

Estudio de adaptación a los riesgos del cambio climático en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental

MEMORIA

Febrero de 2026



Confederación Hidrográfica del Cantábrico, O.A.

Índice

Página

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	4
0.4 Impactos potenciales del cambio climático en la demarcación	5
0.5 Evaluación y evolución del riesgo	6
0.6 Medidas de adaptación al cambio climático	7
0.7 Conclusiones y recomendaciones	8
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	17
2.1 Evolución de los tipos climáticos.....	19
2.2 Cambios observados en el régimen térmico y pluviométrico	20
2.3 Cambios observados en la incidencia de los episodios extremos.....	21
2.4 El ciclo hidrológico.....	22
2.5 Régimen de temperatura (medianas)	23
2.6 Régimen de temperatura (máximas)	24
2.7 Evapotranspiración potencial.....	25
2.8 Régimen de precipitaciones	26
2.9 Régimen nival	27
2.10 Humedad del suelo.....	28
2.11 Infiltración	29

2.12	Estrés hídrico, como diferencia entre ETP y ETR	30
2.13	Evapotranspiración real	31
2.14	Escorrentía subterránea	32
2.15	Escorrentía superficial	33
2.16	Aportaciones totales	34
2.17	Precipitaciones máximas diarias (AdapteCCa)	35
2.18	Precipitaciones máximas diarias (CAUMAX)	36
2.19	Caudales máximos	37
2.20	Sequía prolongada y escasez coyuntural.....	38
3.	Escenarios de cambio climático	39
3.1	Descripción de los escenarios climáticos	41
3.2	Definición del escenario hidrometeorológico más probable.....	42
3.3	Cambios proyectados en el régimen térmico y pluviométrico.....	43
3.4	Cambios proyectados en la incidencia de fenómenos extremos	44
3.5	Tipos climáticos.....	45
3.6	Régimen térmico. Temperaturas máximas - escenario intermedio (SSP2-4.5)	46
3.7	Régimen térmico. Temperaturas máximas - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)	47
3.8	Régimen pluviométrico – escenario intermedio (SSP2-4.5).....	48
3.9	Régimen pluviométrico - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)	49
3.10	Evapotranspiración potencial – escenario intermedio (SSP2-4.5)	50
3.11	Evapotranspiración potencial - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).....	51
3.12	Infiltración – escenario intermedio (SSP2-4.5)	52
3.13	Infiltración - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).....	53
3.14	Régimen nival – escenario intermedio (SSP2-4.5)	54
3.15	Régimen nival - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)	55
3.16	Evapotranspiración real – escenario intermedio (SSP2-4.5).....	56
3.17	Evapotranspiración real - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)	57
3.18	Aportaciones totales – escenario intermedio (SSP2-4.5)	58
3.19	Aportaciones totales - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).....	59
3.20	Incertidumbres sobre la evolución futura de los máximos de precipitación	60

3.21	Precipitación máxima diaria (CEDEX) – escenario intermedio (SSP2-4.5)	61
3.22	Precipitación máxima diaria (CEDEX) - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).....	62
3.23	Precipitación máxima acumulada en la red fluvial	63
3.24	Precipitación máxima diaria (AdapteCCa) – escenario intermedio (SSP2-4.5)	64
3.25	Precipitación máxima diaria (AdapteCCa) - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).....	65
3.26	Cambio en la frecuencia y magnitud de las sequías.....	66
3.27	Evolución de la aridez	67
3.28	Ascenso del nivel del mar.....	68
3.29	Temperatura del agua marina	69
4.	Impactos y riesgos asociados al cambio climático	71
4.1	Marco conceptual para la consideración de peligros, riesgos e impactos	73
4.2	Marco metodológico para la evaluación de riesgos: el ciclo de adaptación en la planificación hidrológica	74
4.3	Distinción de peligros, riesgos e impactos	75
4.4	Peligros climáticos y consecuencias para el ciclo hidrológico	76
4.5	Determinación de las amenazas climáticas clave	77
4.6	Catalogación de impactos y riesgos.....	78
4.7	Lista de impactos relevantes para la planificación hidrológica	79
4.8	Determinación de los impactos potenciales clave.....	80
5.	Referencias nacionales de evaluación de impactos y riesgos del cambio climático.....	81
5.1	ERICC. RC2.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración	83
5.2	ERICC. RC2.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales (sector agua y recursos hídricos)	84
5.3	ERICC. RC2.3. Reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad para usos y demandas	85
5.4	ERICC. RC3.2. Riesgo de declive poblacional y extinciones en ecosistemas acuáticos por alteraciones en variables climáticas	86
5.5	ERICC. RC6.1 Riesgo de pérdida permanente de superficie costera, debido al aumento del nivel medio del mar relativo	88
5.6	Estudios sobre el efecto del cambio climático en la biodiversidad terrestre.....	89
5.7	Estudios sobre el efecto del cambio climático en los ecosistemas acuáticos	90
5.8	Estrategia nacional de lucha contra la desertificación	91
6.	Evaluación de riesgos asociados al cambio climático	92
6.1	Adecuación de los impactos potenciales clave a las obligaciones normativas y al marco ERICC	93
6.2	Fuentes de datos para la evaluación de riesgos.....	94

6.3	Esquema operativo general para la evaluación de riesgos.....	95
6.4	Propuestas para la mejora de la evaluación de riesgos sobre los ecosistemas.....	96
6.5	Limitaciones metodológicas y líneas generales de trabajo para los sucesivos estudios de adaptación	97
6.6	SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales (DMA)	98
6.7	SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales - Escenario intermedio (SSP2-4.5)	99
6.8	SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)	100
6.9	SW7. Empeoramiento del estado de las masas de agua superficiales – Análisis por sistema de explotación	101
6.10	GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA)	102
6.11	GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA) - Escenario intermedio (SSP2-4.5).....	103
6.12	GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA) - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)	104
6.13	GW3. Empeoramiento del estado de las masas de agua subterráneas (DMA) – Análisis por sistema de explotación.....	105
6.14	ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos	106
6.15	ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Pérdida de hábitat para especies de aguas frías.....	107
6.16	ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Reducción de oxígeno.....	108
6.17	ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Afección a macroinvertebrados.....	109
6.18	ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Análisis por sistema de explotación: Pérdida de hábitat para especies de aguas frías.....	110
6.19	ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Análisis por sistema de explotación: Reducción en la concentración de oxígeno disuelto	111
6.20	ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos – Análisis por sistema de explotación: Afección a macroinvertebrados	112
6.21	ECS8. Incremento de la sedimentación en embalses y cauces	113
6.22	ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada.....	114
6.23	ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada – Escenario intermedio (SSP2-4.5).....	115
6.24	ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada – Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)	116
6.25	ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada – Análisis por sistema de explotación	117
6.26	ECS10 / ECS11. La evaluación del riesgo de inundación en España	118
6.27	ECS10. Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales: población y actividad económica	119
6.28	ECS10. Daños sistémicos por avenidas fluviales e inundaciones pluviales: áreas ambientales y puntos de especial importancia	120
6.29	ECS11. Daños sistémicos por inundaciones costeras y temporales marítimos	121
6.30	ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima.....	122
6.31	ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima – Escenario intermedio (SSP2-4.5).....	123
6.32	ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima – Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)	124

6.33	ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima - Análisis por sistema de explotación.....	125
6.34	AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento.....	126
6.35	AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento – Escenario intermedio (SSP2-4.5).....	127
6.36	AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)	128
6.37	AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento - Análisis por sistema de explotación.....	129
6.38	AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío	130
6.39	AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío - Escenario Intermedio (SSP2-4.5)	131
6.40	AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).....	132
6.41	AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío - Análisis por sistema de explotación	133
6.42	EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica.....	134
6.43	EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica - Escenario intermedio (SSP2-4.5)	135
6.44	EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica - Escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)	136
6.45	EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica - Análisis por sistema de explotación.....	137
7.	Medidas de Adaptación	139
7.1	Caracterización general de medidas de adaptación	141
7.2	Selección de medidas para caracterización detallada	142
7.3	RD3. Eficiencia y gestión de la demanda en usos urbanos	143
7.4	RD4. Reutilización avanzada del agua depurada.....	144
7.5	RD6. Gestión sostenible de acuíferos (recarga y explotación conjunta)	145
7.6	FE1. Soluciones basadas en la naturaleza para retención natural de agua y control de erosión	146
7.7	FE2. Gestión forestal sensible al agua y al riesgo de incendios	147
7.8	FE3. Servicios climáticos y gobernanza adaptativa para sequías e inundaciones	148
7.9	FE4. Diseño urbano sensible al agua y al clima (SUDS e infraestructura azul-verde).....	149
7.10	IT1. Restauración de bosques de ribera y creación de refugios térmicos.....	150
7.11	IT2. Gestión de la calidad del agua frente al calentamiento y menor dilución	151
7.12	OT1. Seguimiento y gestión adaptativa de la biodiversidad acuática.....	152
7.13	OT2. Gestión adaptativa de humedales costeros y acuíferos litorales frente al ascenso del nivel del mar	153
7.14	OT3. Movilización y gestión de sedimentos en embalses y cauces	154
7.15	OT4. Planificación y ordenación adaptativa del litoral frente al ascenso del nivel del mar.....	155
7.16	Integración del EACC en el ciclo de planificación hidrológica.....	156

8. Referencias	159
----------------------	-----

Anejos

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

Anejo 2. Notas metodológicas sobre el tratamiento de datos hidrológicos y climáticos

Anejo 3. Identificación de riesgos e impactos relevantes para la planificación hidrológica

Anejo 4. Caracterización de impactos

Anejo 5. Selección de riesgos - clave

Anejo 6. Indicadores de exposición y vulnerabilidad

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.....	4
Figura 4.	Principales familias de impactos.....	5
Figura 5.	Riesgo AG2. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad y Mapa de situación (periodo 1980/81 – 2022/23).....	6
Figura 6.	Población por municipios (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	19
Figura 15.	Tendencia observada en la temperatura media anual (periodo 1961-2015).....	20
Figura 16.	Tendencia observada en la precipitación media anual (periodo 1961-2015)	20
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 (<i>Mediterránea</i>). Fuente: IPCC AR6.....	21
Figura 18.	Tendencias en la frecuencia de sequías meteorológicas en Europa durante el período 1950–2015. Fuente: AEMA 2021.	21
Figura 19.	Esquema del ciclo hidrológico. Fuente: United States Geological Survey	22
Figura 20.	Simulación del ciclo hidrológico mediante el modelo SIMPA.....	22
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).....	23
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.....	24
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).	25
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).	26
Figura 25.	Caracterización espacial y temporal de la precipitación en forma de nieve. 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 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).....	28
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).	29

Figura 28.	Caracterización espacial y temporal del estrés hídrico (ETP-ETR). 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 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).....	31
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).....	32
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).....	33
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).....	34
Figura 33.	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 AdapteCCa.....	35
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.	36
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.	37
Figura 36.	Caracterización espacial y temporal de la sequía prolongada y escasez coyuntural. Fuente: elaboración a partir de los informes mensuales de seguimiento de los PES.	38
Figura 37.	Representación de la cadena causa-efecto embebida en los SSP. Fuente: AR6.....	41
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).....	42
Figura 39.	Cambio a medio y largo plazo de la temperatura media anual en superficie Fuente AR6.....	43
Figura 40.	Tendencia en la temperatura media anual en Europa bajo diferentes escenarios climáticos. Fuente: AEMA.....	43
Figura 41.	Cambio a largo plazo de la precipitación media estacional. Fuente AR6. DJF:diciembre-enero-febrero; JJA: junio-julio-agosto.....	43
Figura 42.	Tendencias en la precipitación. Fuente: AEMA.....	43
Figura 43.	Evolución de los fenómenos extremos en intensidad y frecuencia.....	44
Figura 44.	Tasas de cambio en cuantil medias para precipitación diaria máxima anual ; modelo GEV-L en RCP 8.5. Fuente: CEDEX.....	44
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.....	45
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.....	46
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.....	47
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.....	48
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.....	49
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.	50
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.	51

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.....	52
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.....	53
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.	54
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.	55
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.	56
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.	57
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.	58
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.	59
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.	61
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	62
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.....	63
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.....	64
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.	65
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 (1961-2000) y tres periodos futuros (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100) con el escenario climático intermedio (RCP 4.5)	66
Figura 66.	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 (1961-2000) y tres periodos futuros (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100) con el escenario climático de altas emisiones (RCP 8.5)	66
Figura 67.	Variación del índice de aridez para diversos horizontes temporales y escenarios climáticos. Fuente: elaboración propia a partir de proyecciones SIMPA (CEDEX)	67
Figura 68.	Proyección de ascenso del nivel medio del mar bajo los escenarios RCP-4.5 (arriba) y RCP 8.5 (debajo). Fuente: IH Cantabria.....	68
Figura 69.	Variación de la temperatura media de la superficie del mar bajo los escenarios RCP-4.5 (arriba) y RCP 8.5 (debajo). Fuente: IH Cantabria	69
Figura 70.	Marco conceptual para la evaluación del riesgo. (IPCC WGII AR5, 2014).....	73
Figura 71.	Marco conceptual del riesgo en el AR6. (IPCC WGII AR6, 2022).	73
Figura 72.	Los seis pasos del modelo RAST. Fuente: Climate-Adapt	74
Figura 73.	Esquema para la evaluación de los riesgos climáticos. Fuente OECC 2023.....	74
Figura 74.	Esquema de componentes de los riesgos asociados al cambio climático (OECC 2023), adaptado de Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook (GIZ, 2017).....	75
Figura 75.	Respuestas físicas primarias del sistema climático. Fuente: elaboración propia	76

Figura 76.	Relaciones funcionales entre los peligros climáticos. Fuente: elaboración propia	76
Figura 77.	Catalogación de impactos potenciales	78
Figura 78.	Ejemplo de ficha de distribución actual y bajo escenarios de cambio climático (<i>Hyla arborea</i>)	89
Figura 79.	Visor de resultados de la red de seguimiento del efecto del cambio climático en ríos (CCR)	90
Figura 80.	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)	91
Figura 81.	Ebro y Ega en San Adrián. Fases de expansión del área urbana de San Adrián (elaboración propia mediante fotointerpretación). Fuente: Ebro Resilience.	97
Figura 82.	Riesgo SW7. Mapas de los indicadores de peligro,, exposición y vulnerabilidad.....	98
Figura 83.	Riesgo SW7: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)	98
Figura 84.	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.	99
Figura 85.	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.	100
Figura 86.	Trayectoria temporal del riesgo SW7 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).	101
Figura 87.	Trayectoria temporal del riesgo SW7 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).....	101
Figura 88.	Riesgo GW3. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad adaptativa)	102
Figura 89.	Riesgo GW3: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23).....	102
Figura 90.	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.	103
Figura 91.	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.....	104
Figura 92.	Trayectoria temporal del riesgo GW3 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).....	105
Figura 93.	Trayectoria temporal del riesgo GW3 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).	105
Figura 94.	Riesgo ECS2. Mapas de Exposición: hábitat potencial calculado con el límite termal de 21.8 °C 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.	106
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 pérdida de hábitat para especies de aguas frías.	107
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 reducción de oxígeno.....	108
Figura 97.	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.	109
Figura 98.	Trayectoria temporal del riesgo ECS2-AF promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (RCP 4.5).	110
Figura 99.	Trayectoria temporal del riesgo ECS2-AF promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (RCP 8.5).	110
Figura 100.	Trayectoria temporal del riesgo ECS2-O2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (RCP 4.5)	111
Figura 101.	Trayectoria temporal del riesgo ECS2-O2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (RCP 8.5).....	111
Figura 102.	Trayectoria temporal del riesgo ECS2-IN promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (RCP 4.5).	112
Figura 103.	Trayectoria temporal del riesgo ECS2-IN promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (RCP 8.5).	112
Figura 104.	Riesgo ECS8. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad	113

Figura 105.	Riesgo ECS8: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)	113
Figura 106.	Riesgo ECS9. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad	114
Figura 107.	Riesgo ECS9: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)	114
Figura 108.	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.....	115
Figura 109.	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.	116
Figura 110.	Trayectoria temporal del riesgo ECS9 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).	117
Figura 111.	Trayectoria temporal del riesgo ECS9 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).....	117
Figura 112.	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	119
Figura 113.	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.....	120
Figura 114.	Mapas de riesgo por inundaciones de origen marino para: población; actividades económicas; áreas de importancia ambiental; y puntos de especial importancia.Periodos de retorno T= 100 y 500. Fuente SNCZI	121
Figura 115.	Riesgo ECS13. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad	122
Figura 116.	Riesgo ECS13: Mapa de situación actual (periodo 1971 – 2005)	122
Figura 117.	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.....	123
Figura 118.	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.	124
Figura 119.	Trayectoria temporal del riesgo ECS13 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).	125
Figura 120.	Trayectoria temporal del riesgo ECS13 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).	125
Figura 121.	Riesgo AU1. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad, sin tener en cuenta el efecto de regulación de las infraestructuras existentes	126
Figura 122.	Riesgo AU1: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)	126
Figura 123.	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, sin tener en cuenta el efecto de regulación de las infraestructuras existentes.	127
Figura 124.	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, sin tener en cuenta el efecto de regulación de las infraestructuras existentes.	128
Figura 125.	Trayectoria temporal del riesgo AU1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).	129
Figura 126.	Trayectoria temporal del riesgo AU1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).	129
Figura 127.	Riesgo AG2. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad, sin tener en cuenta el efecto de regulación de las infraestructuras existentes	130
Figura 128.	Riesgo AG2: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)	130
Figura 129.	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, sin tener en cuenta el efecto de regulación de las infraestructuras existentes.	131
Figura 130.	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.....	132
Figura 131.	Trayectoria temporal del riesgo AG2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).	133
Figura 132.	Trayectoria temporal del riesgo AG2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).	133

Figura 133. Riesgo EI1. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad134

Figura 134. Riesgo EI1: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)134

Figura 135. 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.135

Figura 136. 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.136

Figura 137. Trayectoria temporal del riesgo EI1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).137

Figura 138. Trayectoria temporal del riesgo EI1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).137

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

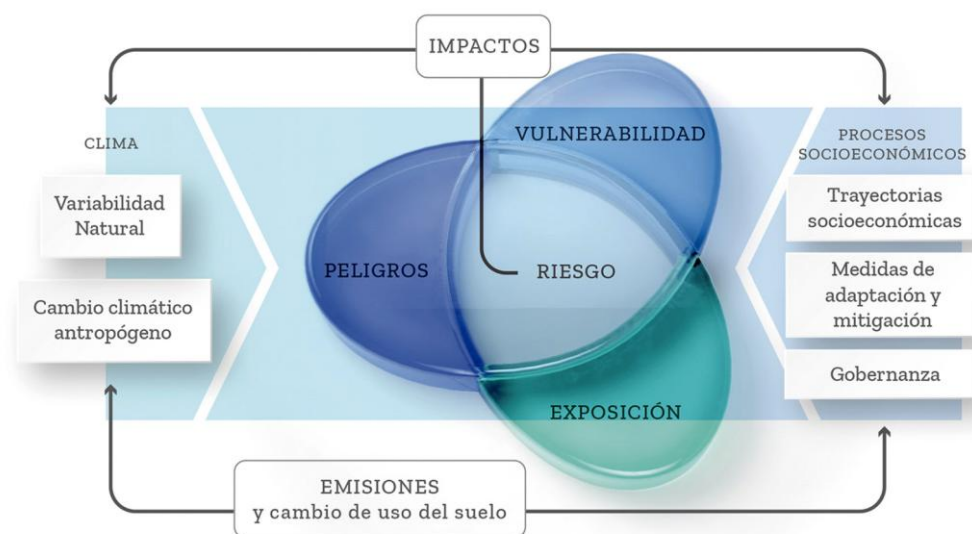


Figura 1. Componentes que definen el riesgo derivado del cambio climático. Fuente: PNACC, tomado de IPCC 2014

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 de 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 de la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) para evaluación de riesgos y, más específicamente, para los estudios de adaptación en demarcaciones, y se aplica al caso de la DHCOc 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 Cantábrico (CHCHC), las Comunidades Autónomas y el resto de los agentes implicados, y como un punto de partida que deberá actualizarse y perfeccionarse a medida que avance el conocimiento, se refuercen los sistemas de seguimiento y se desplieguen las políticas de adaptación en la demarcación.

El Estudio de adaptación a los riesgos del cambio climático (EACC) en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental (DHCOc) forma parte de la primera generación de 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).

0.2 Caracterización climática de la demarcación

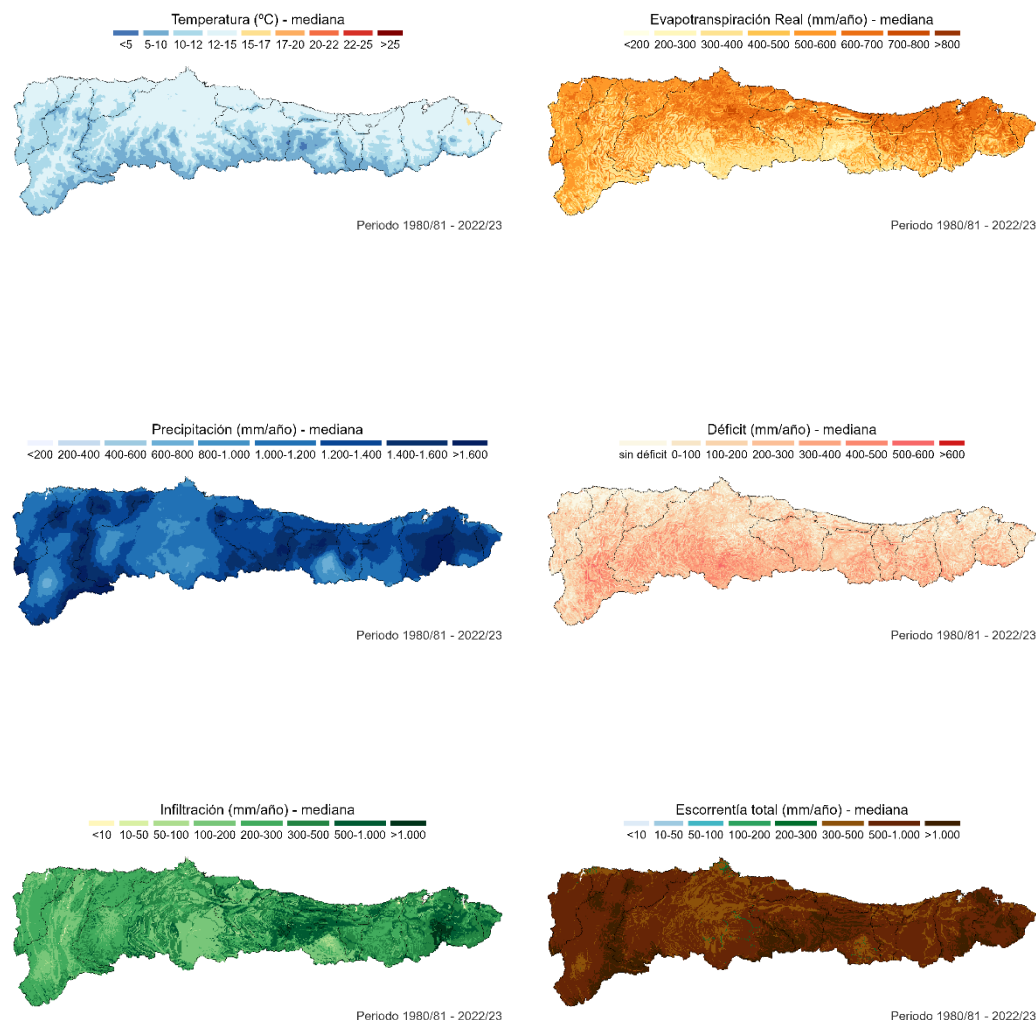


Figura 2. Variables atmosféricas e hidrológicas en el periodo 1980/81 – 2022/23. Fuente: SIMPA

El capítulo 2 sintetiza las señales climáticas e hidrológicas observadas en la DHCOc, 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 - 2022/2023, traducidas en una colección de mapas representativos de las diversas componentes del ciclo hidrológico.

El clima de la demarcación se encuadra en tipos oceánicos templados y húmedos, con un gradiente espacial marcado por la altitud de la Cordillera Cantábrica y la proximidad al litoral. En las últimas décadas, se observa un aumento de la temperatura coherente con la señal regional, más acusado en verano y otoño, y cambios en la precipitación que pueden expresarse como un ligero descenso en el periodo estival y aumento de la variabilidad interanual, con diferencias notables entre subzonas. (Aumento de 0,77°C de temperatura entre la mediana anual del periodo de años hidrológicos 1940/41-1979/80 y 1980/81-2022/23; descenso de la precipitación mediana anual del 5,05% entre el periodo 1940/41-1979/80 y 1980/81-2022/23).

Más allá del promedio, el análisis de extremos muestra señales relevantes para la planificación: (i) sequías más frecuentes o intensas en la UTS 2 Porcía y UTS 15 Agüera, donde se alcanza el mayor número de meses con sequía prolongada y (ii) episodios de lluvia intensa/avenidas concentrados en las subcuencas asociadas a los cursos medio y bajo (hasta su desembocadura en el mar Cantábrico) de los ríos de mayor importancia, que condicionan el riesgo por inundación y la gestión operativa. (Según el borrador del PES 2025, actualmente en tramitación y pendiente de aprobación, en el periodo 1980–2018 la DHCOc permaneció en situación de normalidad el 78,2 % del tiempo, mientras que en el 21,8 % restante se activaron escenarios de prealerta, sin llegar a declararse alerta ni emergencia a escala de demarcación).

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 y alta montaña (Picos de Europa y Cordillera Cantábrica, la reducción de la innivación y el adelanto del deshielo tienden a desplazar la estacionalidad de caudales; en subcuencas de transición o menor altitud, el aumento de la evapotranspiración y la irregularidad pluviométrica refuerzan la tensión estival. (Aportación mediana anual en régimen natural de 13.608 hm³; reducción de la aportación del 4,59% entre los periodos 1940/41-1979/80 y 1980/81-

2022/23 en la DHCOc, más acusada en el sistema Saja con 13,74% de reducción).

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 DHCOc, 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*. 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 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, se adopta como escenario hidrometeorológico más probable el escenario SSP2-4.5 al 2025 (ventana 2031-2060), segundo horizonte temporal del plan (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 DHCOc. La reducción esperada para el escenario intermedio de emisiones es de 1.661,42 hm³ (13,05%) en el futuro cercano, 2.036,13 hm³ (16,02%) en el futuro medio y 2.337,05 hm³ (18,60%) en el futuro lejano. En el escenario de altas emisiones las caídas se elevan hasta los 1.843,67 hm³ (14,36%), -2.689,60 hm³ (21,10%) y 4.120,55 hm³ (32,26%), 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.

