalses.

Incorporación explícita de la incertidumbre

De cara a la evaluación de escenarios futuros de cambio climático, la metodología podría reforzarse incorporando de forma explícita la incertidumbre asociada tanto a las proyecciones climáticas como a los supuestos socioeconómicos, mediante:

- **Factores de penalización progresivos del nivel de confianza**, vinculados al horizonte temporal de análisis (futuro cercano, medio y lejano), reflejando el aumento de la incertidumbre conforme se incrementa el plazo de proyección.
- **Uso de conjuntos de modelos climáticos (ensembles)** y análisis de la dispersión de resultados, permitiendo caracterizar rangos de variabilidad y escenarios plausibles.
- **Representación cartográfica complementaria de la incertidumbre**, mediante mapas específicos de confianza o robustez del riesgo estimado.

Este enfoque facilitaría una interpretación más prudente de los resultados y un mejor apoyo a la toma de decisiones estratégicas.