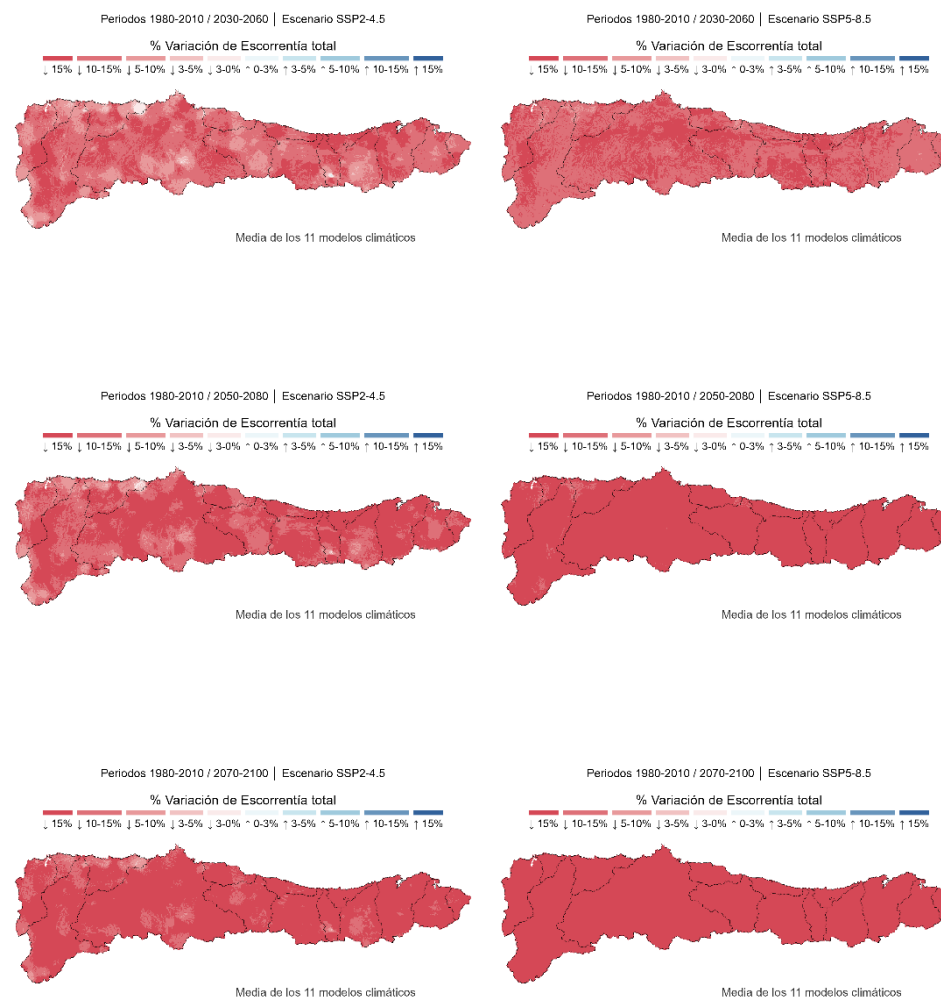


Figura 3. Evolución de la escorrentía total bajo los escenarios y horizontes de análisis

0.4 Impactos potenciales del cambio climático en la demarcación

SW. Masas de agua superficial GW. Masas de agua subterránea

Masas de agua muy modificadas



ECS. Territoriales y ecosistémicos AU. Abastecimiento y saneamiento urbano

Superficies artificiales
Superficies de agua
Zonas agrícolas

Zonas forestales
Zonas húmedas



AG. Sector agrario EI. Sector energético e industrial

Zonas en regadío Resto de zonas agrícolas

Zonas industriales



El capítulo 4 identifica y describe los impactos potenciales del cambio climático más relevantes para la DHCOc, 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 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 (sección 6.4)	
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; ECS11. Daños sistémicos por inundaciones costeras y temporales marítimos; 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
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.

Figura 4. Principales familias de impactos

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 un aumento de las temperaturas y una leve reducción de la precipitación estival con una mayor variabilidad interanual, con efectos heterogéneos en la demarcación. Las áreas críticas se concentran en los sistemas costeros, con una mayor exposición y los sistemas montañosos, con una mayor 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).

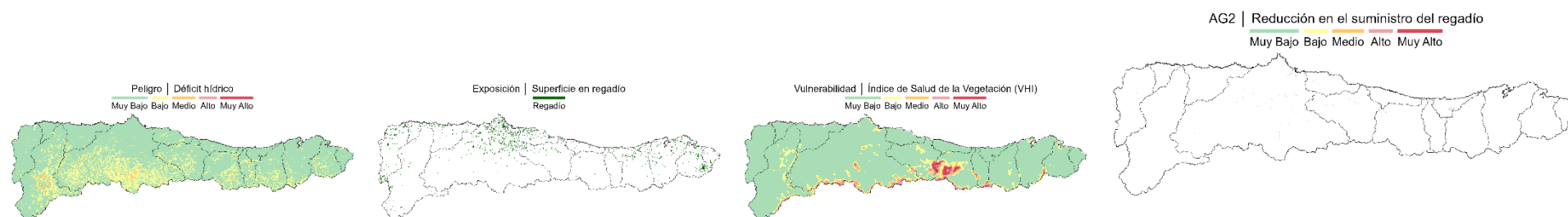


Figura 5. Riesgo AG2. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad y Mapa de situación (periodo 1980/81 – 2022/23)

0.6 Medidas de adaptación al cambio climático

El capítulo 7 presenta el paquete de medidas de adaptación propuesto para la DHCOc, 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 maladaptación (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.

Medidas	SW7	GW3	ECS2	ECS5	ECS6	ECS8	ECS9	ECS10	ECS11	ECS13	AU1	EI1
RD2												
RD3												
RD4												
RD5												
RD6												
FE1												
FE2												
FE3												
FE4												
IT1												
IT2												
OT1												
OT2												
OT3												
OT4												

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; **ECS11.** Daños sistémicos por inundaciones costeras y temporales marítimos; **ECS13.** Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima; **AU1.** Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento; **EI1.** Disminución de la producción hidroeléctrica

Medidas: **RD2.** Ajuste de sistemas productivos agrarios **RD3.** Eficiencia y gestión de la demanda en usos urbanos; **RD4.** Reutilización avanzada del agua depurada; **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; **OT2.** Gestión adaptativa de humedales costeros y acuíferos litorales frente al ascenso del nivel del mar; **OT3.** Movilización y gestión de sedimentos en embalses y cauces; **OT4.** Planificación y ordenación adaptativa del litoral frente al ascenso del nivel del mar.

0.7 Conclusiones y recomendaciones

El EACC ofrece una visión integrada del cambio climático en la DHCOc: 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 DHCOc 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; calentamiento del agua y deterioro de calidad; ascenso del nivel del mar e intrusión salina]. Los principales ámbitos de riesgo son: [sistemas de costeros y montañosos; ARPSI; acuíferos sobreexplotados o costeros; abastecimientos; industria/energía; espacios RN, humedales y riberas; interfaces urbano-forestales. 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 maladaptación 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. 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

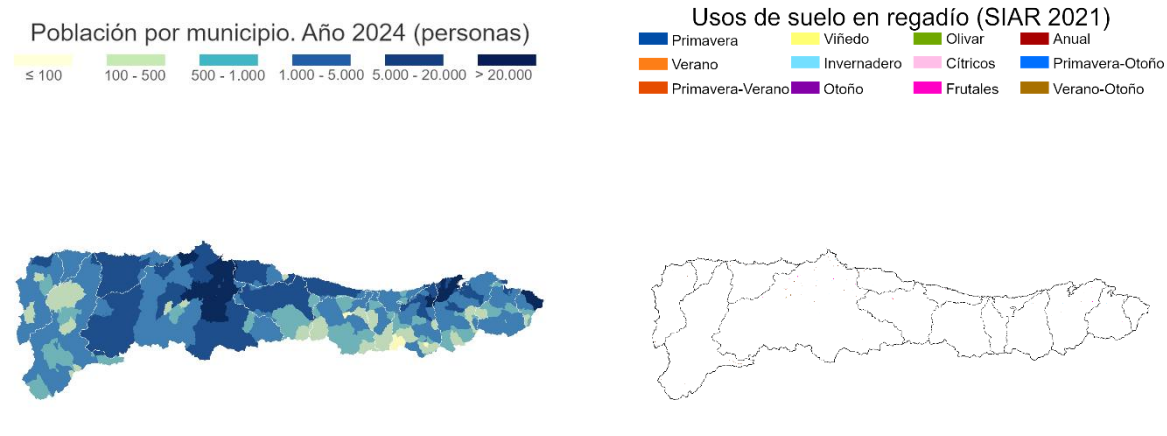


Figura 6. Población por municipios (2024)

Figura 7. Superficies regadas (2021)

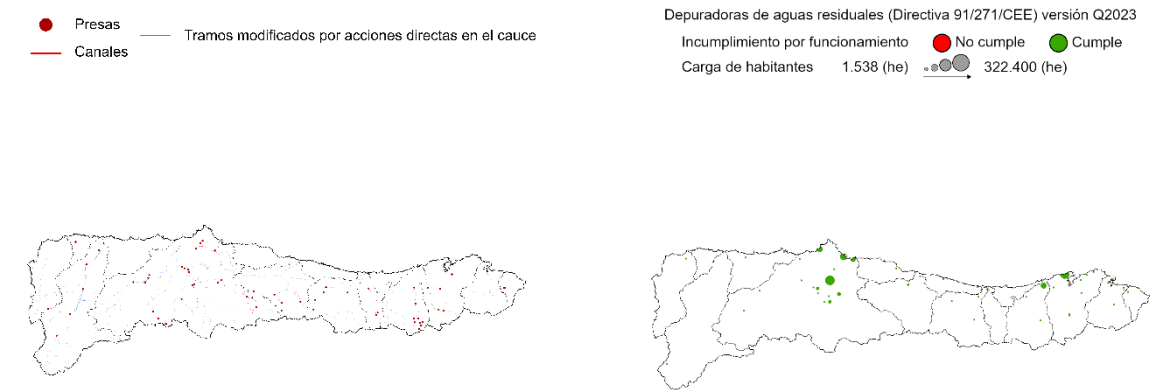


Figura 8. Principales infraestructuras hidráulicas

Figura 9. Depuración y saneamiento

La Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental abarca una superficie de 17.425 km² y comprende territorios de Asturias (61 %), Cantabria (25 %), Galicia (11%), Castilla y León (2%) y País Vasco (1%).

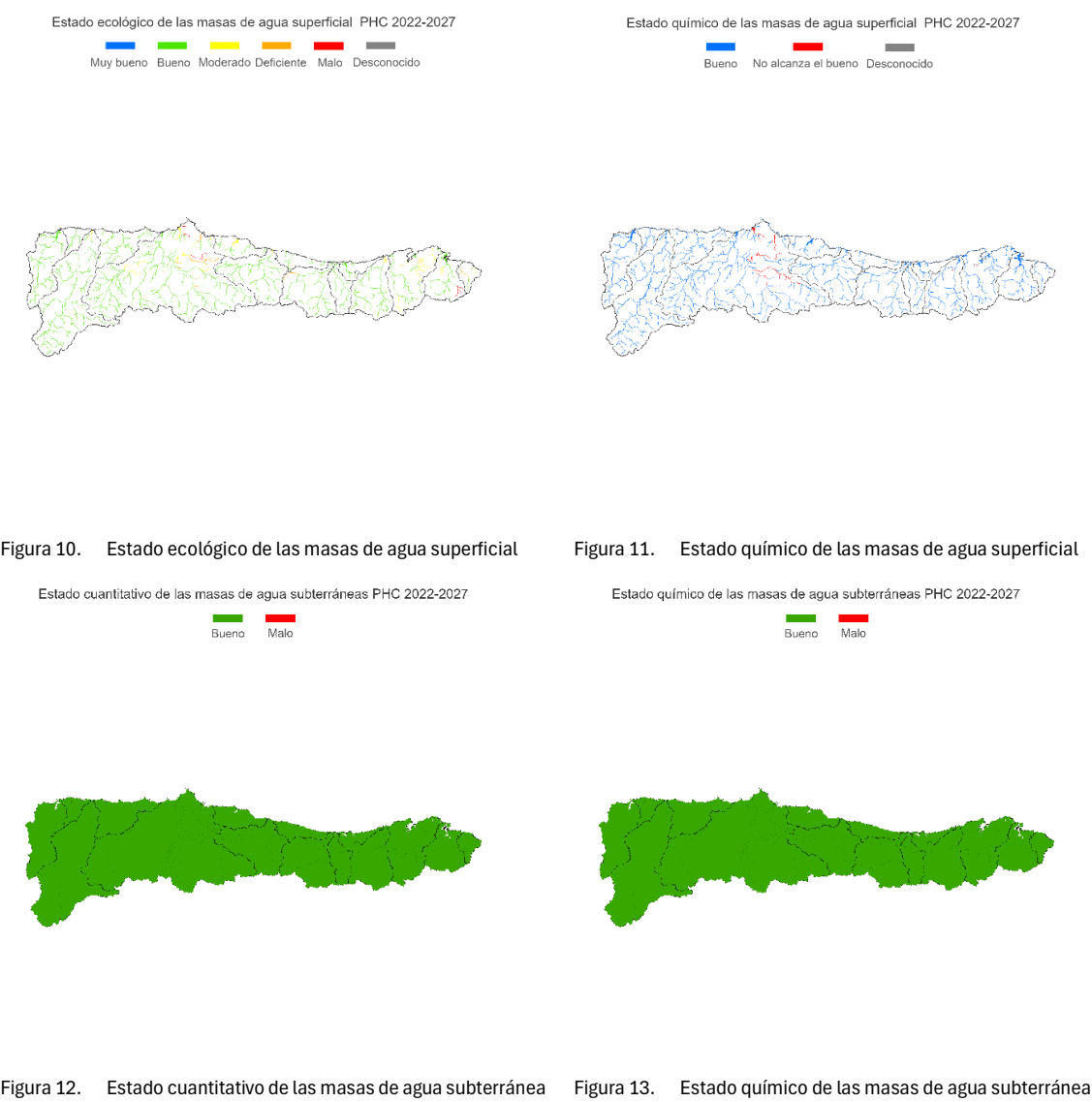
Cuenta con 28 embalses que suman una capacidad total de 565,39 hm³, y su aportación media anual —tomando como referencia la serie 1980/81-2017/18 del plan hidrológico vigente— asciende a 13.282 hm³, mostrando una progresiva tendencia a la caída de los recursos hídricos renovables (apartado 2.16).

La población abastecida asciende a 1.620.304 habitantes, con una demanda urbana de 205 hm³/año. Las demandas agrícolas se sitúan en 6,99 hm³/año. El uso industrial demanda 143,60 hm³/año.

Las aguas residuales de aglomeraciones objeto de la Directiva 91/271/CEE se tratan en un total de 53 EDARs que dan cobertura a 2.026.379 habitantes equivalentes, según último reporte disponible de la citada Directiva (Q2023). Un 75% de la carga contaminante recibe un tratamiento adecuado. 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.

La demarcación cuenta con una relevante infraestructura hidroeléctrica: 77 instalaciones con una potencia total de 1.262 MW y un caudal máximo turbinable de 1.442 m³/s.

1.2 Estado del medio ambiente hídrico en la demarcación



En Plan Hidrológico pivota sobre el logro del buen estado y la protección de zonas protegidas por su valor ecológico o socio-económico. 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 demarcación son, en primer lugar, las presiones por contaminación puntual, fundamentalmente derivadas de vertidos de aguas residuales urbanas, vertidos industriales (IED y no IED), suelos contaminados y zonas industriales abandonadas, que se asocian a los impactos químicos más frecuentes en las masas de agua superficiales y subterráneas.

A modo de referencia, en la última evaluación (2021) alcanzaban un estado satisfactorio 247 de 295 masas superficiales (83,7 %). Un total de 44 masas de agua fallaban en alcanzar una buen estado o potencial ecológico (potencial: nivel de calidad aceptable para masas declaradas artificiales o muy modificadas) y 11 fallaban en el logro de un buen estado fisicoquímico.

En lo que se refiere a las masas de agua subterráneas, 20 (100 %) estaba en buen estado y no se diagnosticaron masas en mal estado.

La Red Natura 2000 ocupa aproximadamente 7.400 km² en la demarcación (39 % de la superficie), con espacios de relevancia como Picos de Europa (≈ 227 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: zonas de captación para consumo humano, zonas de protección de especies acuáticas, masas de agua de uso recreativo, zonas vulnerables, zonas sensibles, zonas de protección de hábitats o especies, perímetros de aguas minerales y termales, reservas naturales fluviales, zonas de protección especial, y humedales inventariados.

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 de la CHC: 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 complementa el marco jurídico estatal y europeo; el resumen de las normas climáticas más relevantes que afectan a la DHCOc 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.

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 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.

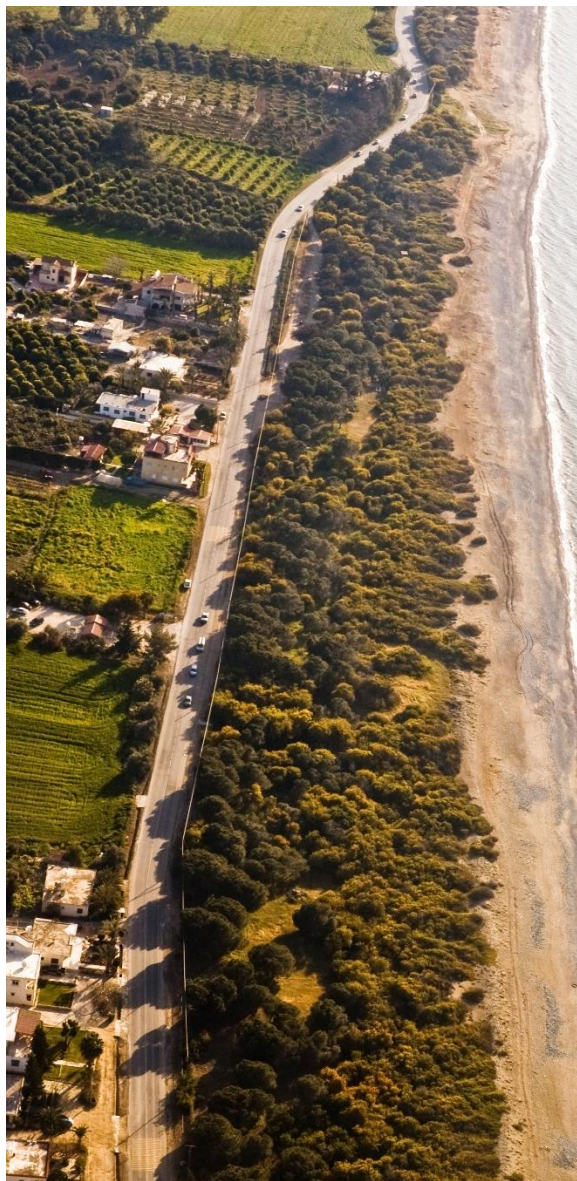
Para convertir ciencia en decisiones operativas, se refuerzan [Climate-ADAPT](#), [Copernicus](#), los gemelos digitales ([DestinE](#)) y la observación marina, junto con normas comunes y un centro de datos europeo para registrar riesgos y pérdidas —incluidos los hídricos— e integrar información pública/privada y del sector asegurador. En inversión, se generaliza el *climate-proofing*: directrices de resiliencia de infraestructuras y el principio de “reconstruir mejor”, donde un coste adicional medio cercano al 3 % se compensa con beneficios 1:4 en el ciclo de vida. 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 Cantábrico Occidental se presenta en el [Anejo 1](#).

1.6 El cambio climático en la planificación hidrológica

El [Libro Blanco del Agua en España](#) (LBA, 2000) incorpora el cambio climático como factor de incertidumbre y determinante de una presión creciente sobre los recursos. Anticipa que incluso ligeras reducciones de precipitación y aumentos de temperatura disminuirán notablemente la escorrentía y tensarán el balance hídrico, especialmente en el sur y este peninsulares y los archipiélagos. Como orden de magnitud, estima 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, prevé 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 1° 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.

- 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.

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.

Libro blanco del agua en España



PLAN HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO OCCIDENTAL

PLAN HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO OCCIDENTAL
MEMORIA

Diciembre 2015



Plan Especial de Sequía de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental

Proyecto de revisión
MEMORIA

Enero de 2025



2. Caracterización climática e hidrológica de la demarcación

El cambio climático observado	Componentes atmosféricas	Procesos hidrológicos terrestres	Variabilidad y extremos climáticos
Evolución de los tipos climáticos	Régimen de temperatura (medianas)	Humedad del suelo	Precipitaciones máximas diarias (AdapteCCa)
Cambios observados en el régimen térmico y pluviométrico	Régimen de temperatura (máximas)	Infiltración	Precipitaciones máximas diarias (CAUMAX)
Cambios observados en la incidencia de los episodios extremos	Evapotranspiración potencial	Estrés hídrico, como diferencia entre ETP y ETR	Caudales máximos
El ciclo hidrológico	Régimen de precipitaciones	Evapotranspiración real	Sequía prolongada y escasez coyuntural
	Régimen nival	Escorrentía subterránea	
		Escorrentía superficial	
		Aportaciones totales	

2.1 Evolución de los tipos climáticos

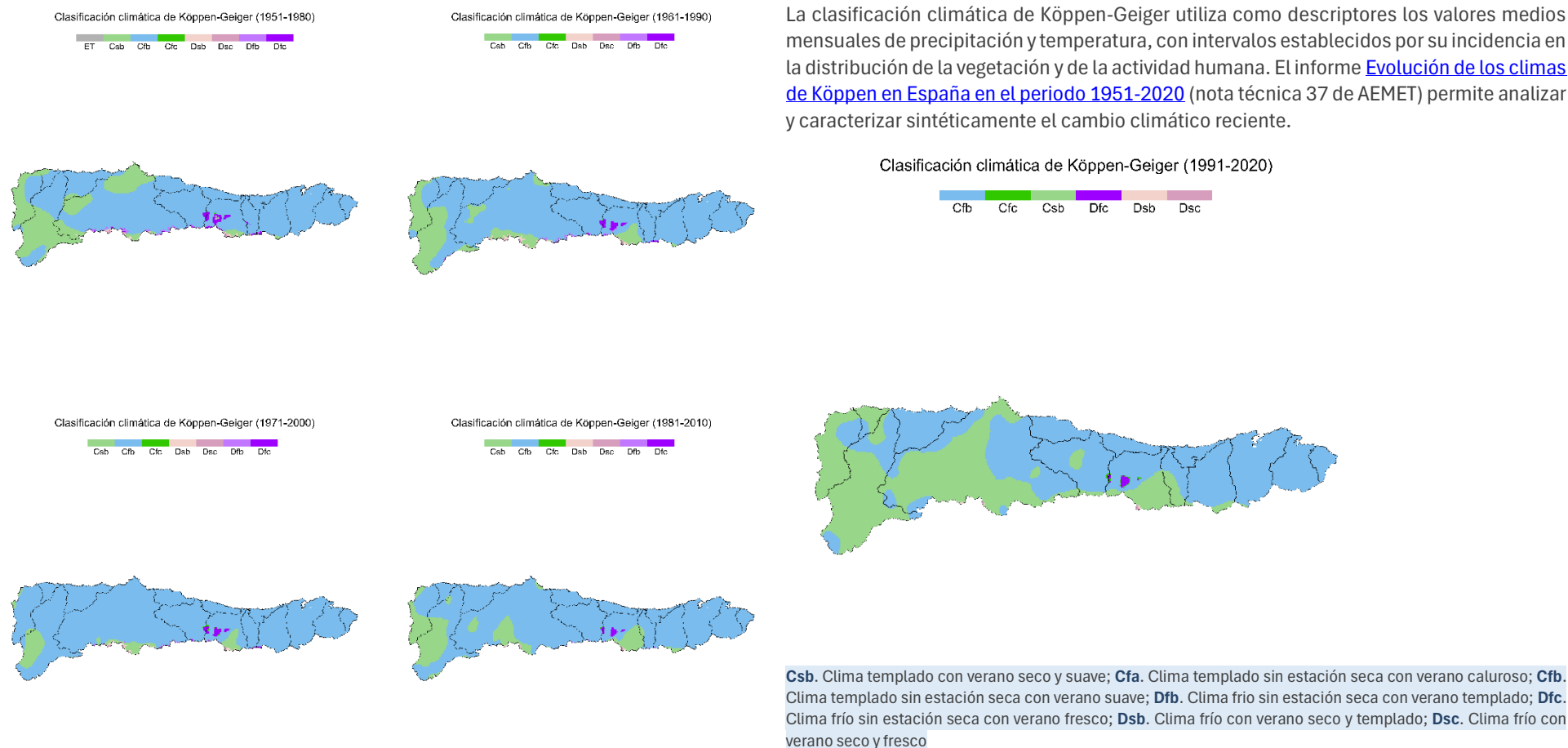


Figura 14. Tipos de clima y su evolución en el periodo 1950 y 2010

En la DHCOc los cambios se traducen en el incremento del tipo Csb (templado con verano seco y suave) y la reducción de los tipos Cfb (templado sin estación seca con verano suave) y Dfc (frío sin estación seca con verano fresco), verificando la evolución hacia tipos más cálidos y secos. En la situación actual (periodo 1991-2020) el tipo Cfb es el mayoritario ocupando 10.189,35 km² (58,53% del territorio de la demarcación), principalmente en la zona más occidental de la demarcación. También están presentes el clima Csb (40,60%) en la mitad oriental, y Dfc (0,29%) restringido a las zonas más altas de Picos de Europa.

2.2 Cambios observados en el régimen térmico y pluviométrico

Breve texto para contextualizar el cambio climático observado en la península ibérica en el contexto europeo y mundial. 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), Agencia Ambiental Europea. 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.

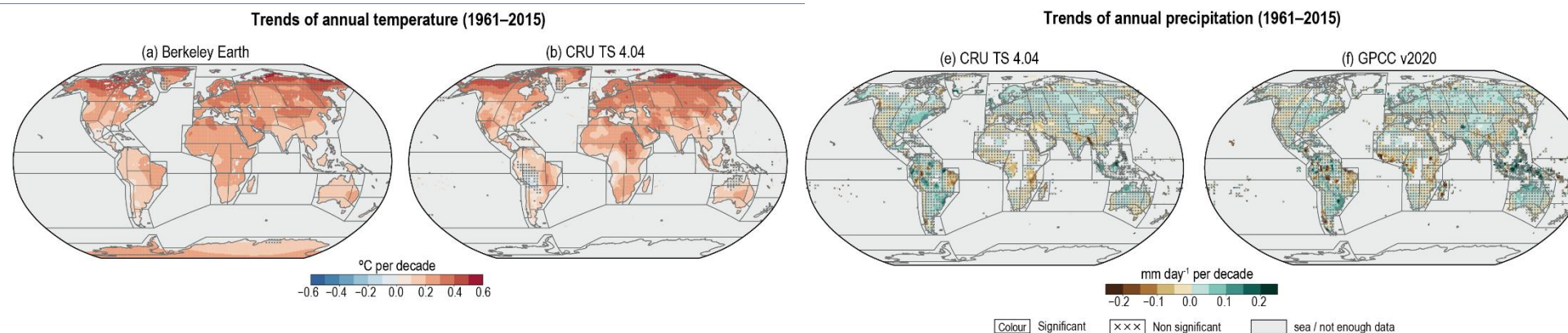


Figura 15. Tendencia observada en la temperatura media anual (periodo 1961-2015).

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 Tago 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, Gadiana, Júcar, Segura, cuencas internas mediterráneas, parte baja 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

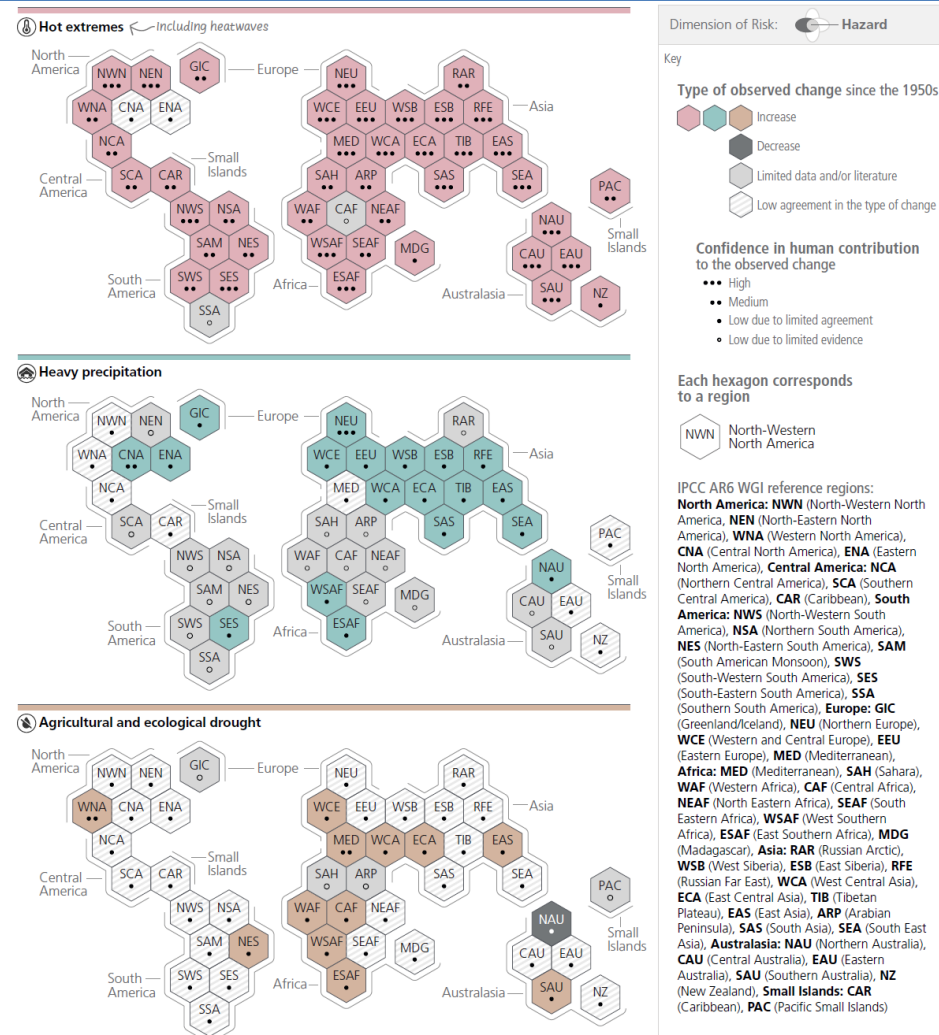


Figura 17. Síntesis de la evaluación del cambio observado y del nivel de confianza en la contribución humana a los cambios observados en las regiones del mundo (desde 1950). La región que engloba España corresponde al hexágono MED (*Mediterránea*). Fuente: [IPCC AR6](#)

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.

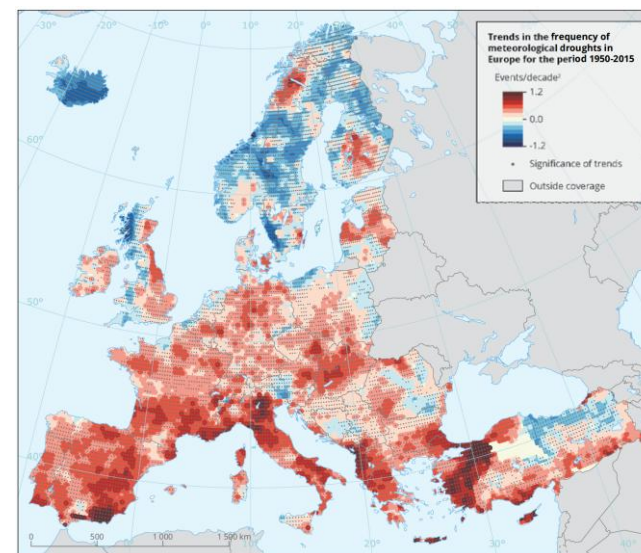


Figura 18. Tendencias en la frecuencia de sequías meteorológicas en Europa durante el período 1950–2015. Fuente: [AEMA 2021](#).

2.4 El ciclo hidrológico

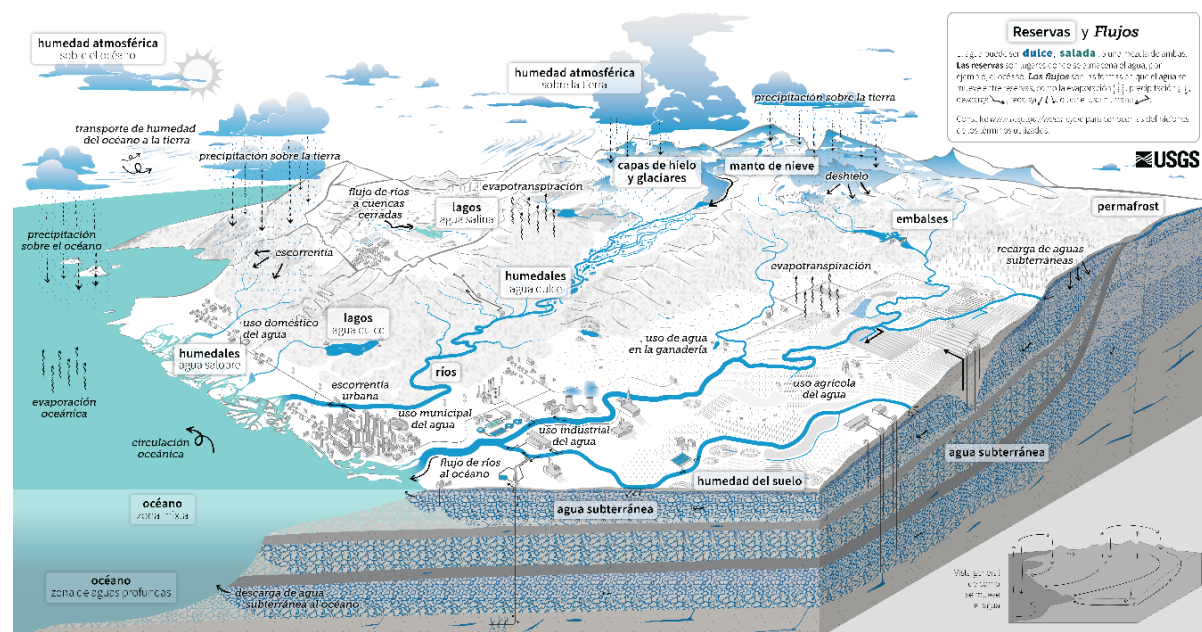


Figura 19. Esquema del ciclo hidrológico. Fuente: [United States Geological Survey](https://www.usgs.gov/)

El **ciclo del agua** describe cómo el agua se almacena y se mueve entre **reservas** (océanos, atmósfera, hielo y nieve, lagos y humedales, ríos, humedad del suelo y acuíferos) mediante **flujos físicos**. 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** interactúan con el ciclo: 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.

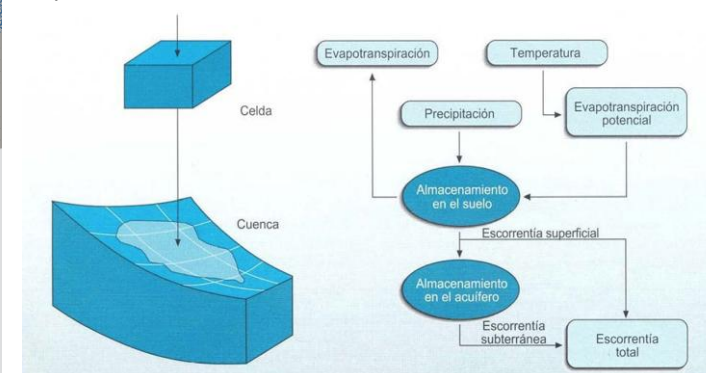


Figura 20. Simulación del ciclo hidrológico mediante el modelo SIMPA

- **Fase terrestre:** reparte la precipitación entre almacenamiento en suelo, escorrentía superficial e infiltración al acuífero. La evapotranspiración real depende del contenido hídrico; al agotarse, se limita la transpiración. 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)

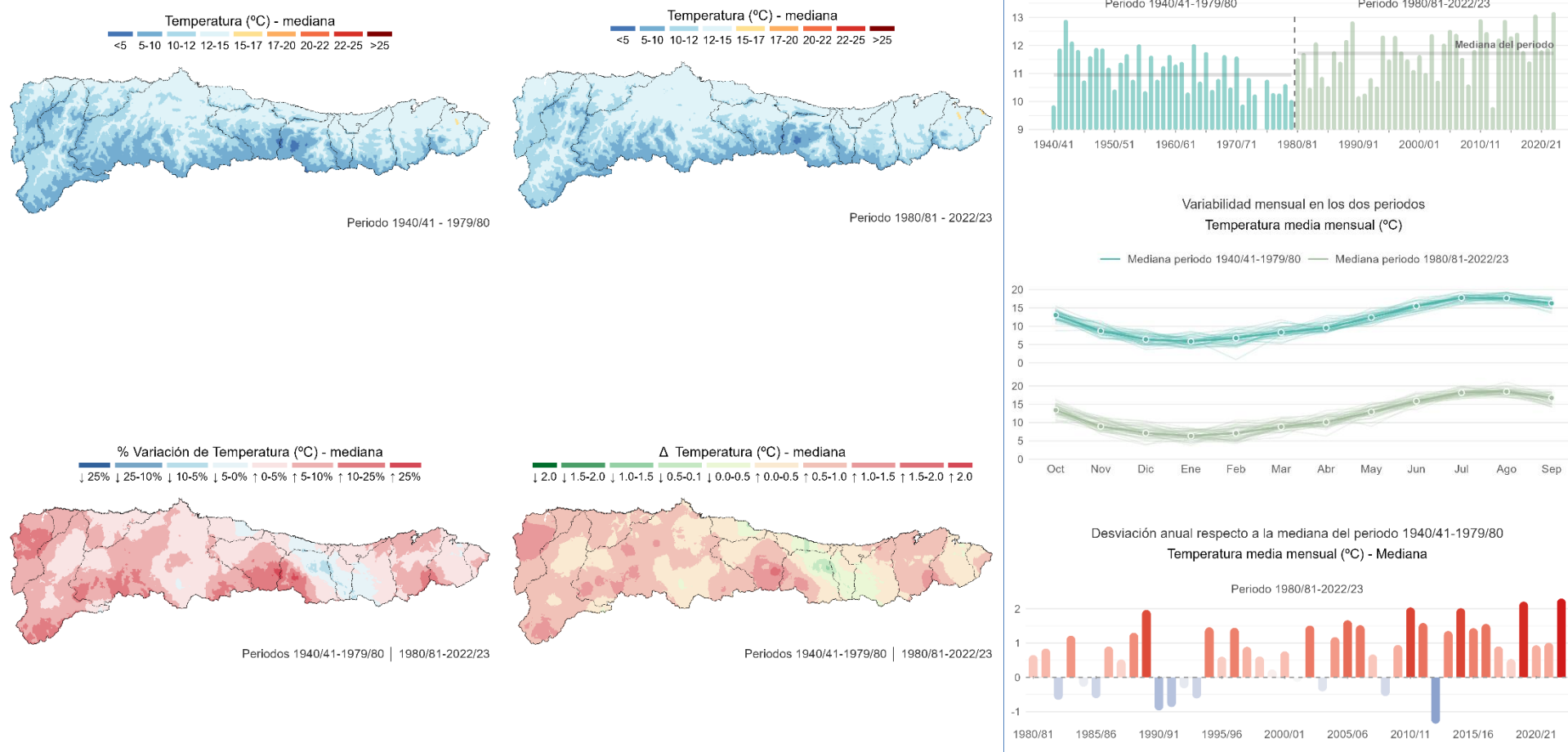


Figura 21. Caracterización espacial y temporal de la temperatura mediana. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (11,72 °C) supera a la del periodo 1940/41–1979/80 (10,95 °C) en 0,77 °C, lo que supone un incremento del 7,04 %. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 2022/23, siendo esta de +2,17 °C.

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de agosto, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (18,47 °C) supera a la del periodo 1940/41–1979/80 (17,68 °C) en 0,79 °C.

2.6 Régimen de temperatura (máximas)

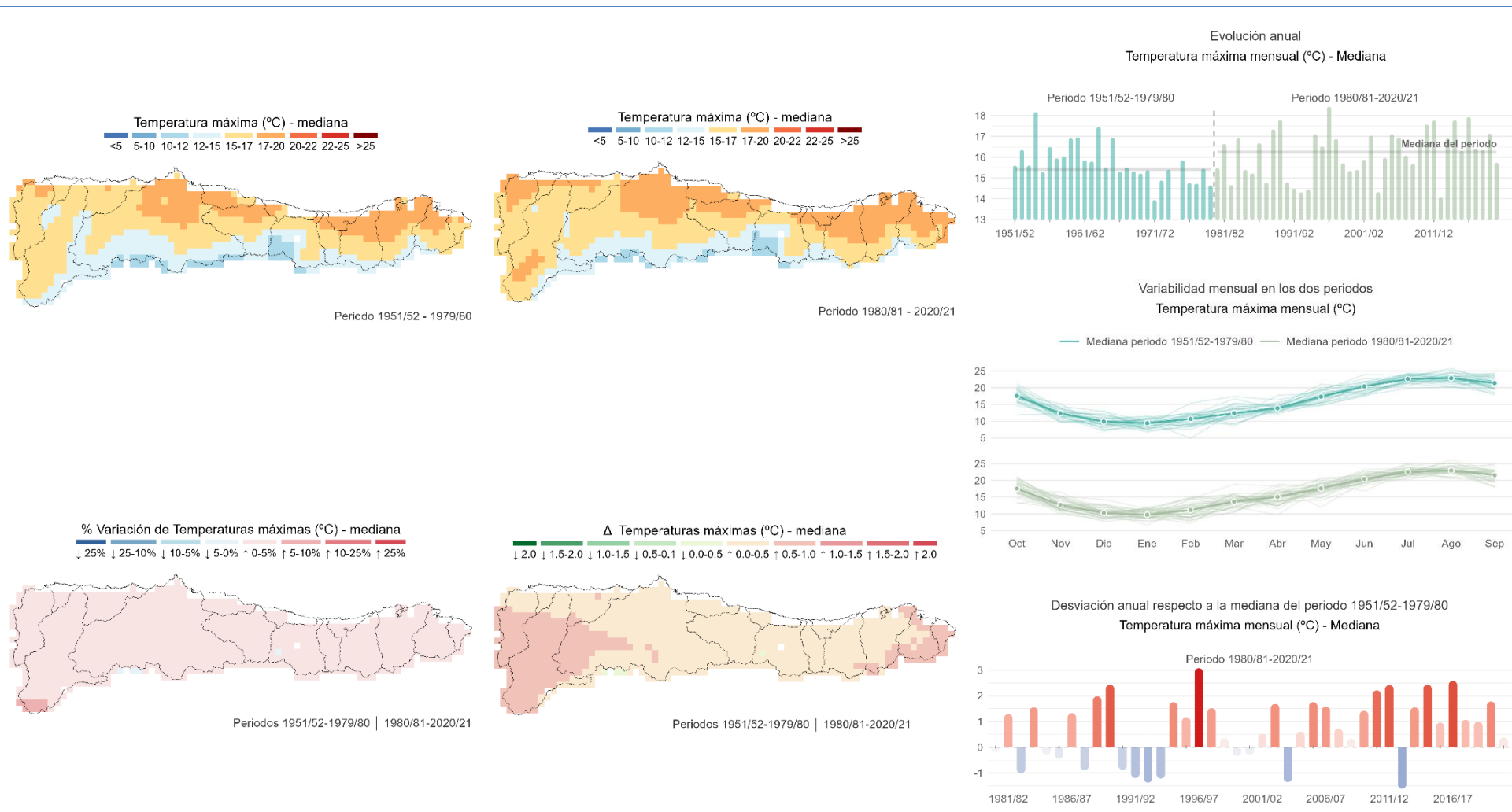


Figura 22. Caracterización espacial y temporal de la temperatura máxima. Comparación entre los periodos 1950/51–1979/80 y 1980/81–2020/21. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Adapteca.

La mediana del periodo 1980/81–2020/21 (16,27 °C) supera a la del periodo 1950/51–1979/80 (15,43 °C) en 0,84 °C, lo que supone un incremento del 5,46 %. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 1996/97, siendo esta de +2,96 °C.

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 (13,70 °C) es inferior a la del periodo 1950/51–1979/80 (12,45 °C) en 1,25 °C.

2.7 Evapotranspiración potencial

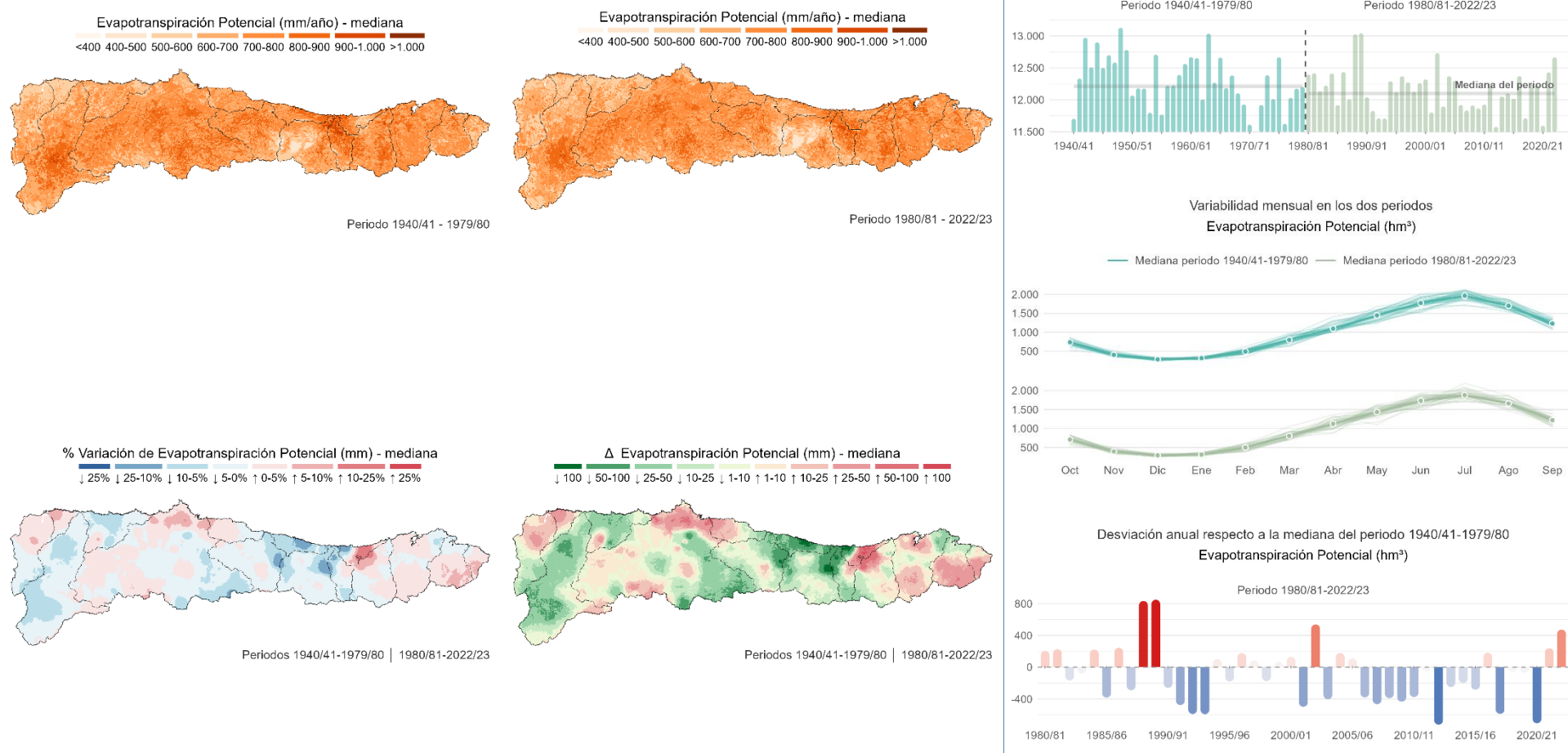


Figura 23. Caracterización espacial y temporal de la evapotranspiración potencial. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX). La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (12.100,42 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (12.211,49 hm³) en 111,07 hm³, lo que supone un descenso del -0,91 %. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 1989/90, siendo esta de +793,86 hm³.

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de julio, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (1.883,83 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (1.963,79 hm³) en 79,96 hm³.

2.8 Régimen de precipitaciones

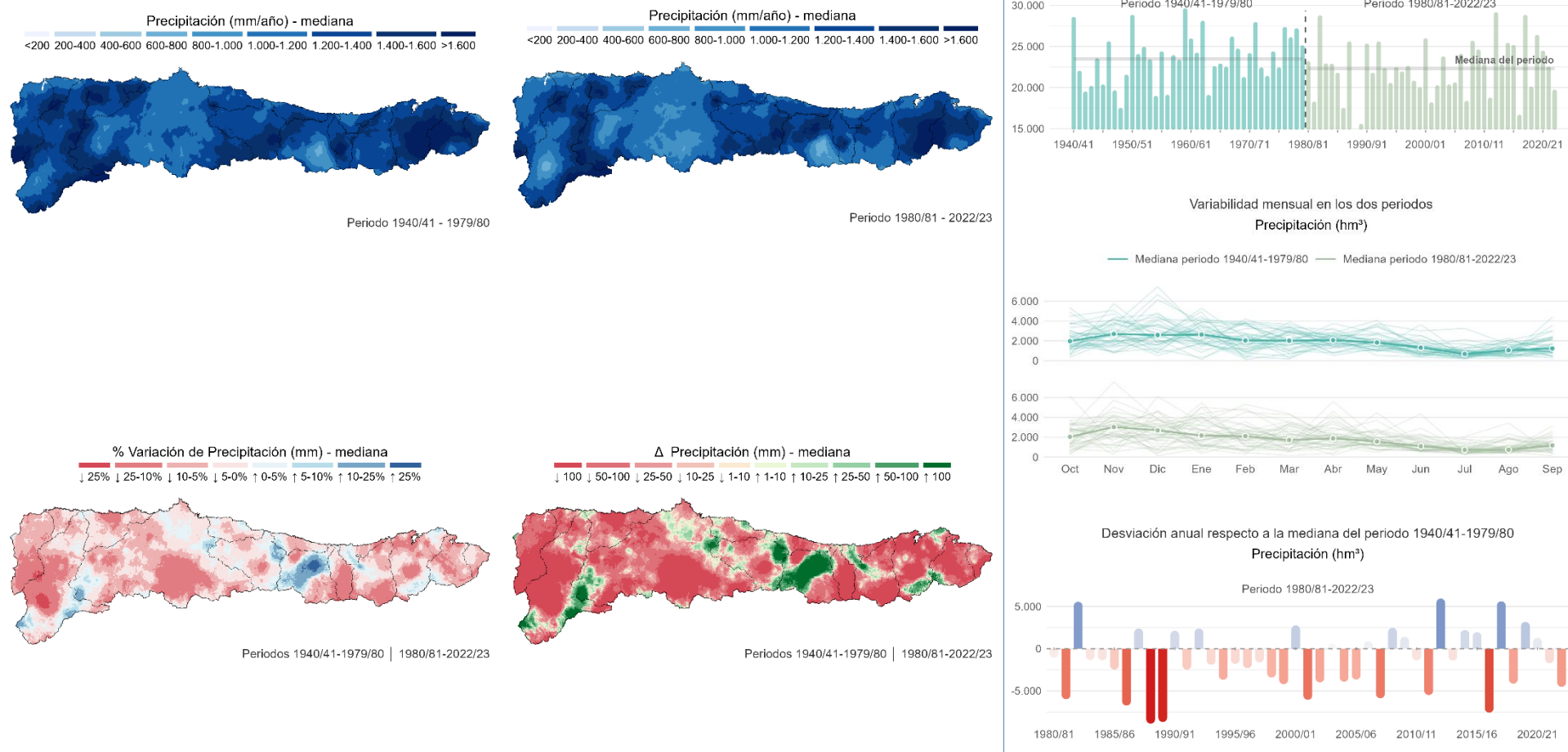


Figura 24. Caracterización espacial y temporal de la precipitación. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (22.291,53 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (23.476,43 hm³) en 1.184,90 hm³, lo que supone un descenso del 5,05 %. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 1988/89, siendo esta de -8.356,35 hm³.

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 (2.168,96 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (2.632,26 hm³) en 463,33 hm³.

2.9 Régimen nival

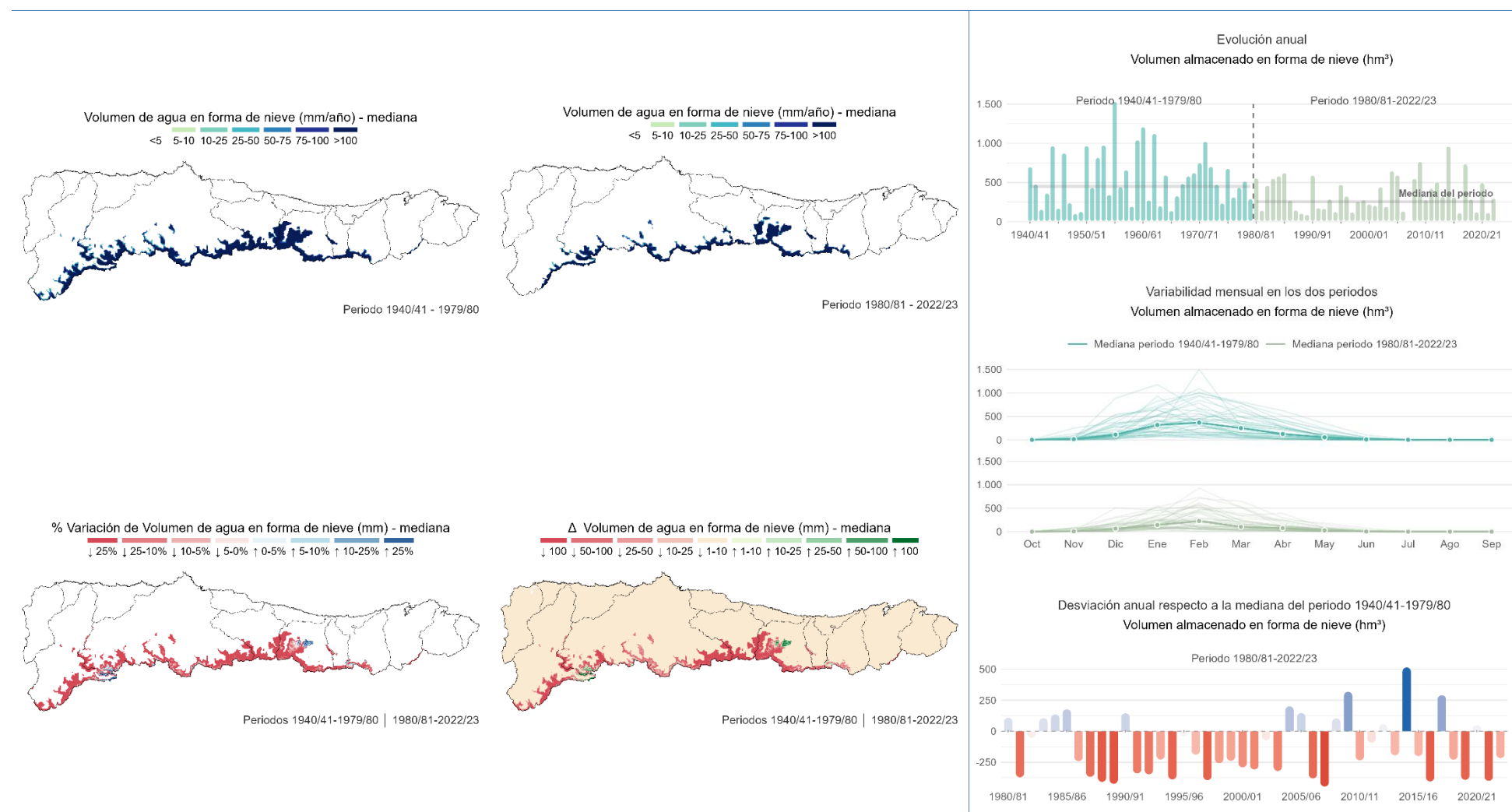


Figura 25. Caracterización espacial y temporal de la precipitación en forma de nieve. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX). La media mensual de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (21,28 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (37,46 hm³) en 16,19 hm³, lo que supone un descenso del 43,20 %. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 2014/15, siendo esta de +480,33 hm³.

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 (143,56 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (317,20 hm³) en 173,64 hm³. La reducción nival tiene una gran influencia en el incremento de la estacionalidad de los cauces e incremento del estrés hídrico en verano.

2.10 Humedad del suelo

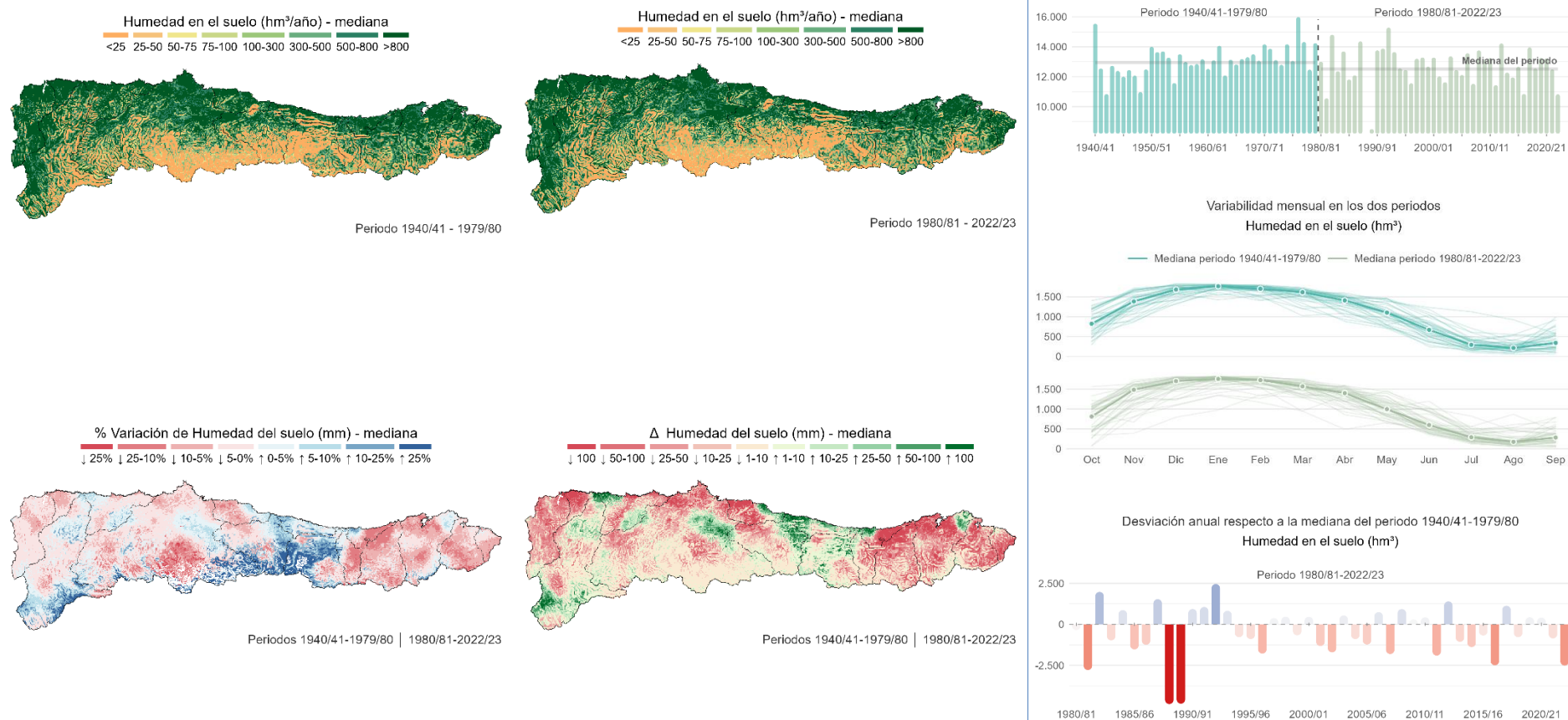


Figura 26. Caracterización espacial y temporal de la humedad en el suelo. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

En las figuras se ha sumado la humedad del suelo mes a mes por cada año hidrológico (AH) y posteriormente se ha estimado la mediana de cada serie, observándose un descenso del 3,26% entre la serie corta y la histórica. Debe señalarse que la humedad del suelo no es acumulativa; por tanto, la suma de valores mensuales carece de interpretación física directa (pasa de un mes a otro). No obstante, es un indicador sintético útil de la variabilidad interanual.

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de mayo, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 (996,26 hm^3) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (1.103,39 hm^3) en 107,13 hm^3 .

2.11 Infiltración

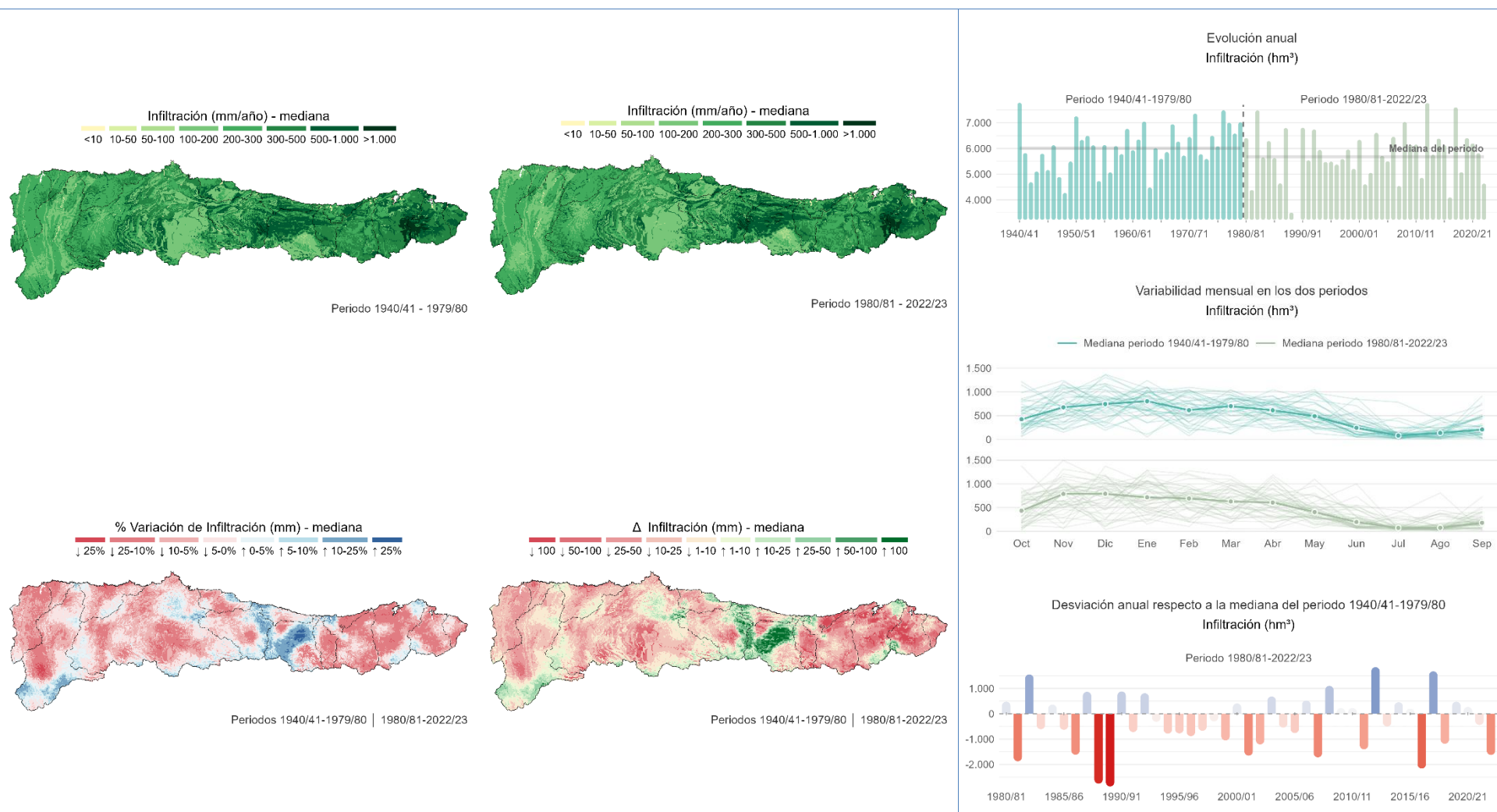


Figura 27. Caracterización espacial y temporal de la infiltración. Comparación entre los periodos 1940/41-1979/80 y 1980/81-2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81-2022/23 (5.678,07 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41-1979/80 (6.009,24 hm³) en 331,16 hm³, lo que supone un descenso del 5,51 %. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 1989/90, siendo esta de -2.702,79 hm³.

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de noviembre, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81-2022/23 (788,28 hm³) supera a la del periodo 1940/41-1979/80 (676,18 hm³) en 112,10 hm³.

2.12 Estrés hídrico, como diferencia entre ETP y ETR

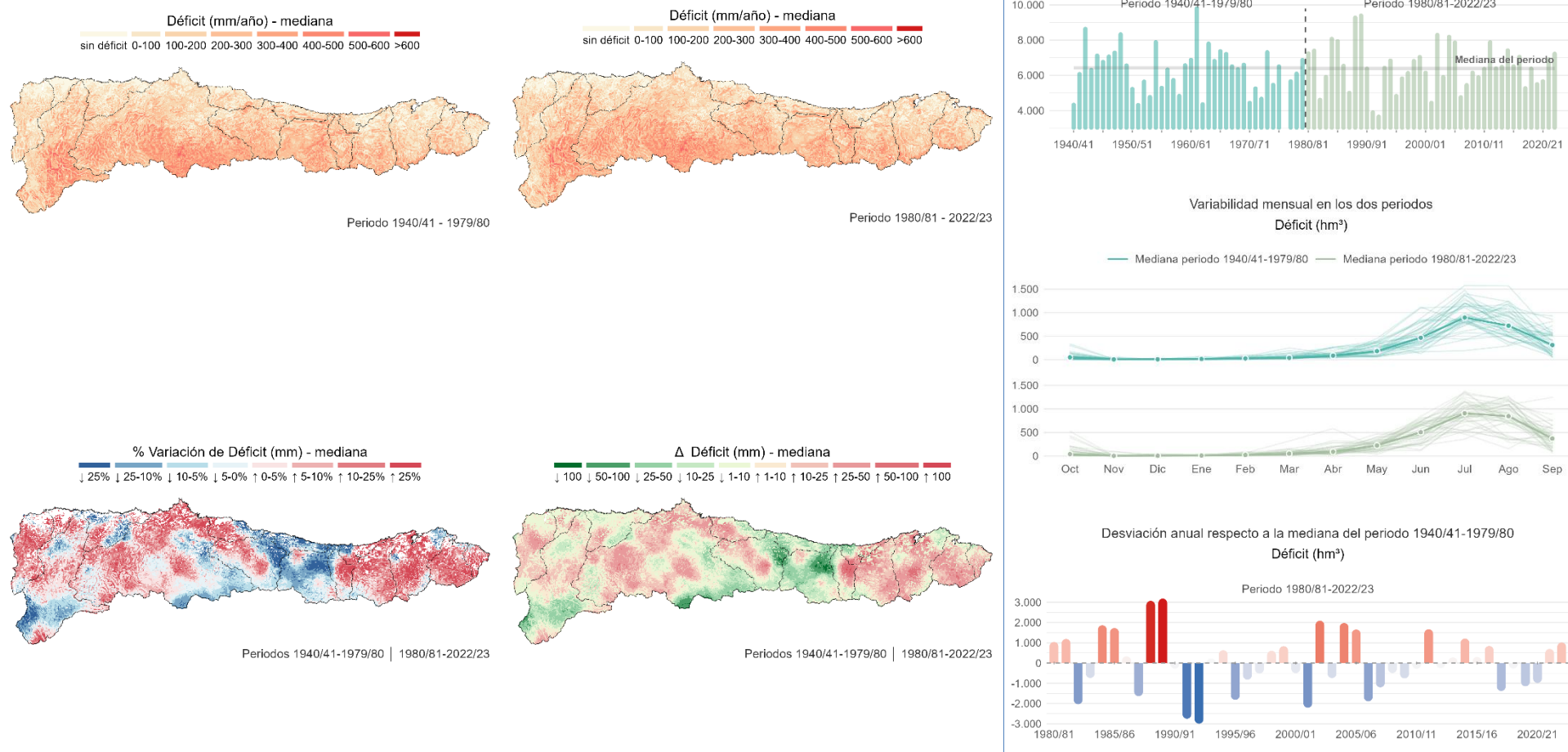


Figura 28. Caracterización espacial y temporal del estrés hídrico (ETP-ETR). Comparación entre los periodos 1940/41-1979/80 y 1980/81-2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81-2022/23 (3.194,42 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41-1979/80 (3.210,31 hm³) en 15,89 hm³, lo que supone un descenso del 0,50 %. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 198/90, siendo esta de +1.482,41 hm³.

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de agosto, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81-2022/23 (845,38 hm³) supera a la del periodo 1940/41-1979/80 (721,14 hm³) en 124,25 hm³.

2.13 Evapotranspiración real

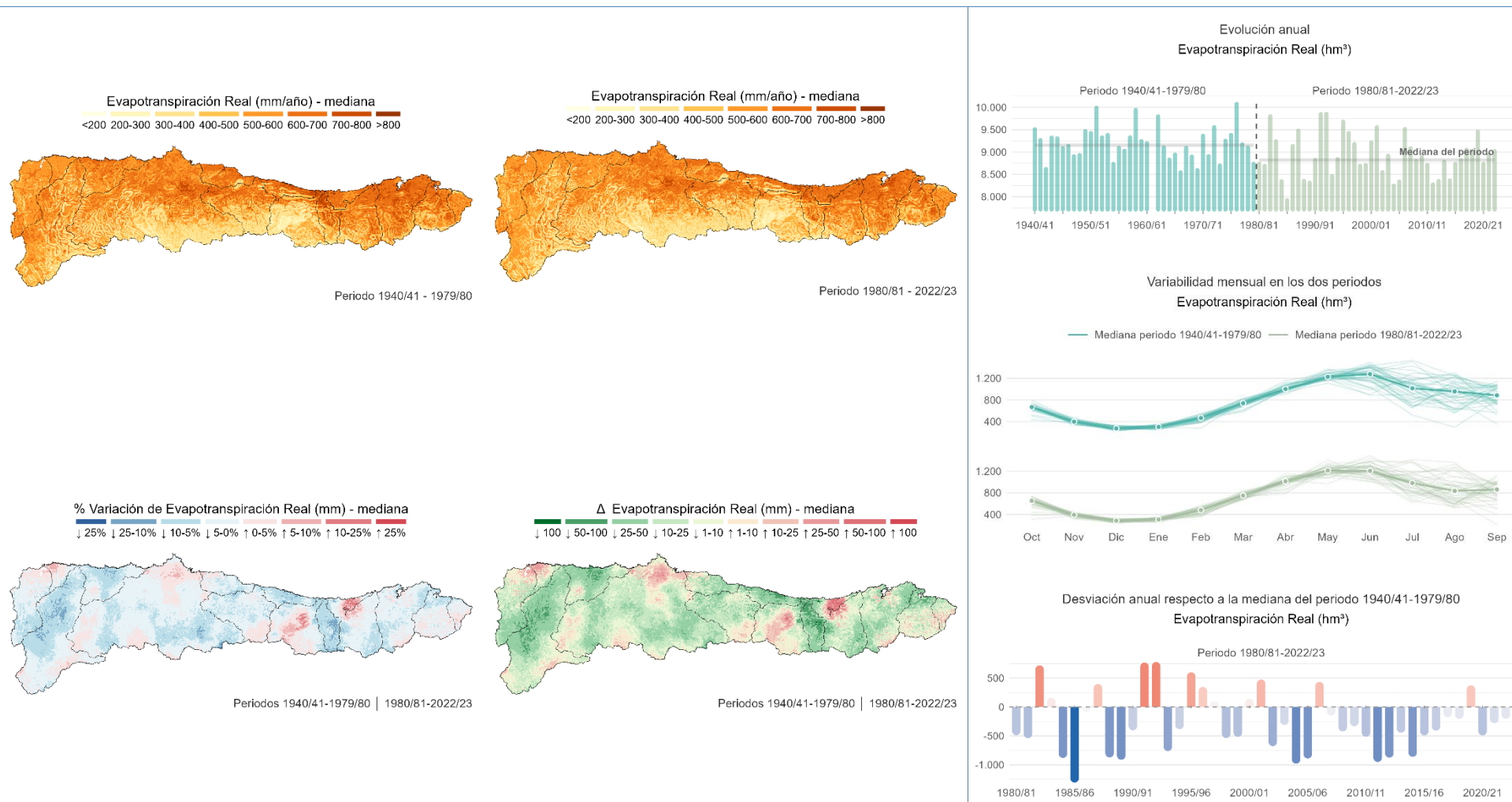


Figura 29. Caracterización espacial y temporal de la evapotranspiración real. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 ($8.822,61 \text{ hm}^3$) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 ($9.151,13 \text{ hm}^3$) en $328,52 \text{ hm}^3$, lo que supone un descenso del 3,59 %. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 1985/86, siendo esta de $-1.232,32 \text{ hm}^3$.

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de agosto, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2022/23 ($835,68 \text{ hm}^3$) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 ($956,71 \text{ hm}^3$) en $121,03 \text{ hm}^3$. Este descenso de ETR puede deberse tanto a una menor disponibilidad de agua como a una menor ETP. Dado que la ETP aumenta, su descenso se debe a la menor disponibilidad.

2.14 Escorrentía subterránea

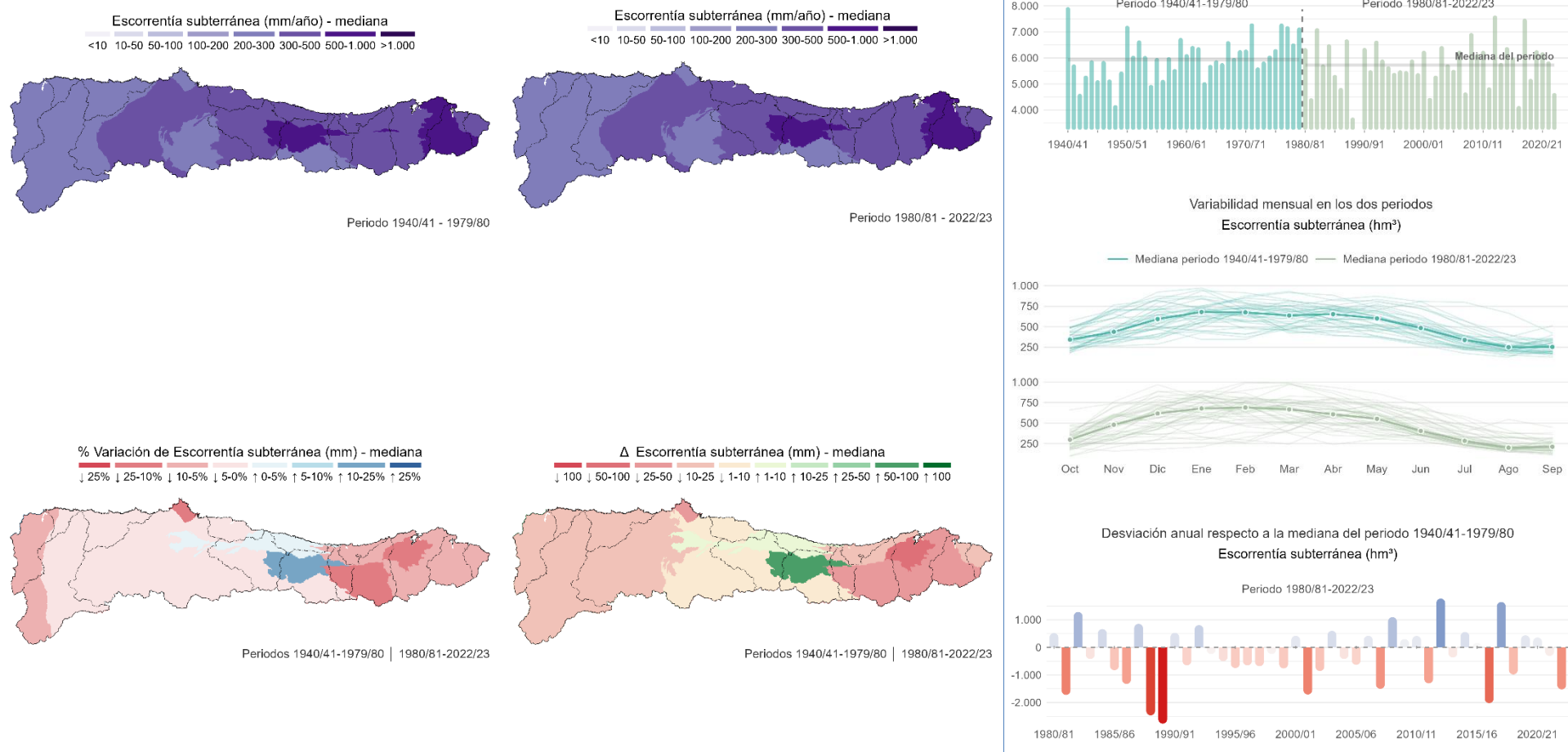


Figura 30. Caracterización espacial y temporal de la escorrentía subterránea. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81–2022/23 (5.727,20 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (5.933,82 hm³) en 206,62 hm³, lo que supone un descenso del 3,48 %. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 198/90, siendo esta de -2.608,45 hm³.

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 (40,28 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41–1979/80 (484,28 hm³) en 80 hm³.

2.15 Escorrentía superficial

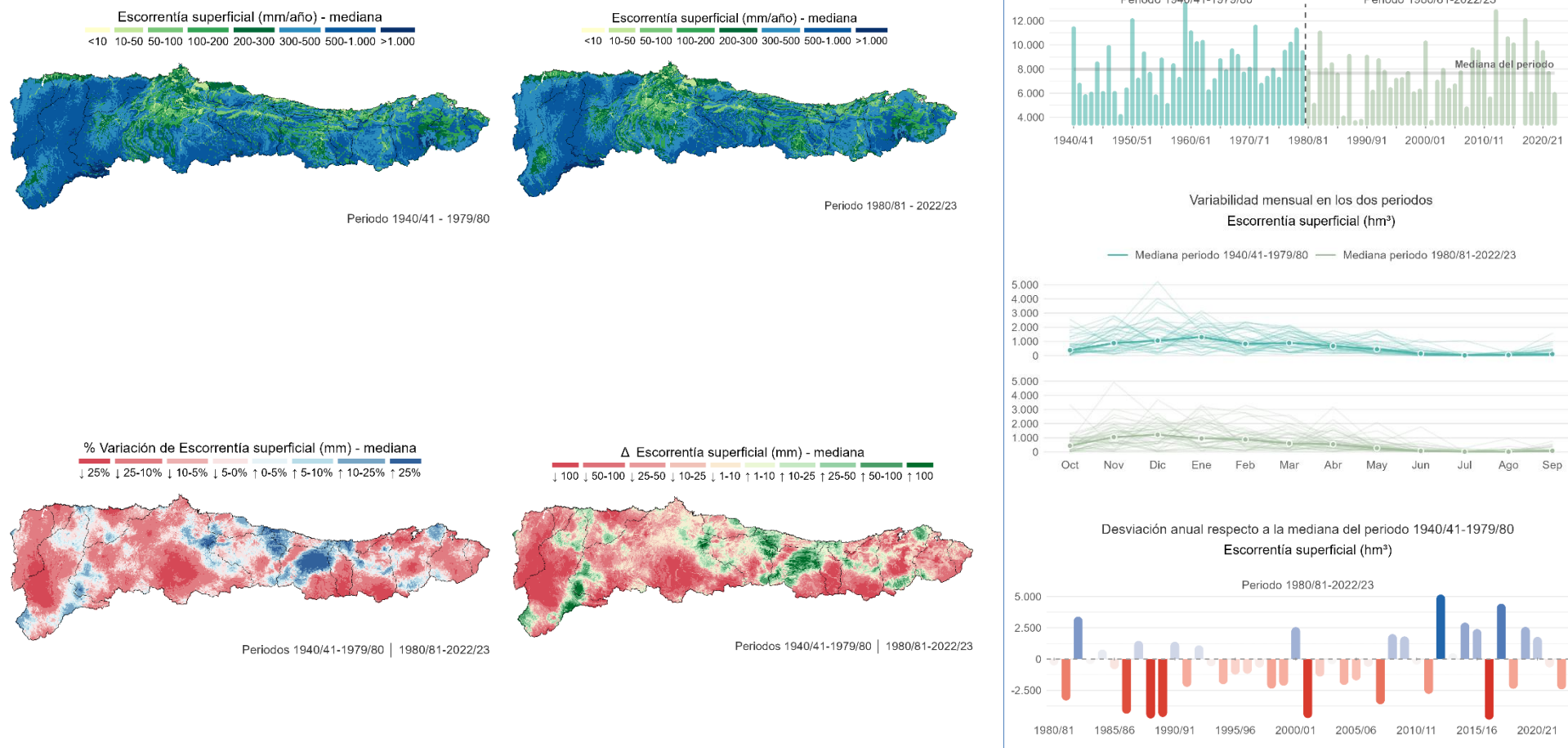


Figura 31. Caracterización espacial y temporal de la escorrentía superficial. Comparación entre los periodos 1940/41-1979/80 y 1980/81-2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81-2022/23 (7.666,23 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41-1979/80 (7.978,36 hm³) en 312,12 hm³, lo que supone un descenso del 3,91 %. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 2012/13, siendo esta de +4.802,23 hm³.

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 (958,14 hm³) es inferior a la del periodo 1940/41-1979/80 (1.303,64 hm³) en 345,50 hm³.

2.16 Aportaciones totales

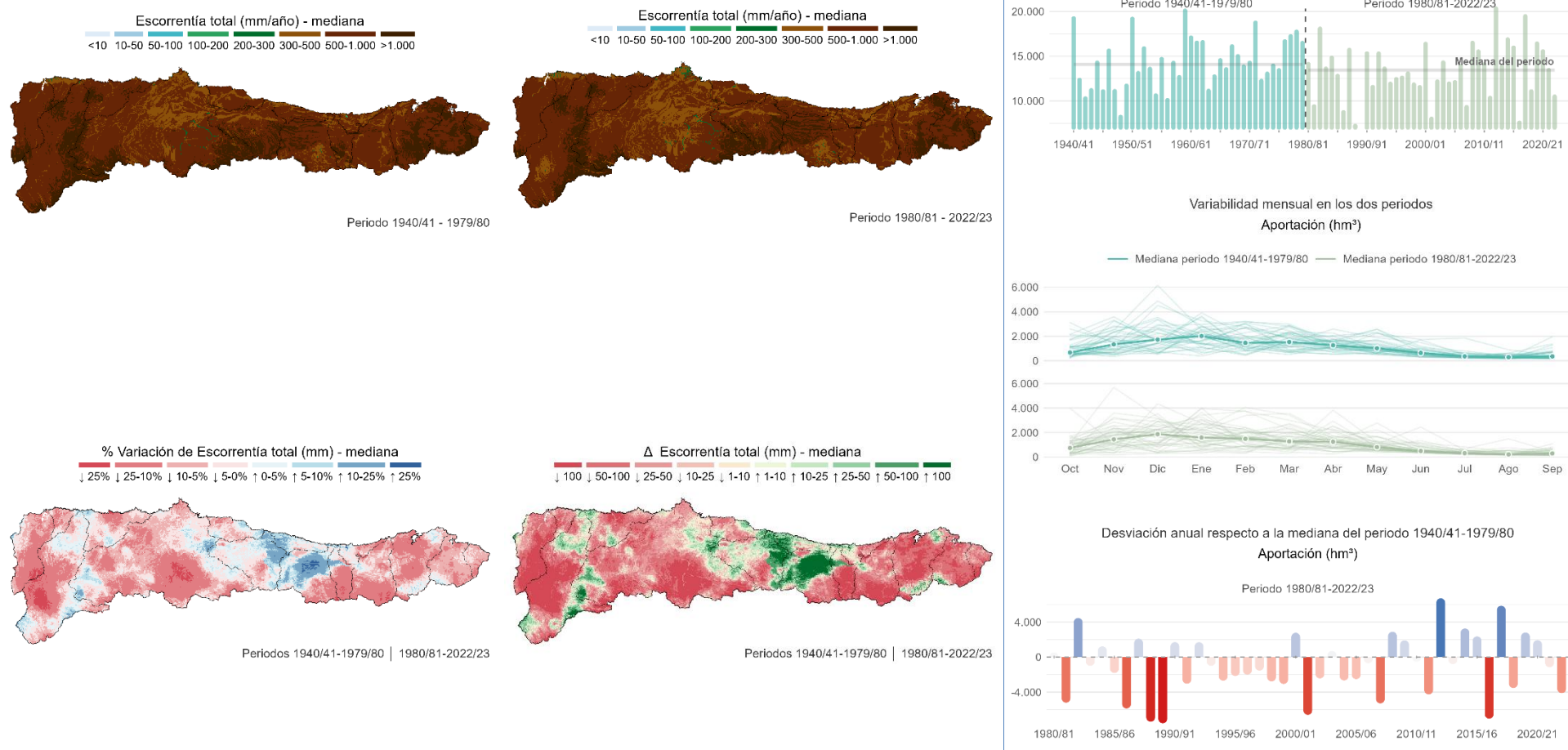


Figura 32. Caracterización espacial y temporal de la aportación. Comparación entre los periodos 1940/41-1979/80 y 1980/81-2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de SIMPA (CEDEX).

La mediana del periodo 1980/81-2022/23 ($13.446,68 \text{ hm}^3$) es inferior a la del periodo 1940/41-1979/80 ($14.092,08 \text{ hm}^3$) en $646,40 \text{ hm}^3$, lo que supone un descenso del 4,59 %. La mayor desviación se produce en el año hidrológico 1989/90, siendo esta de $-7.065,23 \text{ hm}^3$.

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 ($1.597,67 \text{ hm}^3$) es inferior a la del periodo 1940/41-1979/80 ($2.019,39 \text{ hm}^3$) en $421,72 \text{ hm}^3$.

2.17 Precipitaciones máximas diarias (AdapteCCa)

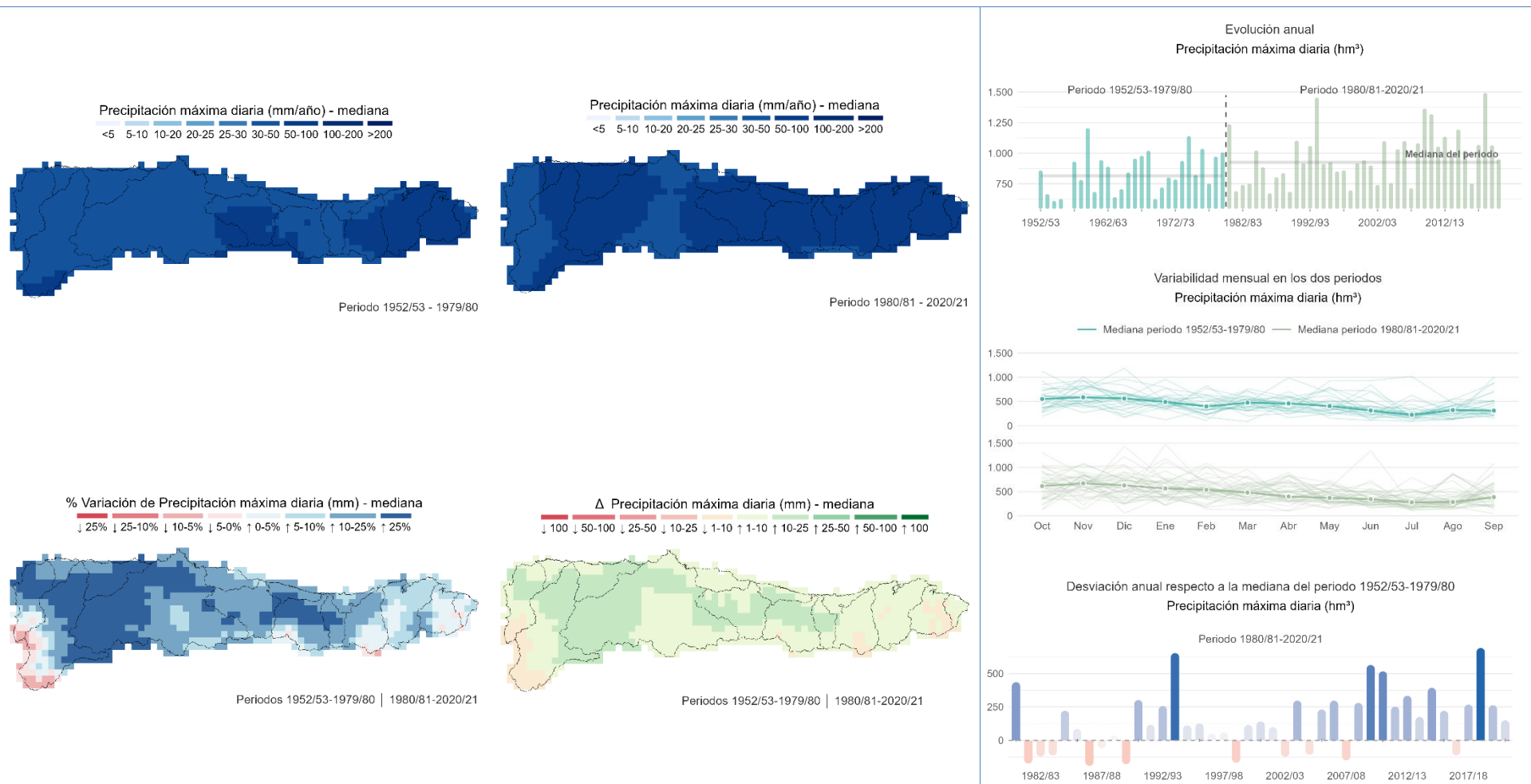


Figura 33. Caracterización espacial y temporal de la aportación. Comparación entre los periodos 1940/41–1979/80 y 1980/81–2022/23. Fuente: Elaboración propia a partir de información de AdapteCCa.

En las figuras anteriores se ha sumado la precipitación máxima diaria (Pmax) mes a mes por cada año hidrológico (AH) y posteriormente se ha estimado la mediana de cada serie comparándolas. Debe señalarse que la acumulación mensual de Pmax diaria carece de interpretación física directa y solo es un indicador sintético útil de la variabilidad interanual.

El mes con mayor variación mediana entre periodos es el de febrero, en el que el valor de la mediana del periodo 1980/81–2020/21 (30,95 mm) supera a la del periodo 1940/41–1979/80 (22,83 mm) en 8,12 mm.

2.18 Precipitaciones máximas diarias (CAUMAX)

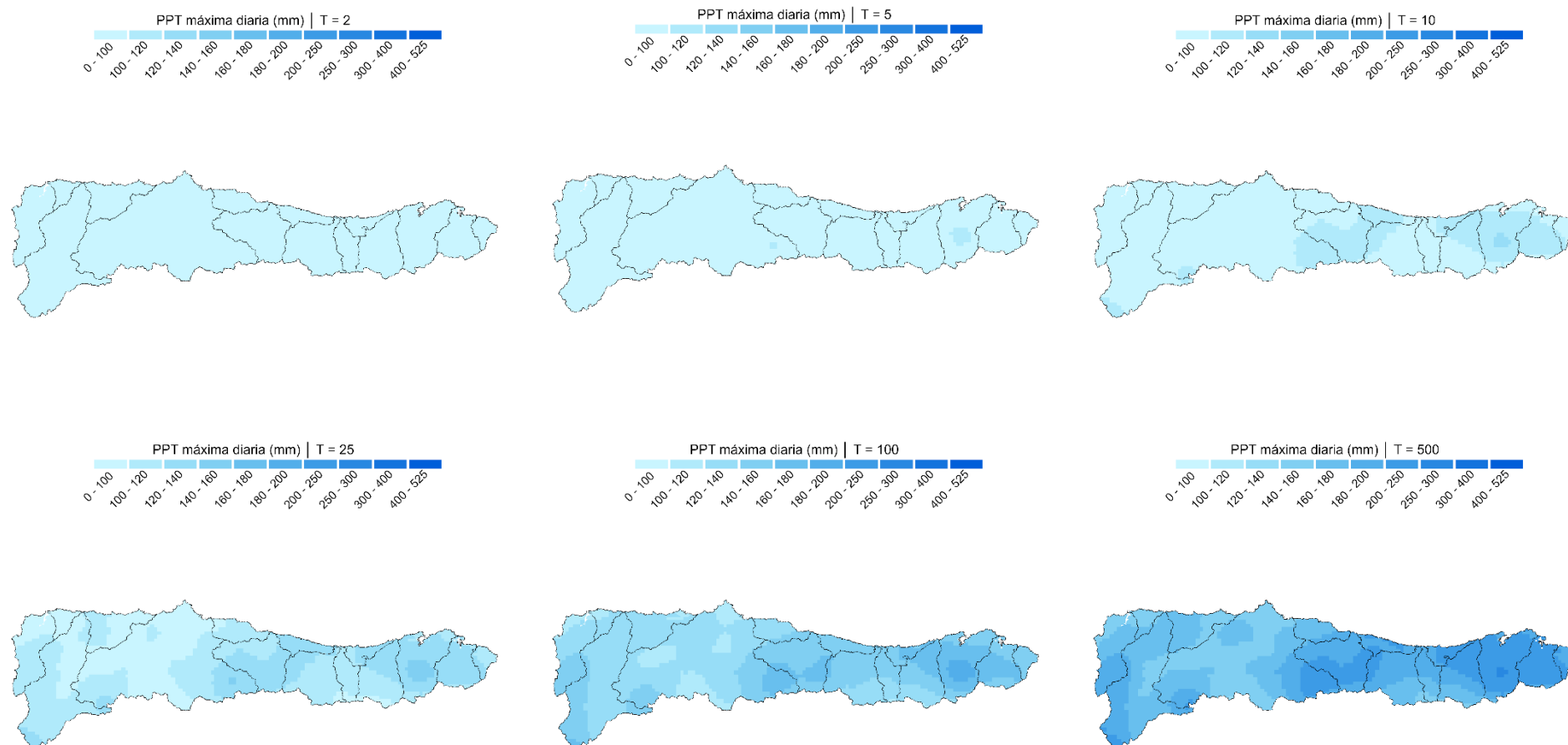


Figura 34. Caracterización espacial de las precipitaciones máximas diarias para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años. Fuente: CAUMAX, 2014.

Los valores de las precipitaciones máximas diarias se obtuvieron a partir de CAUMAX, herramienta del (MITECO), asociada al Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), 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

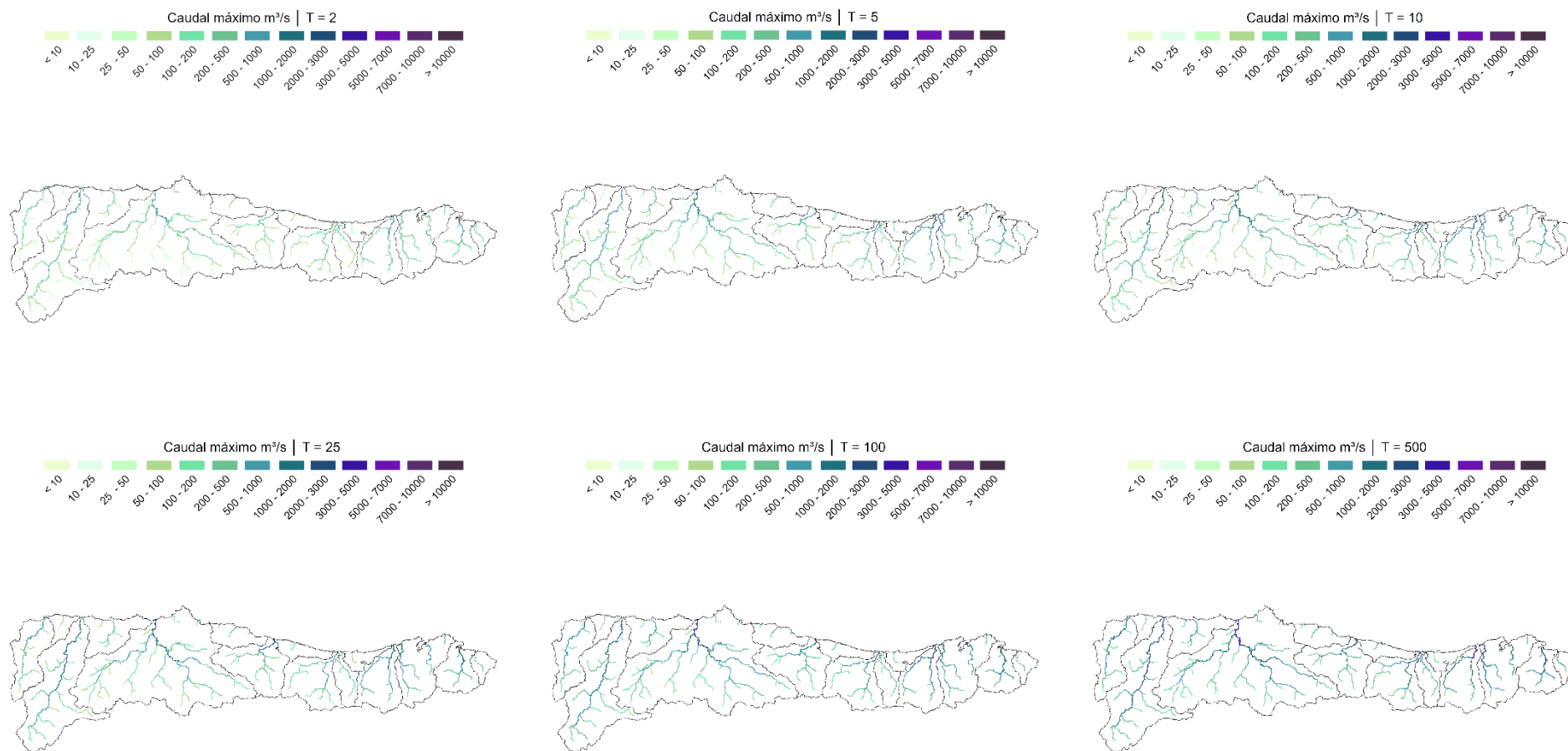


Figura 35. Caracterización espacial de los caudales máximos para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años. Fuente: CAUMAX, 2014.

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

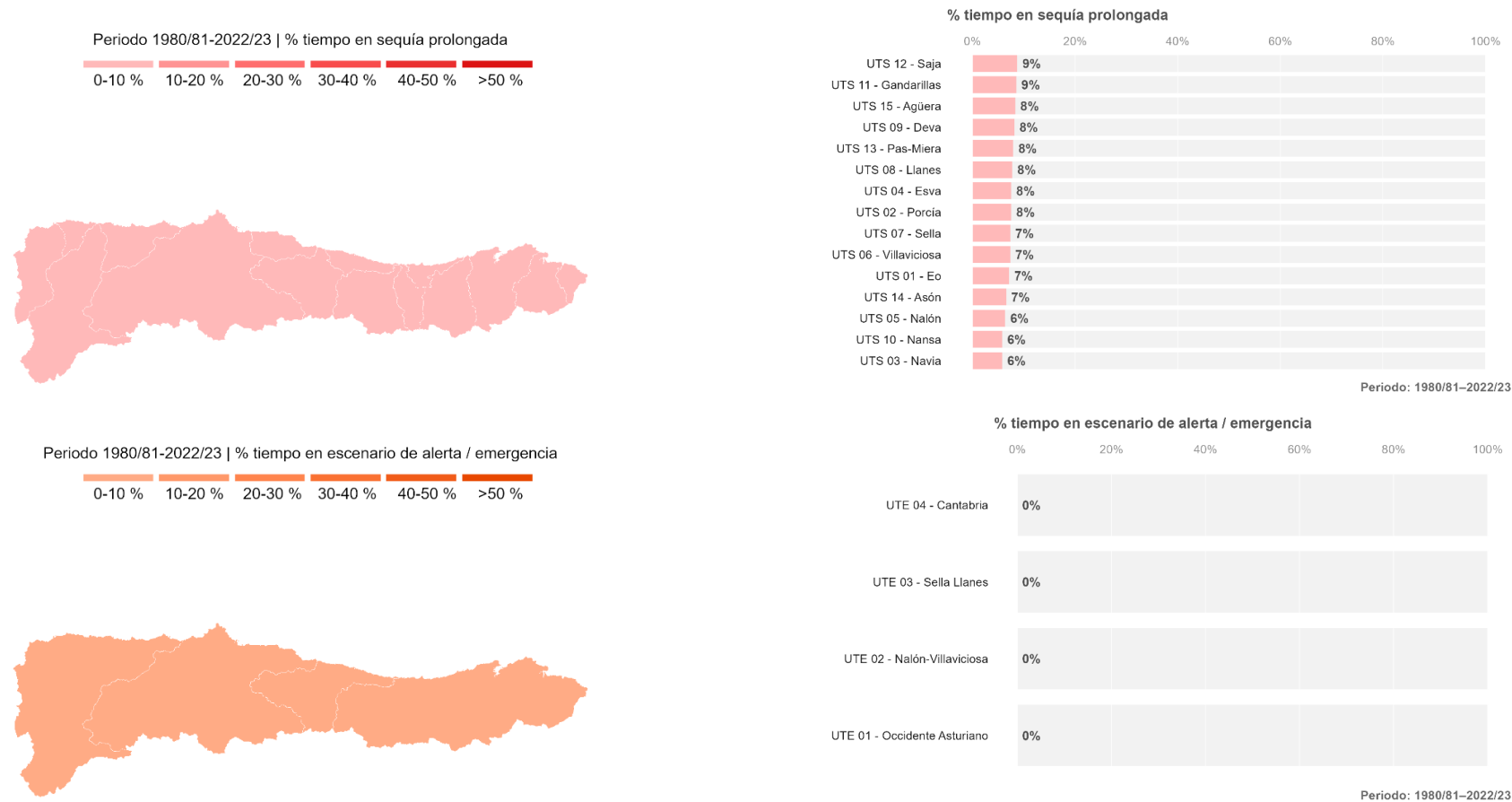


Figura 36. Caracterización espacial y temporal de la sequía prolongada y escasez coyuntural. Fuente: elaboración a partir de los informes mensuales de seguimiento de los PES.

Las UTS con mayor porcentaje de tiempo en sequía prolongada son las UTS 11 y la UTS 12 (9%), mientras que las que presentan el menor porcentaje son las UTS 03 y la UTS 10. En cuanto a los escenarios de alerta o emergencia, ninguna UTE alcanzó dichas situaciones.

La sequía prolongada refleja un déficit hidrológico asociado a anomalías pluviométricas, mientras que la escasez coyuntural se produce únicamente cuando dicho déficit llega a afectar a la garantía de suministro. Por ello, aunque la escasez suele venir precedida por episodios de sequía prolongada, la ausencia de escenarios de alerta/emergencia en la demarcación indica que los sistemas mantienen capacidad suficiente para atender las demandas pese a las condiciones secas observadas.

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

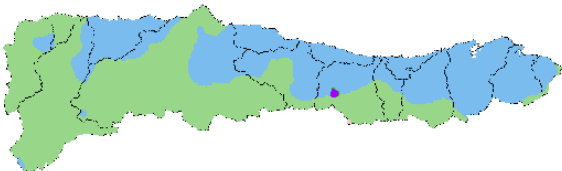
Cambios proyectados en la incidencia de fenómenos extremos

Componentes atmosféricas

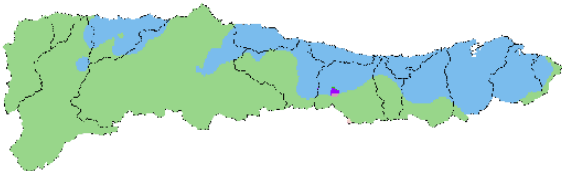
Tipos climáticos

3.1 Régimen térmico. Temperaturas máximas - escenario intermedio (SSP2-4.5)Tipos climáticos

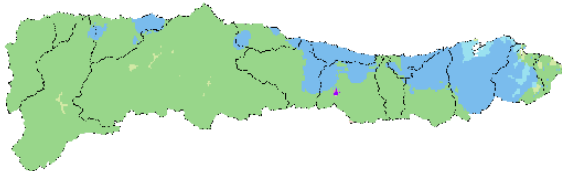
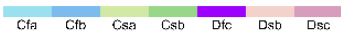
Clasificación climática de Köppen-Geiger (2011-2040) | Escenario SSP2-4.5



Clasificación climática de Köppen-Geiger (2011-2040) | Escenario SSP5-8.5



Clasificación climática de Köppen-Geiger (2041-2070) | Escenario SSP2-4.5



Clasificación climática de Köppen-Geiger (2041-2070) | Escenario SSP5-8.5

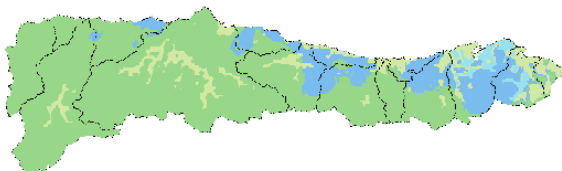
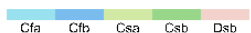


Figura 37. Variación de tipos climáticos bajo los escenarios intermedio (SSP2-4.5) y de altas emisiones (SSP5-8.5) para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100. Fuente: AEMET

Leyenda: 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

En la DHCOc la previsión es que se acentúe la transición hacia climas más calidos y secos. Comparando la actualidad con el escenario intermedio (horizonte 2071-2100) hacia finalesde siglo en el peor de los escenarios a costa, fundamentalmente, de la caída de los tipos más húmedos Cfa (0,62%) y Cfb (0,49%) en el litoral y la desapar

Régimen térmico

Régimen térmico. Temperaturas máximas - 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)

3.2 Descripción de los escenarios climáticos

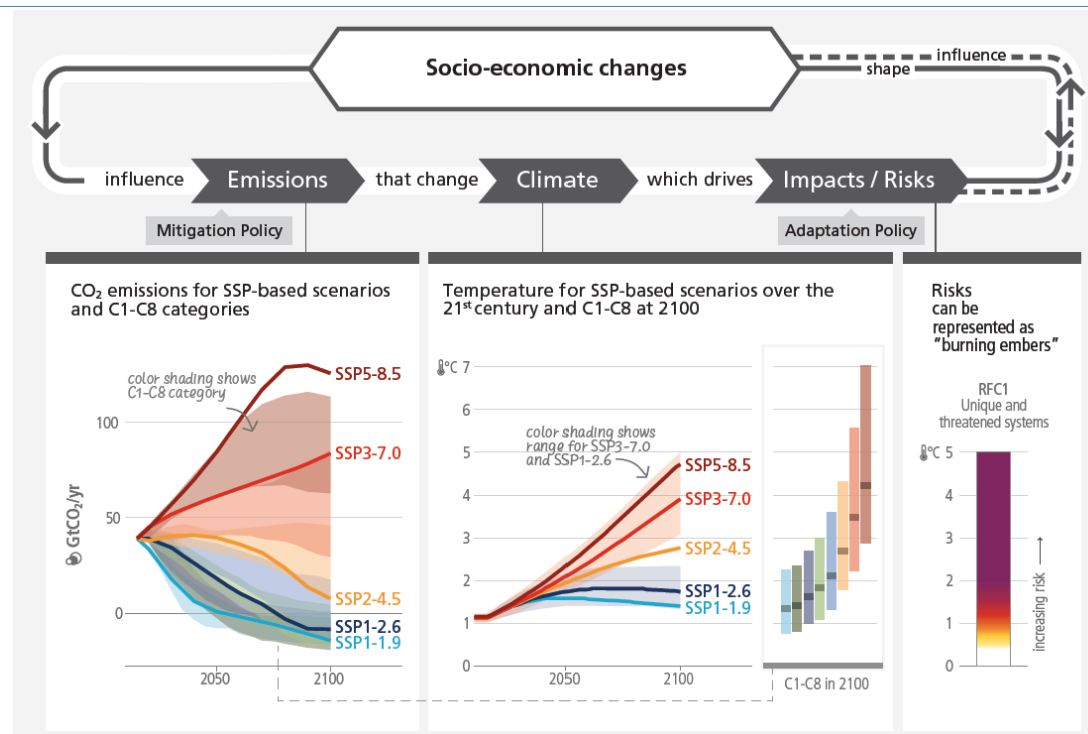


Figura 38. Representación de la cadena causa-efecto embebida en los SSP. Fuente: [AR6](#)

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 construcción 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.

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.

3.3 Definición del escenario hidrometeorológico más probable

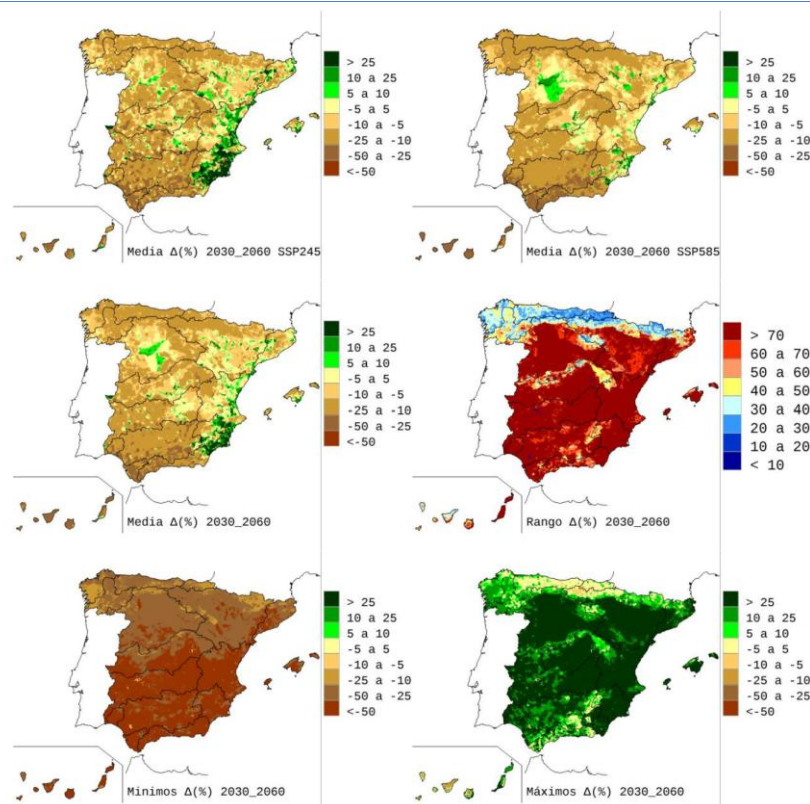


Figura 39. Δ (%) ESC anual para 2030-2060 según el conjunto de las proyecciones. Arriba: media para cada SSP; medio: media y rango para ambos SSP; abajo: valores mínimos y máximos de cambio para ambos SSP. Fuente: «Nota técnica sobre la propuesta de incorporación del cambio climático en los planes hidrológicos 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 que lo 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 3.2**, este horizonte 2045 se interpreta como referencia de medio plazo a efectos de la construcción 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 °C, es decir, claramente por encima del objetivo de 1,5 °C 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 °C 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 39). 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.

3.4 Cambios proyectados en el régimen térmico y pluviométrico

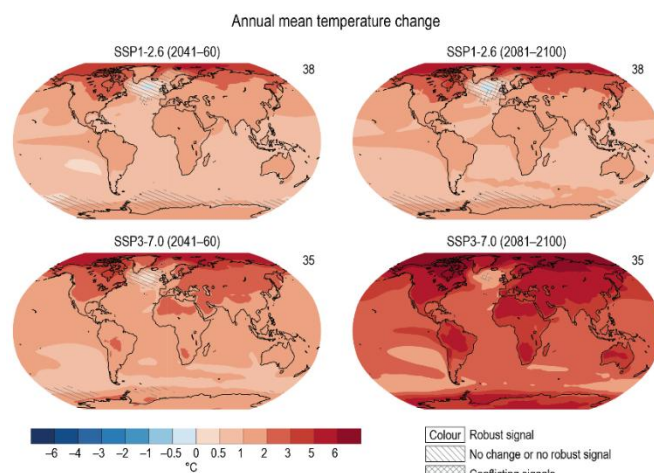


Figura 40. Cambio a medio y largo plazo de la temperatura media anual en superficie Fuente [AR6](#)

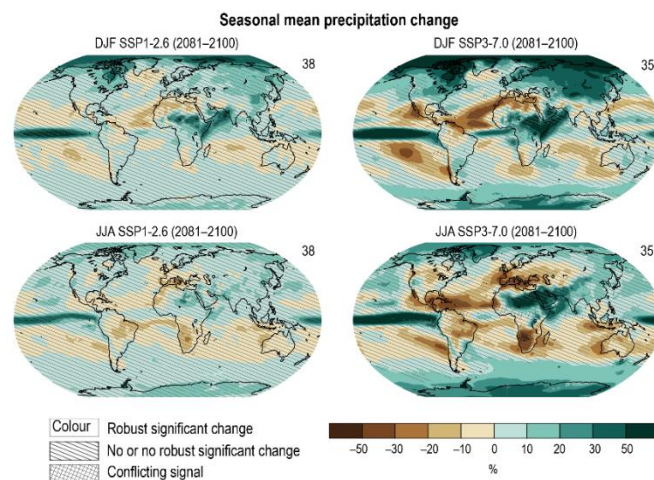


Figura 42. Cambio a largo plazo de la precipitación media estacional. Fuente [AR6](#). DJF:diciembre-enero-febrero; JJA: junio-julio-agosto

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, los 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.

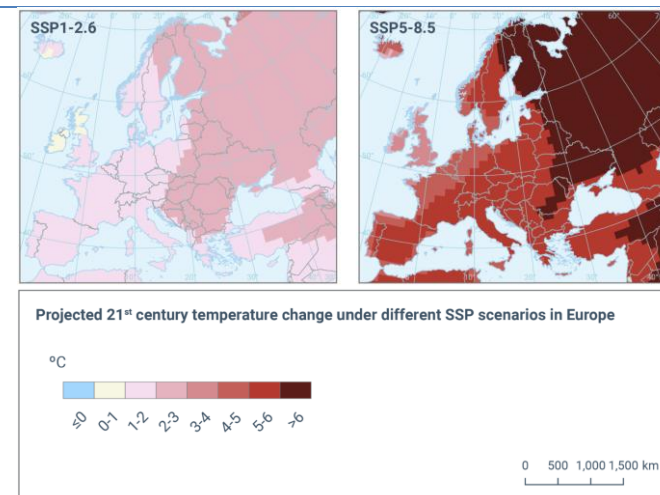


Figura 41. Tendencia en la temperatura media anual en Europa bajo diferentes escenarios climáticos. Fuente: [AEMA](#)

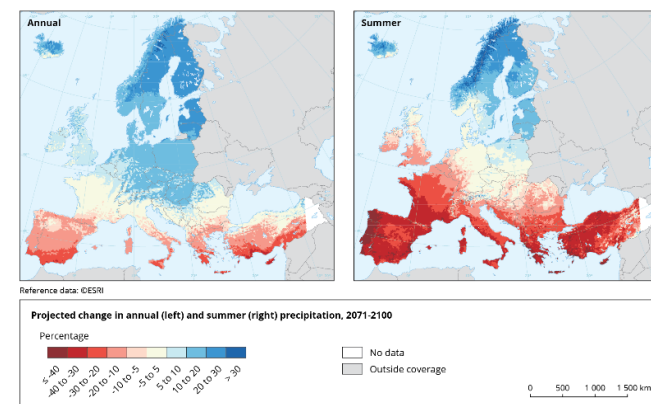


Figura 43. Tendencias en la precipitación. Fuente: [AEMA](#)

3.5 Cambios proyectados en la incidencia de fenómenos extremos

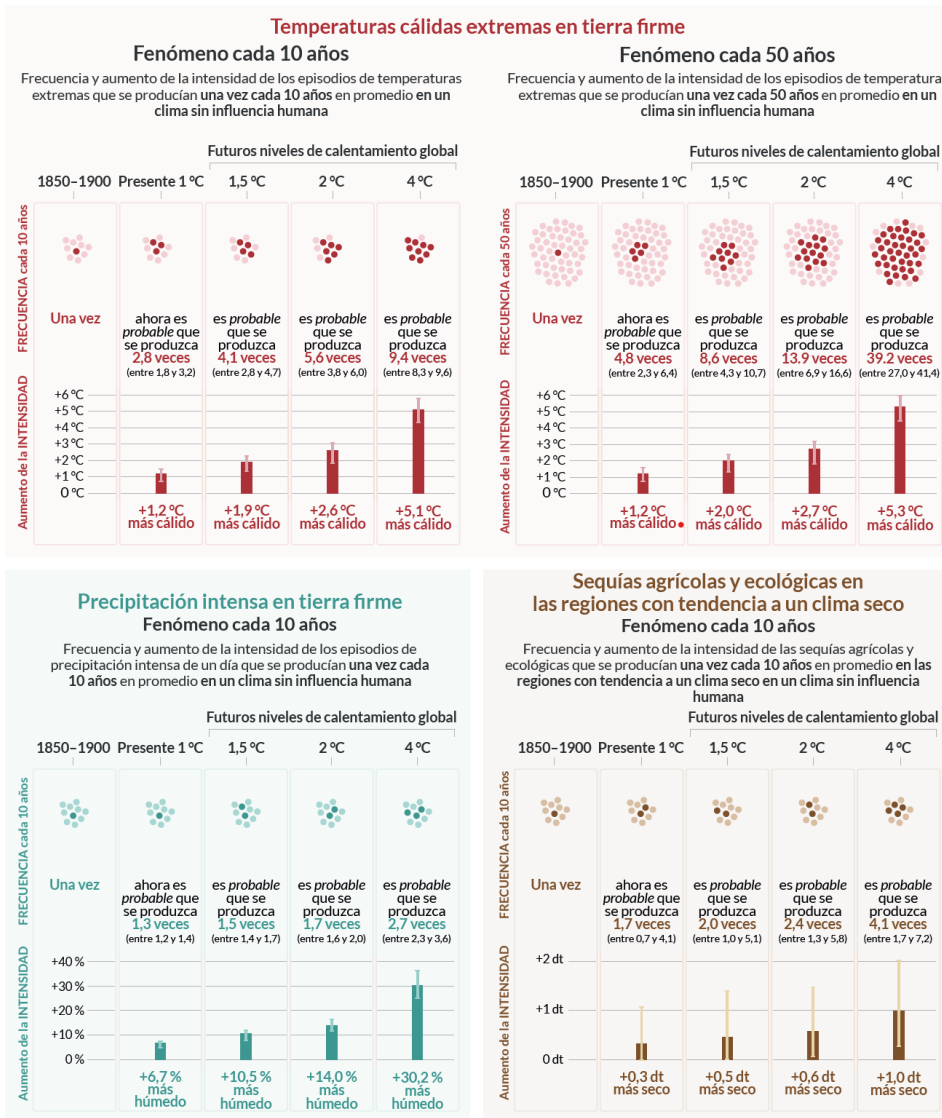


Figura 44. Evolución de los fenómenos extremos en intensidad y frecuencia

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 agrícola-ecológicas. 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](#) confirman 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 apreciar el incremento esperado de la lluvia diaria extrema (colores más oscuros = aumentos mayores) y, mediante el trazo, qué celdas presentan cambios estadísticamente significativos.

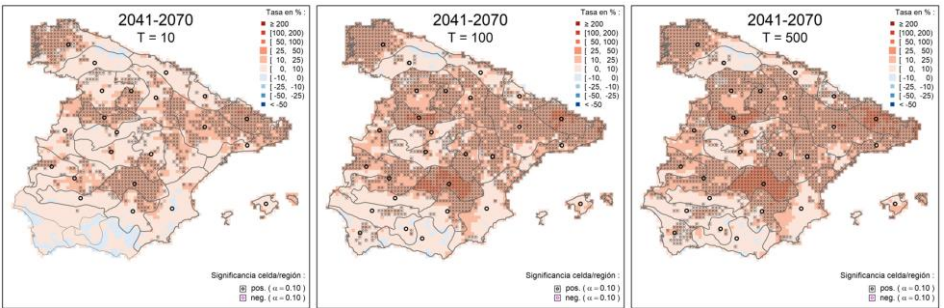
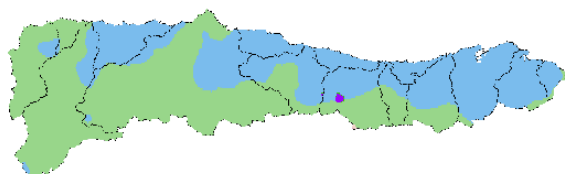


Figura 45. Tasas de cambio en cuantil medias para precipitación diaria máxima anual ; modelo GEV-L en RCP 8.5. Fuente: [CEDEX](#)

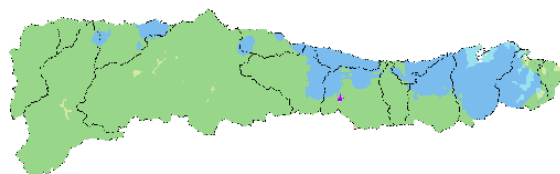
Desde el punto de vista regional, las proyecciones concentran los mayores aumentos de extremos térmicos, sequías y aridez en el sur y sureste peninsular, cuencas mediterráneas, Ebro y Guadalquivir, donde se prevé un incremento tanto de la frecuencia como de la gravedad de las sequías, y un riesgo creciente de incendios favorecido por temporadas secas más largas. En la fachada atlántica y el norte los cambios son 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.

3.6 Tipos climáticos

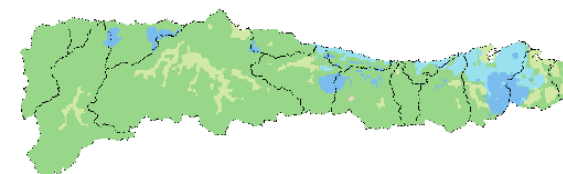
Clasificación climática de Köppen-Geiger (2011-2040) | Escenario SSP2-4.5



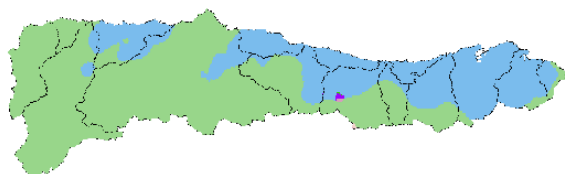
Clasificación climática de Köppen-Geiger (2041-2070) | Escenario SSP2-4.5



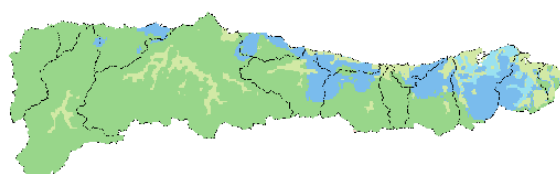
Clasificación climática de Köppen-Geiger (2071-2100) | Escenario SSP2-4.5



Clasificación climática de Köppen-Geiger (2011-2040) | Escenario SSP5-8.5



Clasificación climática de Köppen-Geiger (2041-2070) | Escenario SSP5-8.5



Clasificación climática de Köppen-Geiger (2071-2100) | Escenario SSP5-8.5

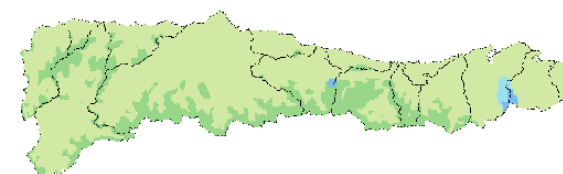


Figura 46. Variación de tipos climáticos bajo los escenarios intermedio (SSP2-4.5) y de altas emisiones (SSP5-8.5) para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100. Fuente: AEMET

Leyenda: **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 y templado; **Dsc.** Clima frío con verano seco y fresco

En la DHCOc la previsión es que se acentúe la transición hacia climas más calidos y secos. Comparando la actualidad con el escenario intermedio (horizonte 2071-2100), aumentan significativamente los tipos Csa (templado con verano seco y caluroso, hasta ~76,52%) y Csb (templado con verano seco y suave, ~21,98%) hacia finalesde siglo en el peor de los escenarios a costa, fundamentalmente, de la caída de los tipos más húmedos Cfa (0,62%) y Cfb (0,49%) en el litoral y la desaparición de los más fríos Dfc, Dsb y Dsc en las zonas montañosas de la Cordillera Cantábrica y Picos de Europa.

3.7 Régimen térmico. Temperaturas máximas - escenario intermedio (SSP2-4.5)

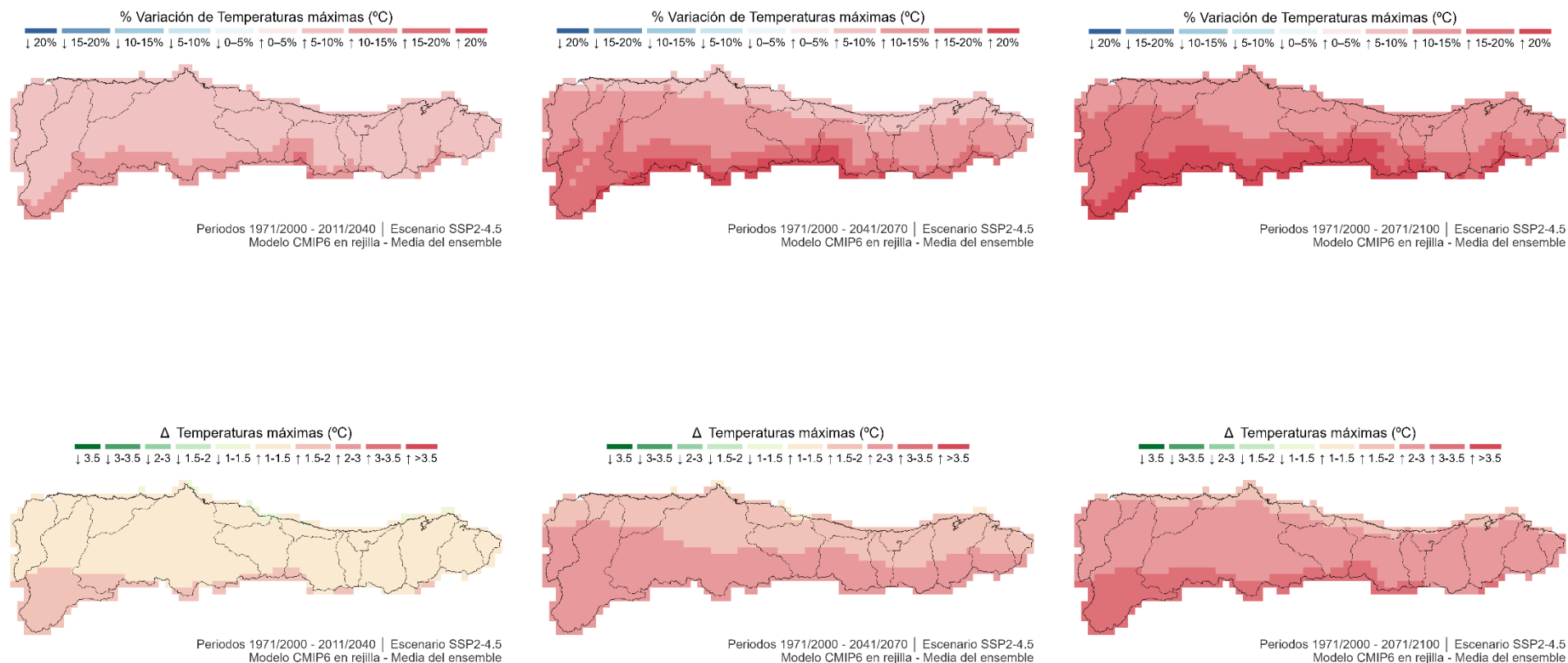


Figura 47. Variación de las temperaturas máximas proyectadas bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, en comparación con el periodo de control 1971-2000. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Adapteca.

Se ha analizado la media anual de temperaturas máximas mensuales de cada año hidrológico. La variación media de temperaturas máximas (medias mensuales) para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de +1,29 °C (8,11%) en el futuro cercano (horizonte 2011-2040), +2,06 °C (12,96%) en el futuro medio (horizonte 2041-2070) y +2,54 °C (15,94%) en el futuro lejano (horizonte 2071-2100).

3.8 Régimen térmico. Temperaturas máximas - escenario de altas emisiones (SSP5-8.5)

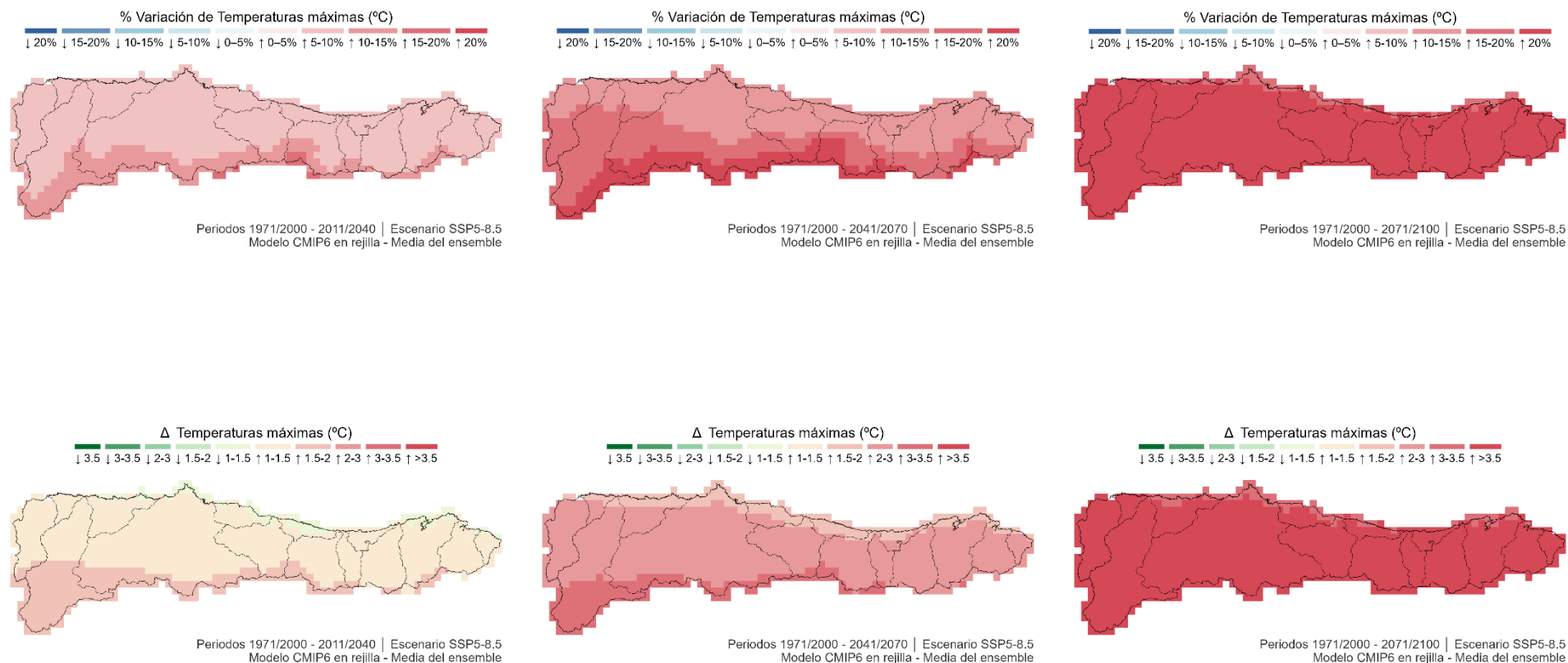


Figura 48. Variación de las temperaturas máximas proyectadas bajo el escenario pesimista de emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, en comparación con el periodo de control 1971-2000. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Adapteca.

Se ha analizado la media anual de temperaturas máximas mensuales de cada año hidrológico. La variación media de temperaturas máximas (medias mensuales) para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de +1,29 °C (8,09%) en el futuro cercano (horizonte 2011-2040), +2,47 °C (15,52%) en el futuro medio (horizonte 2041-2070) y +4,52 °C (28,40%) en el futuro lejano (horizonte 2071-2100).

3.9 Régimen pluviométrico – escenario intermedio (SSP2-4.5)

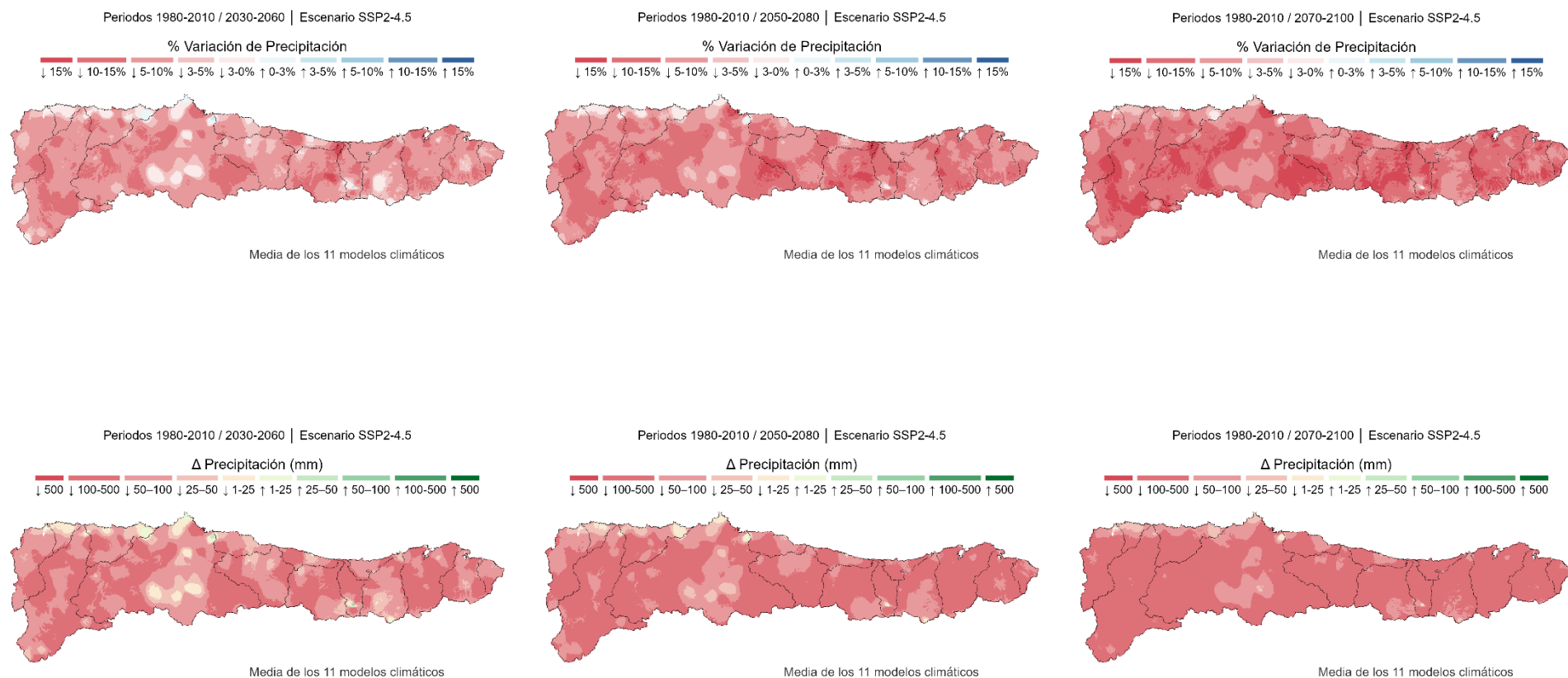


Figura 49. Variación de la precipitación proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de -96,6 mm (-7,73%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -123,4 mm (-9,87%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -151,3 mm (-12,10%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

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

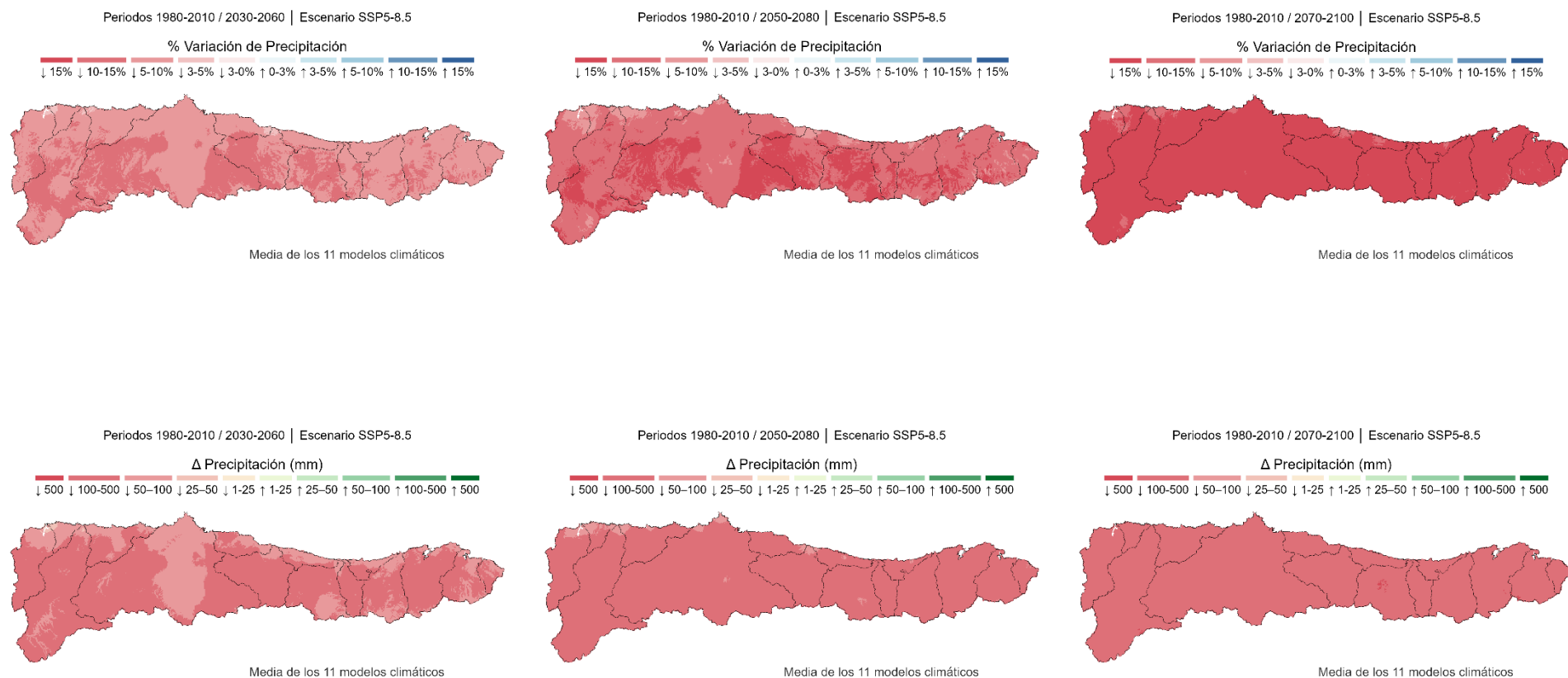


Figura 50. Variación de la precipitación proyectada bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de -116,7 mm (-9,34%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -170,4 mm (-13,63%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -266,4 mm (-21,31%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.11 Evapotranspiración potencial – escenario intermedio (SSP2-4.5)

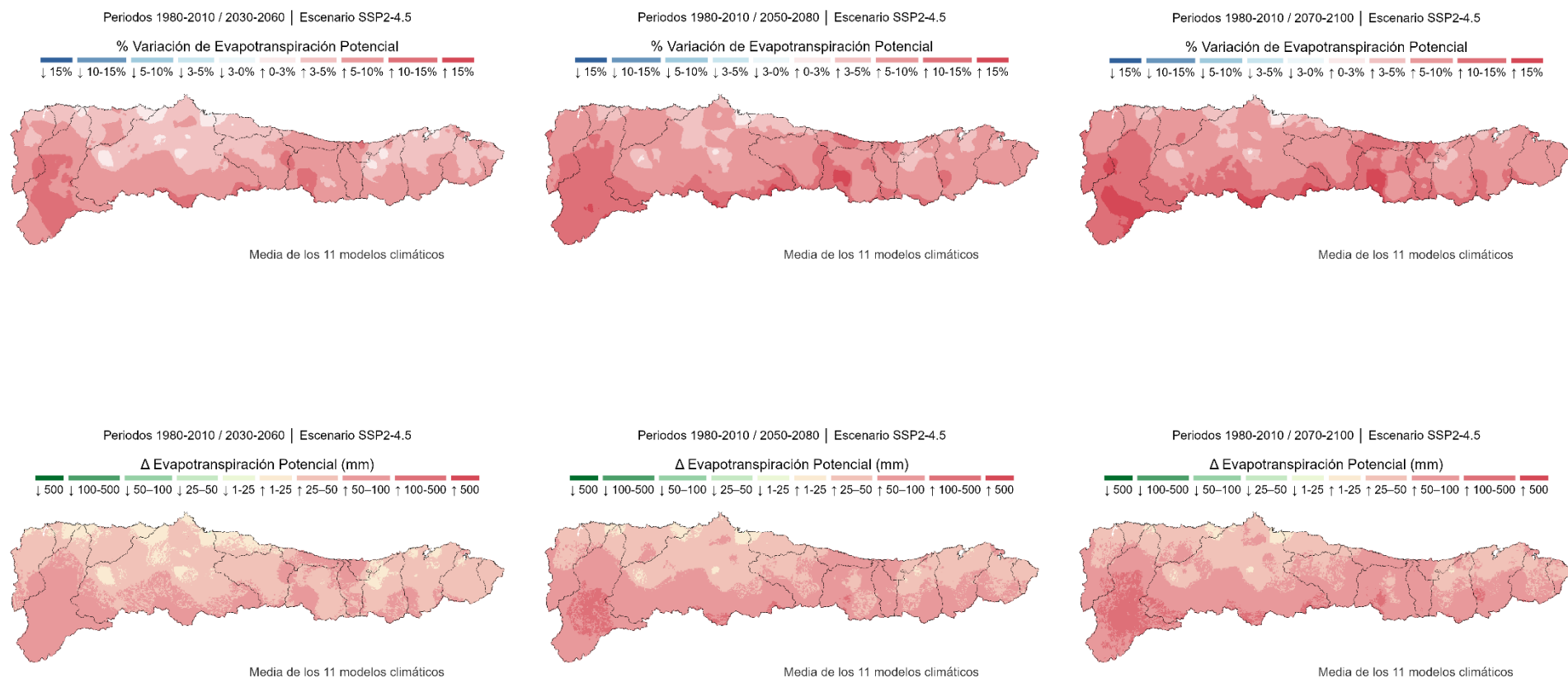


Figura 51. Variación de la evapotranspiración potencial proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de 44,0 mm o 766,01 hm³ (6,30%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), 56,5 mm o 984,54 hm³ (8,10%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y 63,2 mm o 1.101,64 hm³ (9,07%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

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

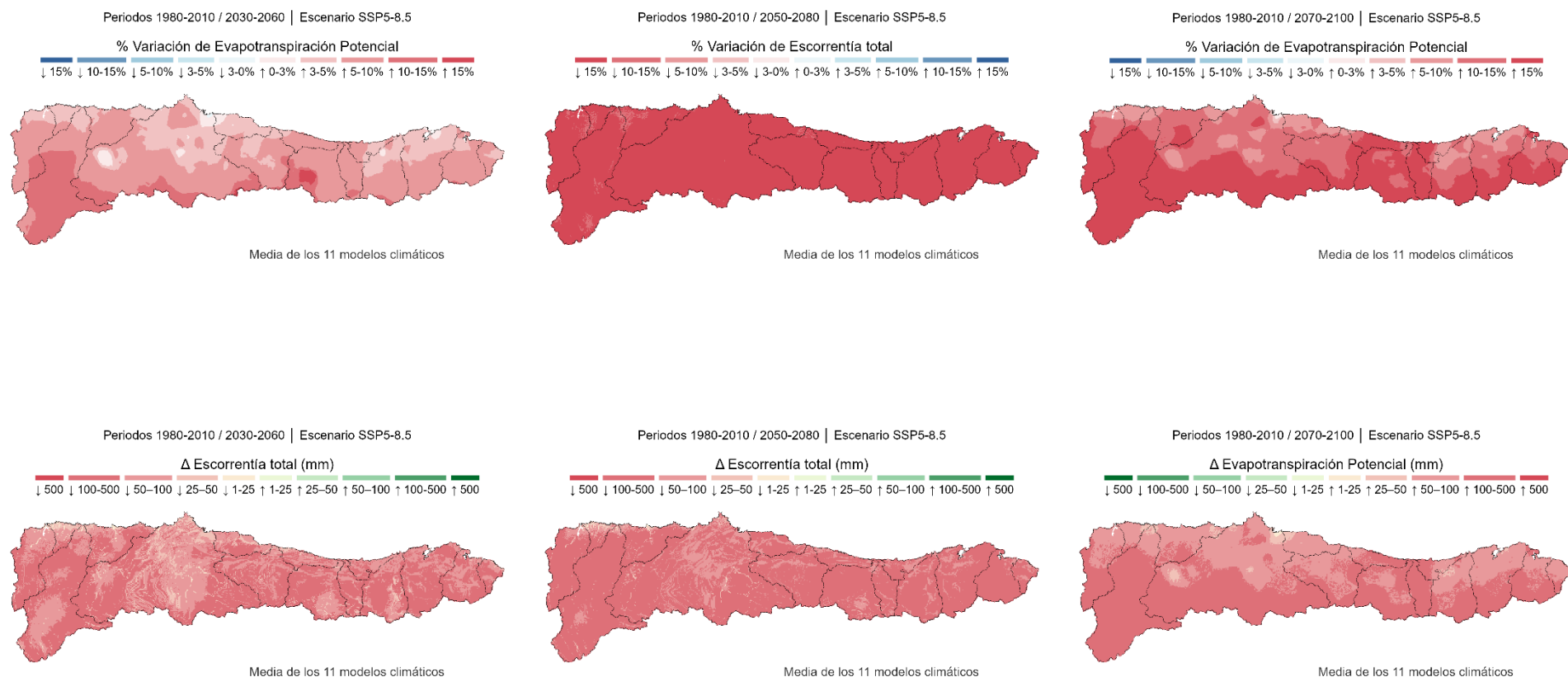


Figura 52. Variación de la evapotranspiración potencial proyectada bajo el escenario pesimista de emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de 49,8 mm o 867,72 hm³ (7,14%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), 77,4 mm o 1.349,21 hm³ (11,10%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y 117,2 mm o 2.041,39 hm³ (16,80%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.13 Infiltración – escenario intermedio (SSP2-4.5)

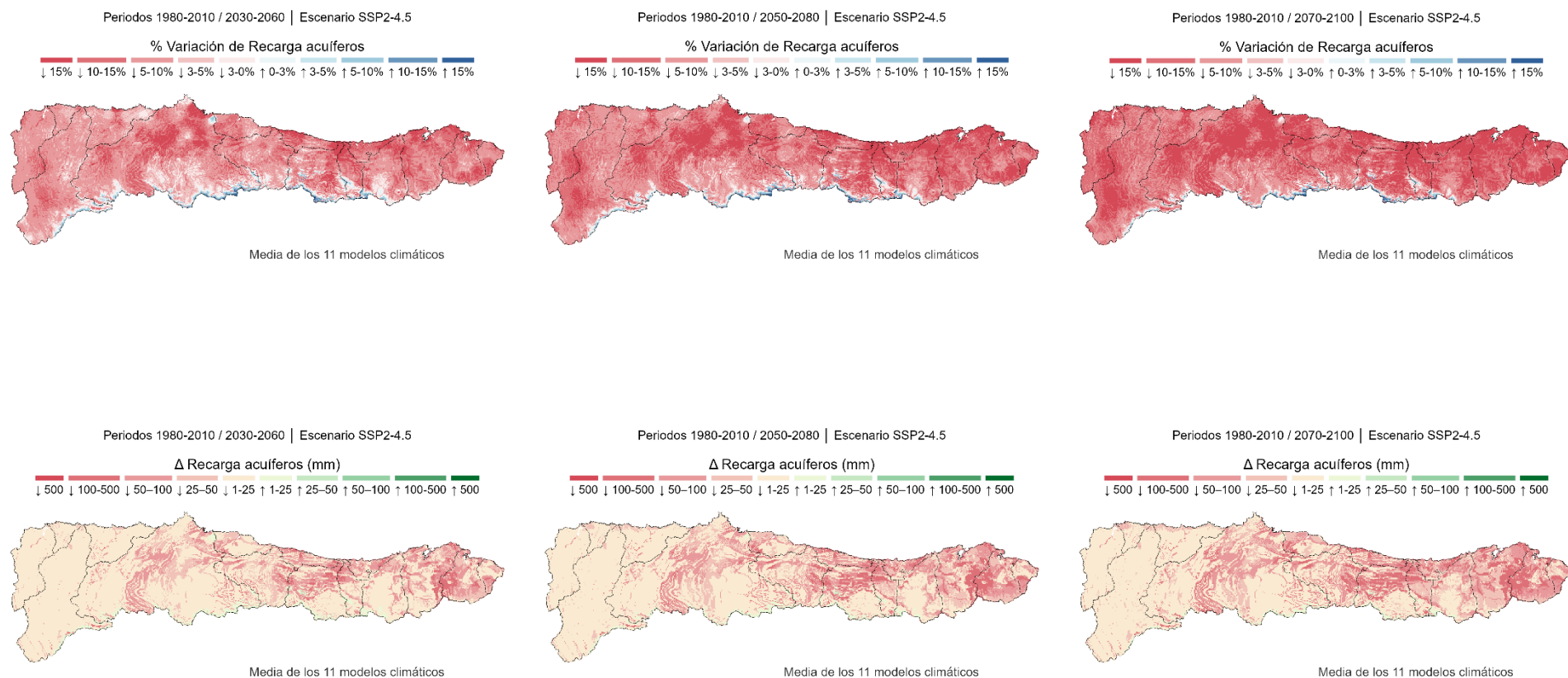


Figura 53. Variación de la infiltración proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de -22,8 mm o -398,02 hm³ (-9,83%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -29,3 mm o -510,62 hm³ (-12,61%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -34,8 mm o -605,92 hm³ (-14,97%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

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

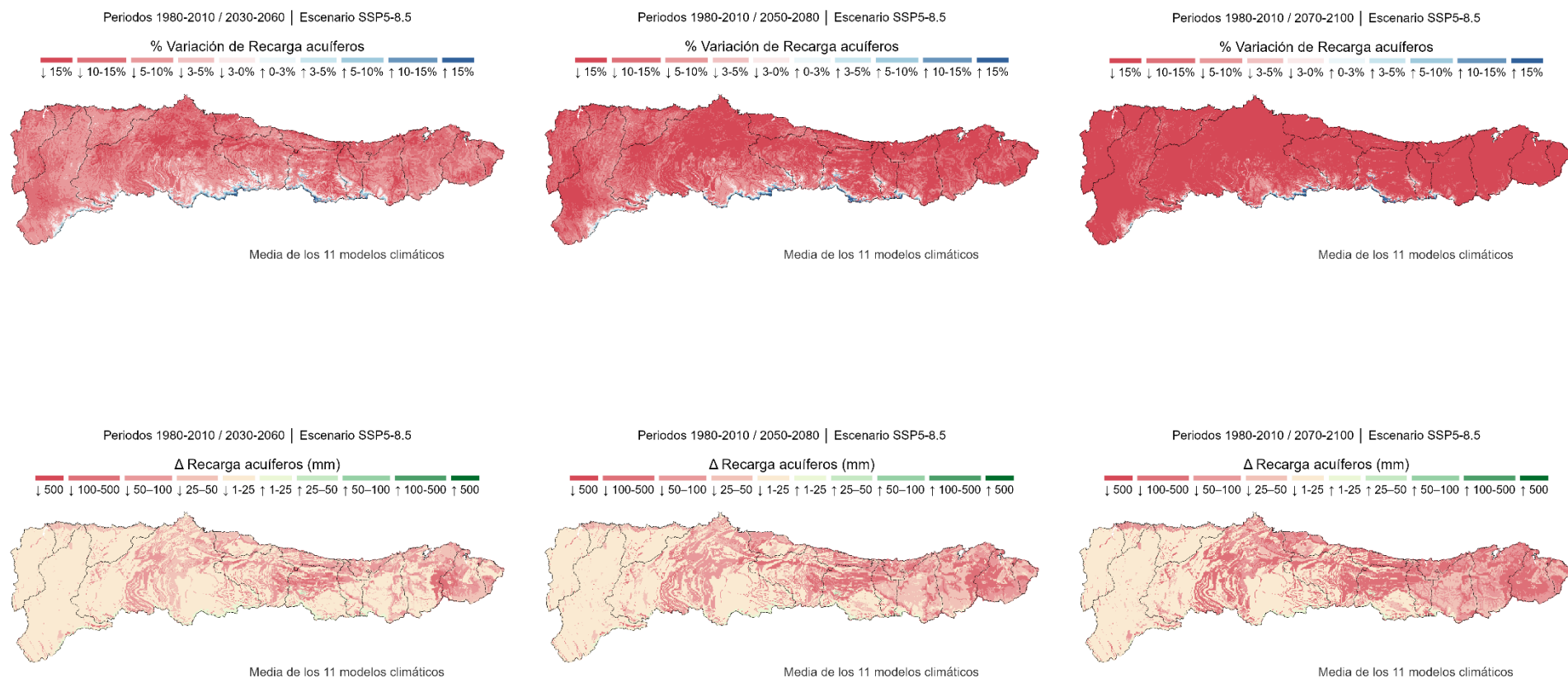


Figura 54. Variación de la infiltración proyectada bajo el escenario pesimista de emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de -26,3 mm o -457,55 hm³ (-11,30%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -38,7 mm o -673,76 hm³ (-16,65%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -60,7 mm o -1.057,93 hm³ (-26,14%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.15 Régimen nival – escenario intermedio (SSP2-4.5)

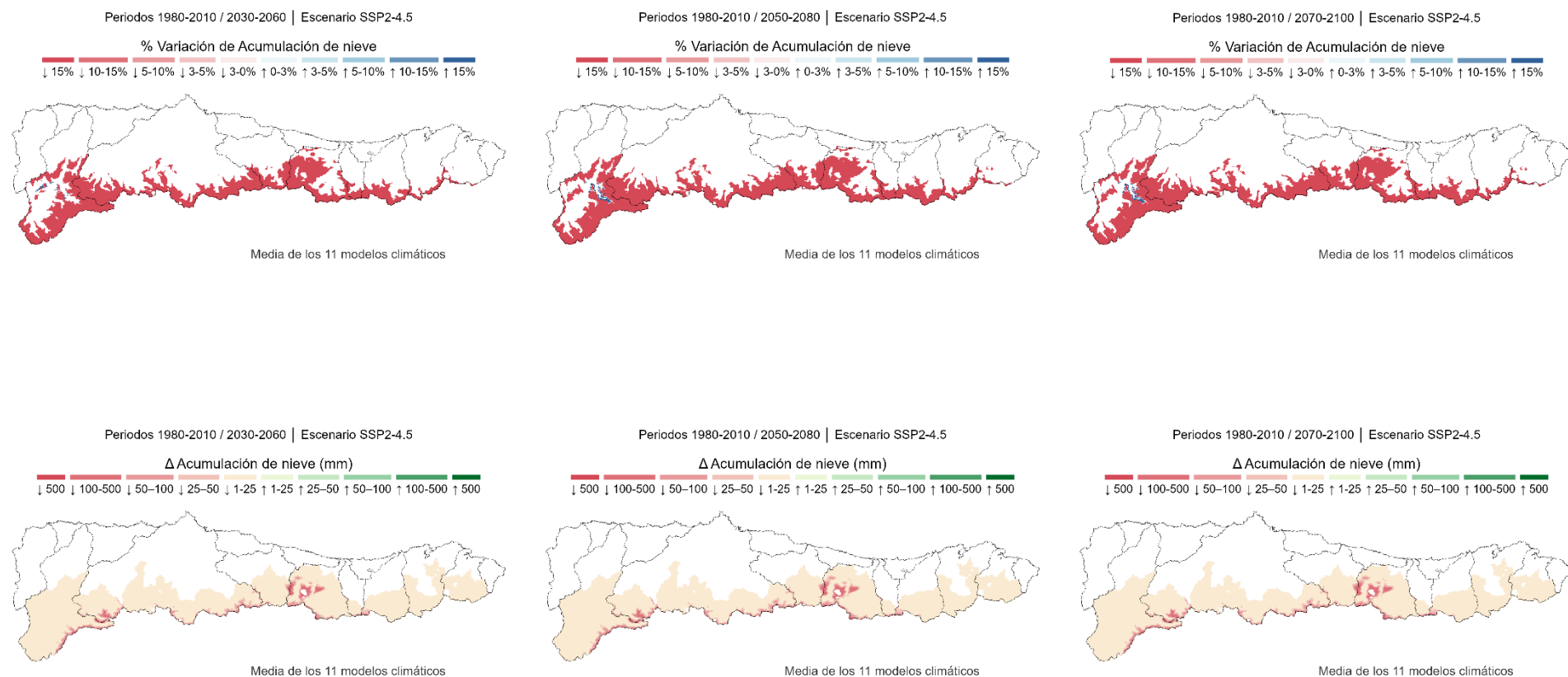


Figura 55. Variación del volumen de nieve almacenado proyectado bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

En cada año hidrológico se ha partido del valor medio mensual de nieve acumulada. La variación media para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de $-56,68 \text{ hm}^3$ (-73,17%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), $-61,23 \text{ hm}^3$ (-79,04%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y $-61,81 \text{ hm}^3$ (-79,78%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

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

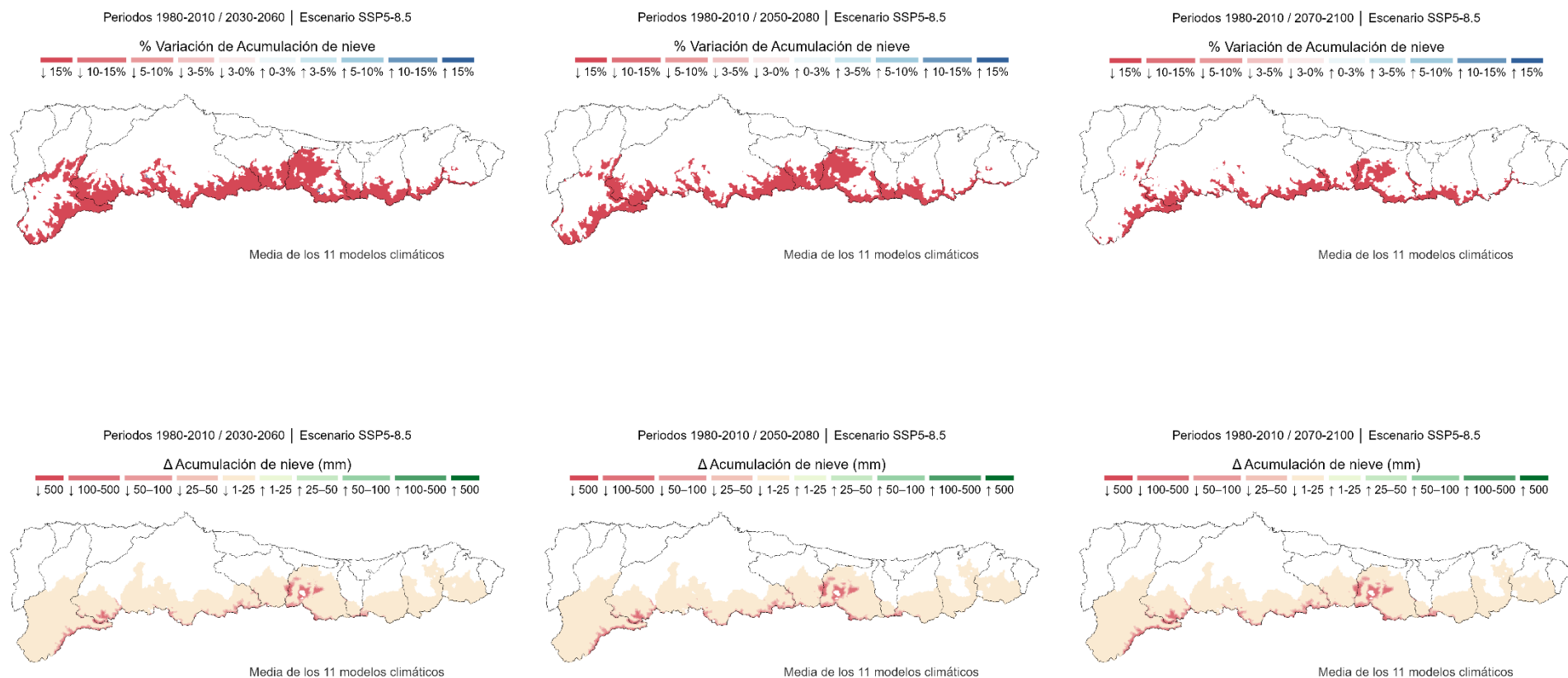


Figura 56. Variación del volumen de nieve almacenado proyectado bajo el escenario pesimista de emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

En cada año hidrológico se ha partido del valor medio mensual de nieve acumulada. La variación media para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de -58,57 hm³ (-75,60%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -69,22 hm³ (-89,36%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -75,18 hm³ (-97,05%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.17 Evapotranspiración real – escenario intermedio (SSP2-4.5)

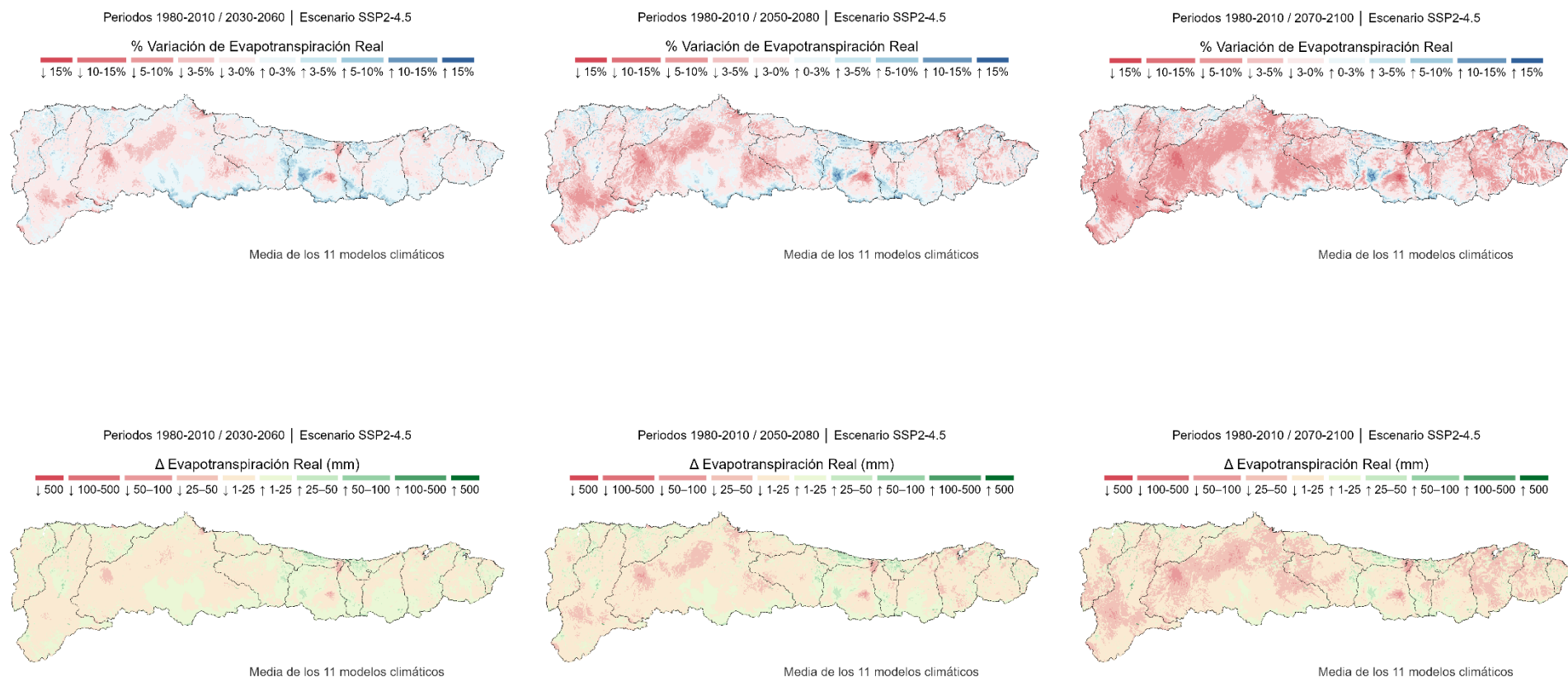


Figura 57. Variación de la evapotranspiración real proyectada bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de -0,6 mm o $-9,97 \text{ hm}^3$ (-0,11%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -6,3 mm o $-109,49 \text{ hm}^3$ (-1,24%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -14,5 mm o $-252,41 \text{ hm}^3$ (-2,85%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100). La reducción de ETR ante incrementos ETP se debe a la menor disponibilidad de recursos.

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

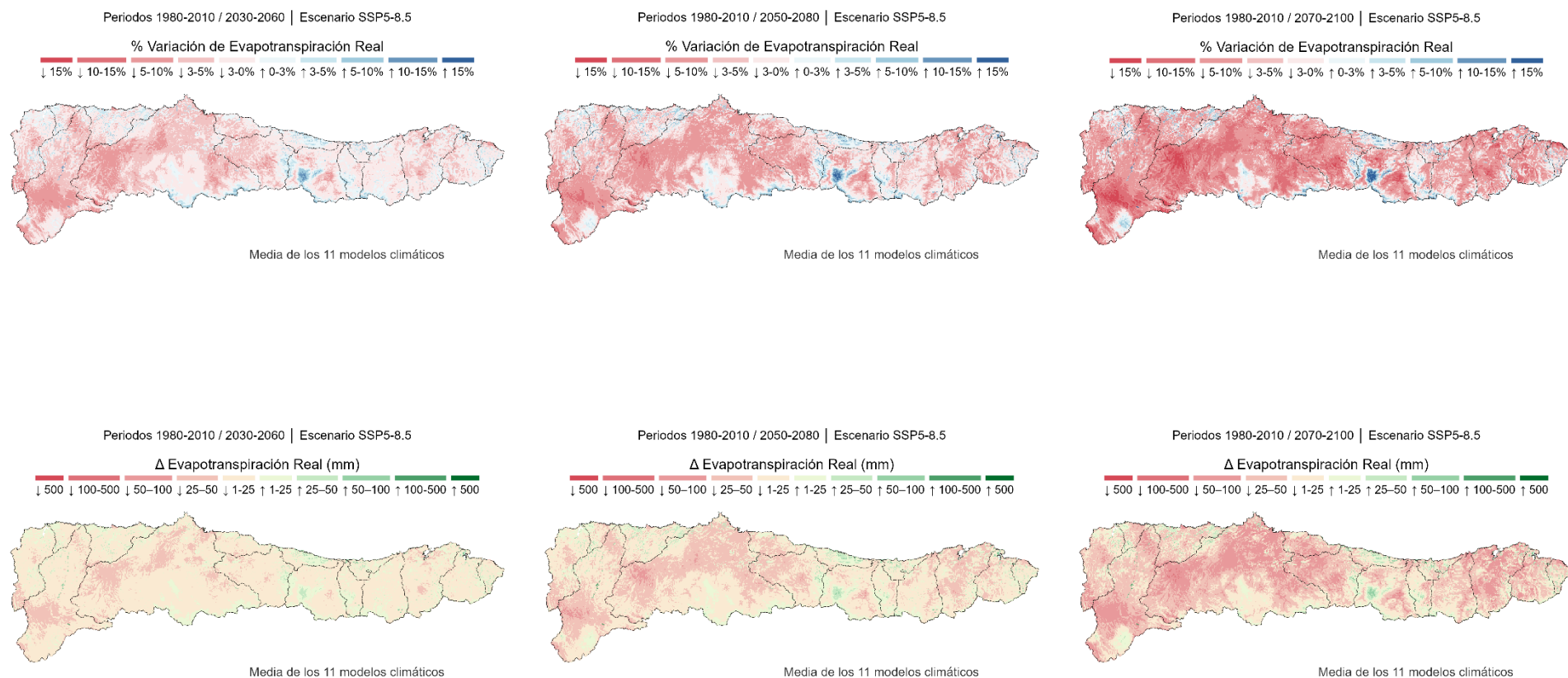


Figura 58. Variación de la evapotranspiración real proyectada bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de -10,2 mm o -177,35 hm³ (-2,00%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), -15,6 mm o -271,54 hm³ (-3,07%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y -29,4 mm o -511,88 hm³ (-5,78%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100). La reducción de ETR ante incrementos ETP se debe a la menor disponibilidad de recursos.

3.19 Aportaciones totales – escenario intermedio (SSP2-4.5)

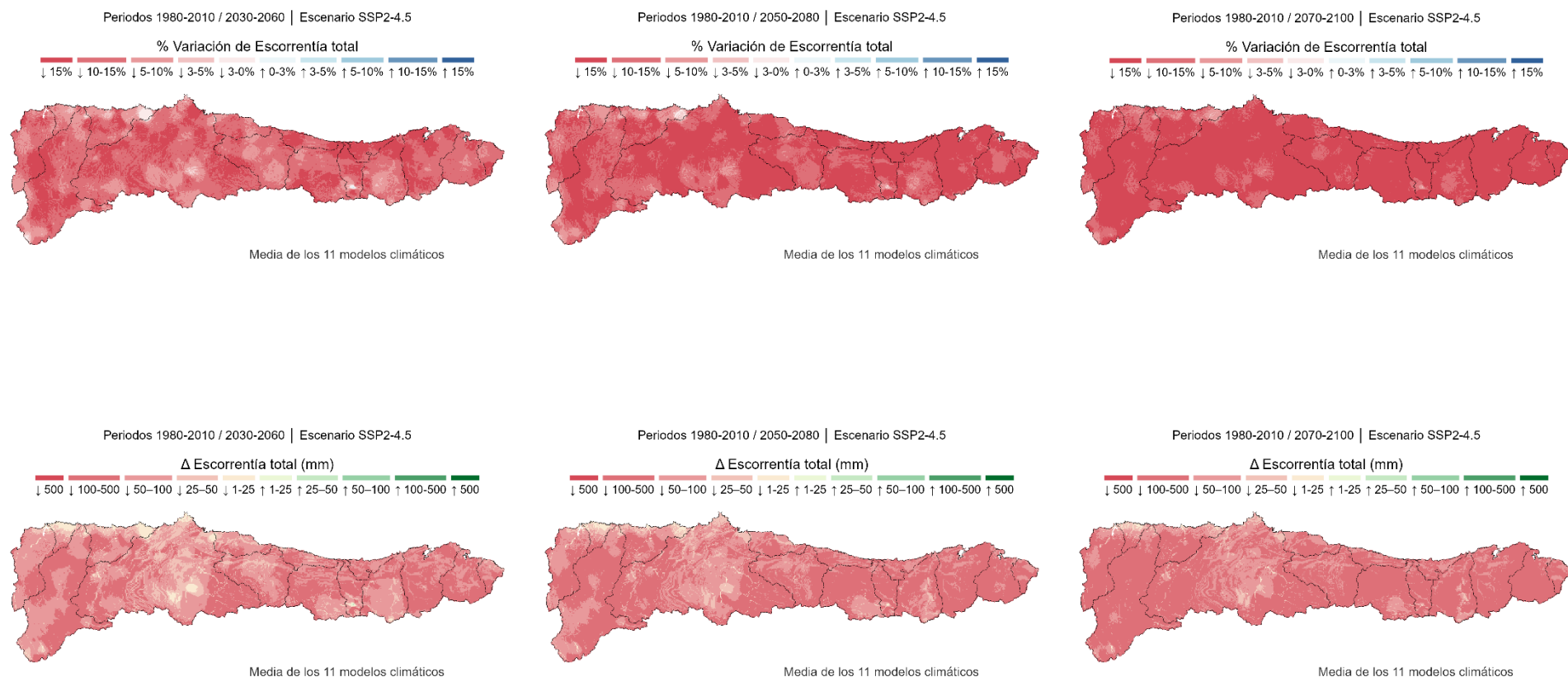


Figura 59. Variación de las aportaciones totales proyectadas bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario intermedio de emisiones, respecto al periodo de referencia es de $-1.661,42 \text{ hm}^3$ (-12,86%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), $-2.036,13 \text{ hm}^3$ (-15,76%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y $-2.377,05 \text{ hm}^3$ (-18,40%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

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

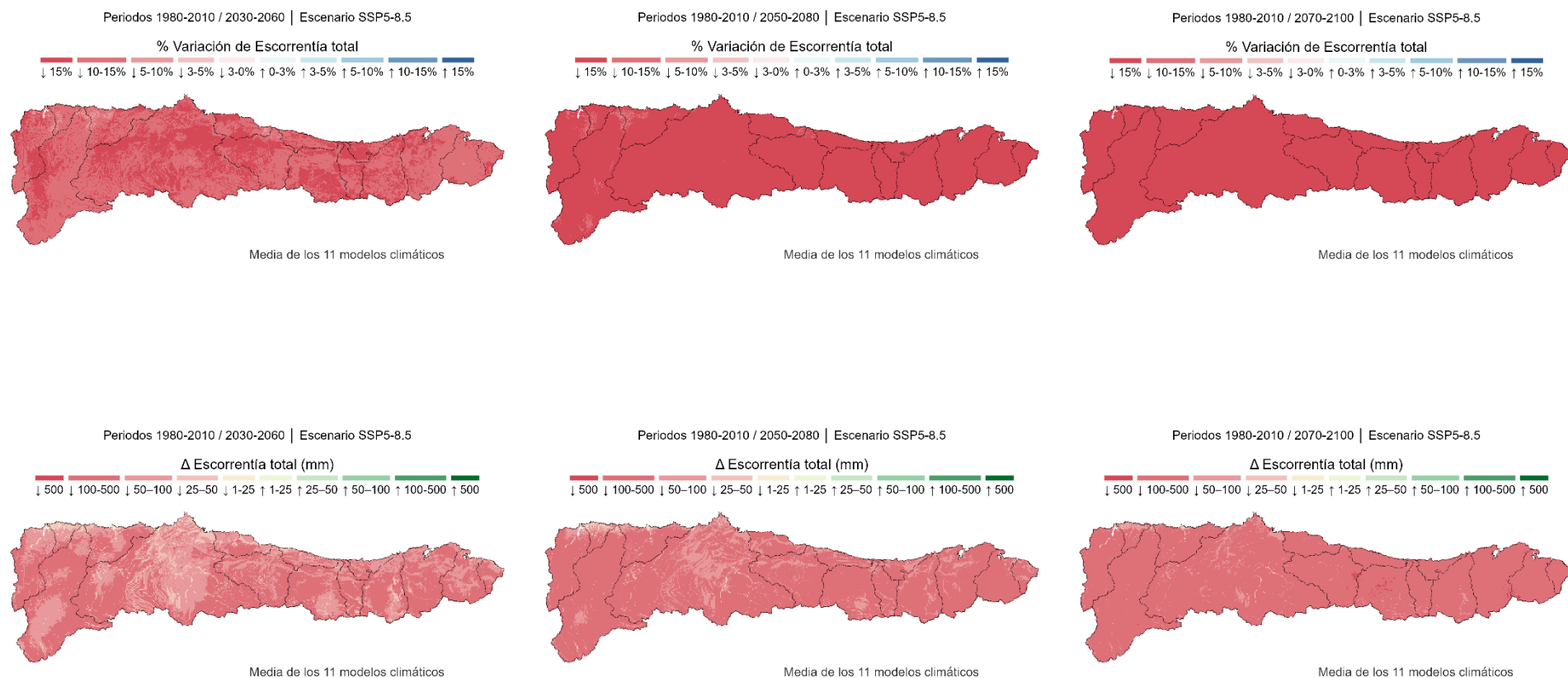


Figura 60. Variación de las aportaciones totales proyectadas bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030-2060, 2050-2080 Y 2070-2100, en comparación con el periodo de control 1980-2010. Fuente: Elaboración propia a partir de información del CEDEX, 2025.

La variación media para el escenario de altas emisiones, respecto al periodo de referencia es de $-1.843,67 \text{ hm}^3$ (-14,27%) en el futuro cercano (horizonte 2030-2060), $-2.689,60 \text{ hm}^3$ (-20,82%) en el futuro medio (horizonte 2050-2080) y $-4.120,55 \text{ hm}^3$ (-30,90%) en el futuro lejano (horizonte 2070-2100).

3.21 Incertidumbres sobre la evolución futura de los máximos de precipitación¹

La evidencia científica disponible para las regiones atlánticas del norte de la Península Ibérica indica que la evolución futura de los extremos de precipitación presenta un grado significativo de incertidumbre, sin que exista una señal robusta y homogénea en los máximos diarios. A diferencia del ámbito mediterráneo, donde los episodios convectivos intensos dominan los extremos, en las cuencas cantábricas las precipitaciones máximas se asocian principalmente al paso de sistemas frontales atlánticos y a procesos de intensificación orográfica ligados a la interacción entre flujos húmedos oceánicos y el relieve montañoso.

Las proyecciones climáticas derivadas de modelos globales y regionales (CMIP6² y EURO-CORDEX³) muestran resultados divergentes según el método de regionalización y corrección de sesgos empleado. Algunos conjuntos de simulaciones apuntan a ligeras reducciones o estabilidad en los máximos diarios, asociadas a una posible disminución en la frecuencia de situaciones sinópticas favorables a precipitaciones persistentes, mientras que otros sugieren incrementos locales vinculados a una mayor disponibilidad de humedad atmosférica en un clima más cálido. Estas discrepancias reflejan la dificultad de reproducir adecuadamente los cambios en la circulación atmosférica del Atlántico Norte y su traslación a escala regional, especialmente en áreas donde el relieve desempeña un papel determinante en la generación de precipitaciones intensas.

Asimismo, la respuesta futura de los episodios de precipitación extrema depende en gran medida de modificaciones en la trayectoria y frecuencia de borrascas atlánticas, así como de cambios en los denominados ríos atmosféricos, cuya representación presenta todavía limitaciones en los modelos climáticos actuales. La interacción entre estos sistemas de gran escala y procesos locales de realce orográfico introduce una elevada variabilidad espacial, contribuyendo a la falta de consenso entre metodologías y constituyendo, en sí misma, un indicador del nivel de incertidumbre asociado a las proyecciones de extremos de precipitación, tal como recoge el IPCC AR6 y su Atlas Interactivo.

Por otra parte, las observaciones disponibles en regiones atlánticas europeas muestran indicios de intensificación de episodios de precipitación intensa vinculados al incremento del contenido de vapor de agua atmosférico conforme al calentamiento global, en coherencia con la relación termodinámica de Clausius-Clapeyron. No obstante, esta señal tiende a manifestarse principalmente mediante aumentos en la intensidad horaria o subdiaria y en la persistencia de episodios húmedos, más que en incrementos sistemáticos de los máximos diarios. Los resultados más recientes obtenidos mediante modelos climáticos regionales de alta resolución (CPRCM), capaces de representar con mayor detalle los procesos mesoscale y orográficos, apuntan a una posible intensificación de eventos de precipitación intensa de corta duración, coexistiendo con una elevada dispersión en la evolución de los máximos diarios.

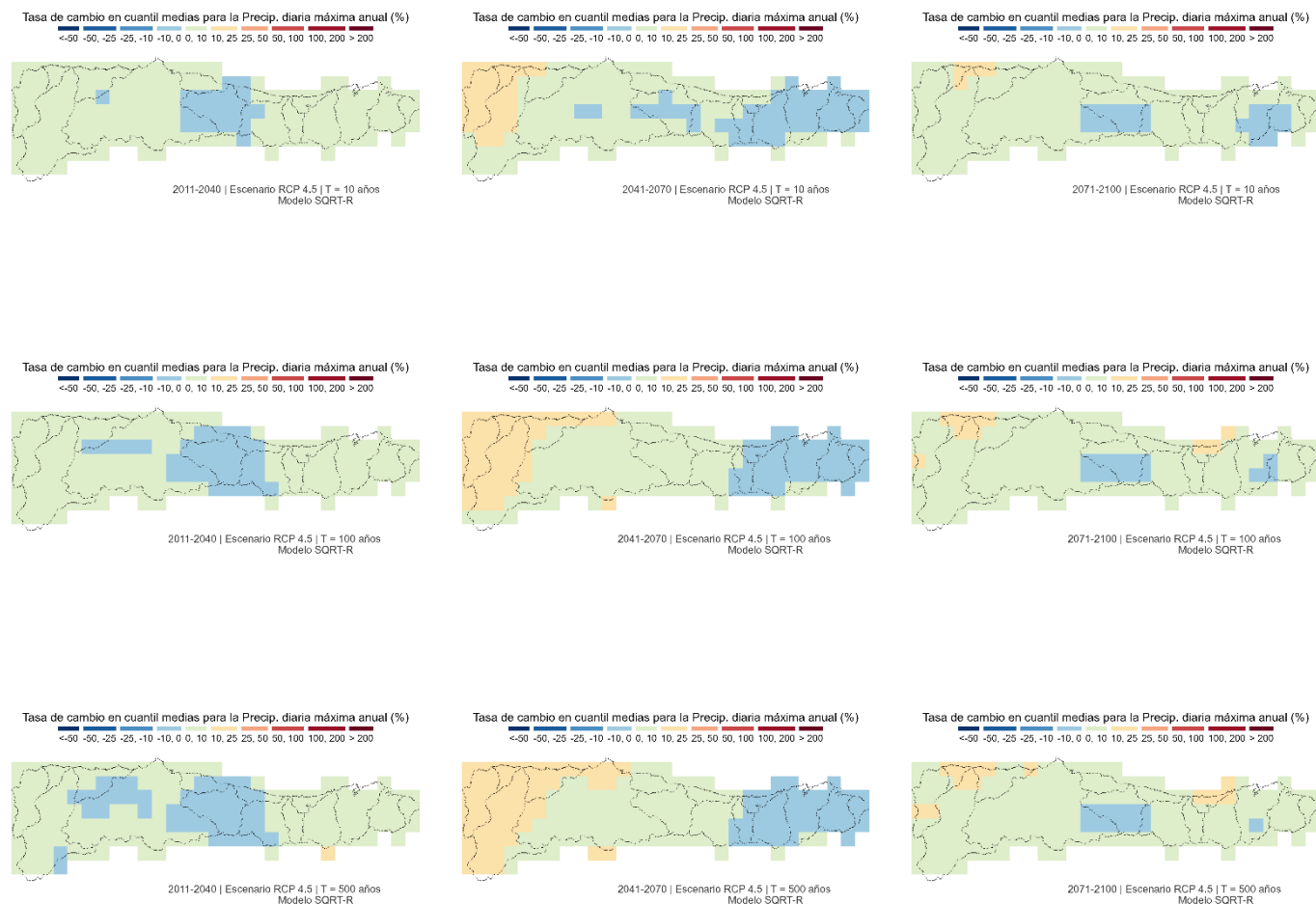
A la espera de que fructifiquen estas iniciativas, el presente EACC muestra, con carácter informativo y comparativo, las proyecciones disponibles: tasas de cambio en cuantil media del CEDEX ([Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España: 2021, 2022, 2024](#)) para escenario intermedio y de altas emisiones (secciones 3.22, 3.23) y de la lluvia máxima acumulada en la red fluvial (sección 3.24), así como las precipitaciones máximas en 24 horas de AdapteCCa (secciones 3.25 y 3.26). 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 CMIP6 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.

3.22 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 61 y la Figura 62, que representan los periodos de retorno 10, 100 y 500.

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 61. 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.

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

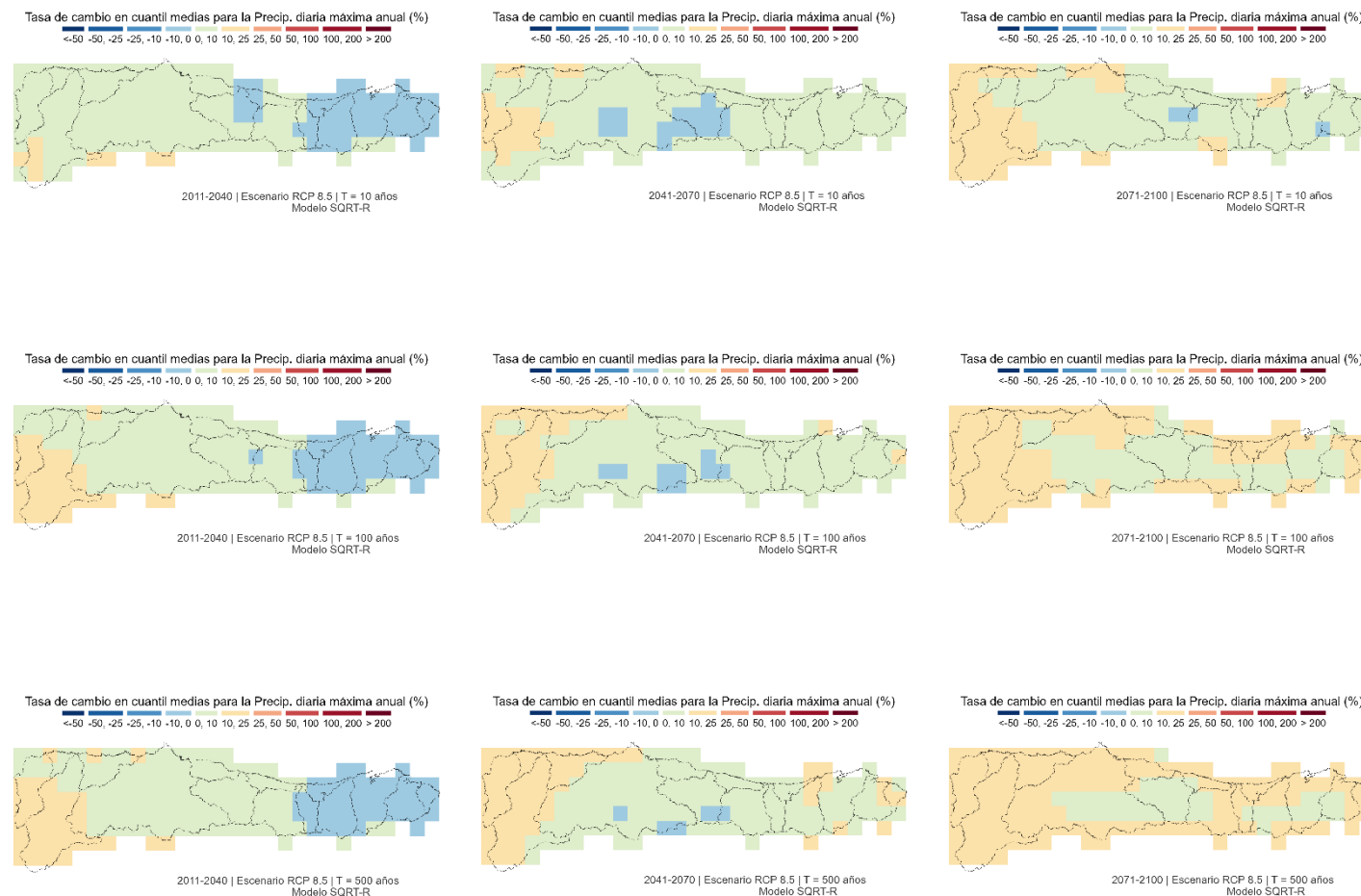


Figura 62. Tasa de cambio de la precipitación diaria máxima anual proyectada bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5) (RCP 8.5) para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, y para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, calculada respecto al periodo de control (1971-2000). 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).

3.24 Precipitación máxima acumulada en la red fluvial

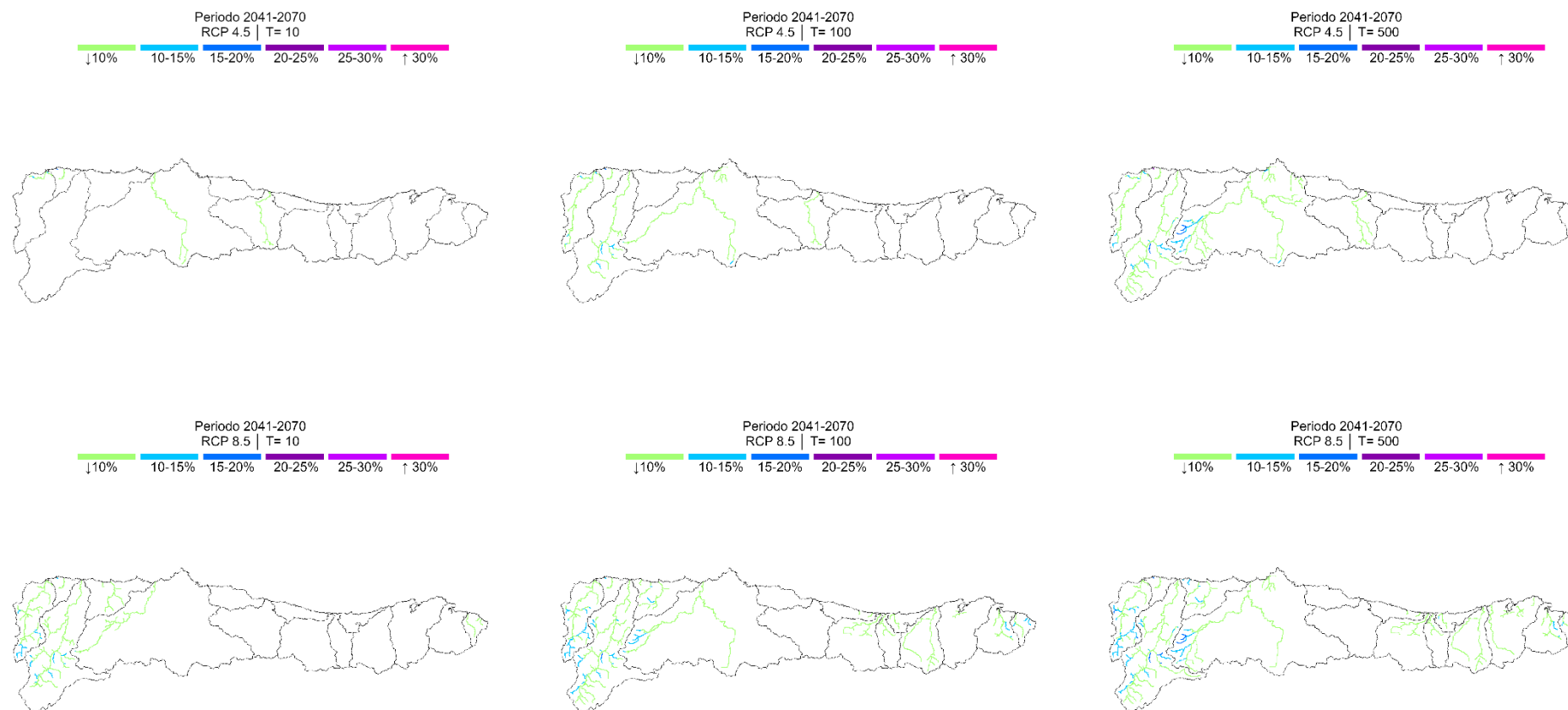


Figura 63. Tasa de cambio de la precipitación máxima acumulada en la red fluvial proyectada bajo los escenarios medio (RCP 4.5) y pesimista (RCP 8.5) de emisiones para el horizonte temporal 2041-2070, y para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años, calculada respecto al periodo de control (1971-2000). 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 ráster 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)

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

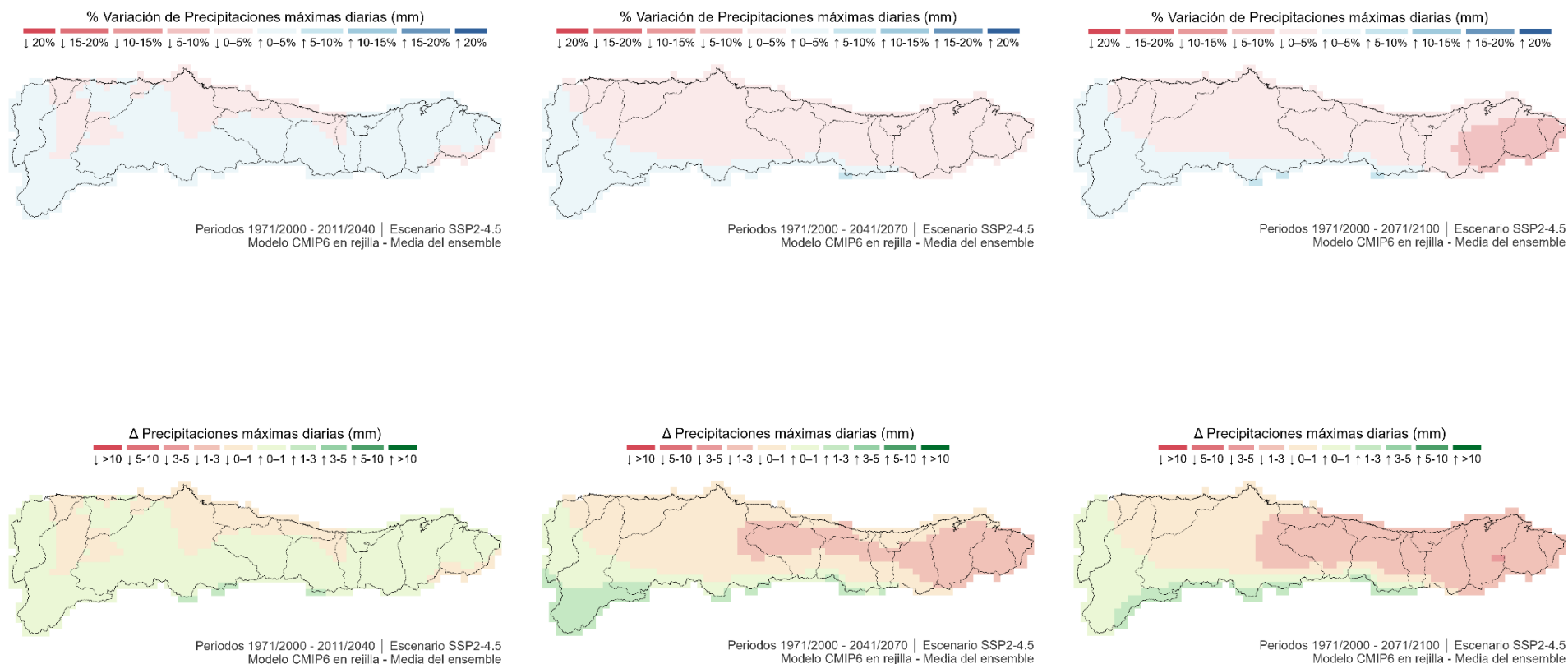


Figura 64. Variación de las precipitaciones máximas diarias proyectadas bajo el escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, en comparación con el periodo de control 1971-2000. Fuente: elaboración propia a partir de información de AdaptecCa

Como se ha anticipado (sección 3.21), las señales de cambio son moderadas y poco claras. El incremento de la precipitación máxima diaria en zonas montañosas se asocia a la intensificación de los procesos orográficos bajo una atmósfera más cálida y húmeda, mientras que su disminución en el litoral, más acusada en el sector oriental de la demarcación, responde a la menor frecuencia y eficacia de los episodios frontales intensos.

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

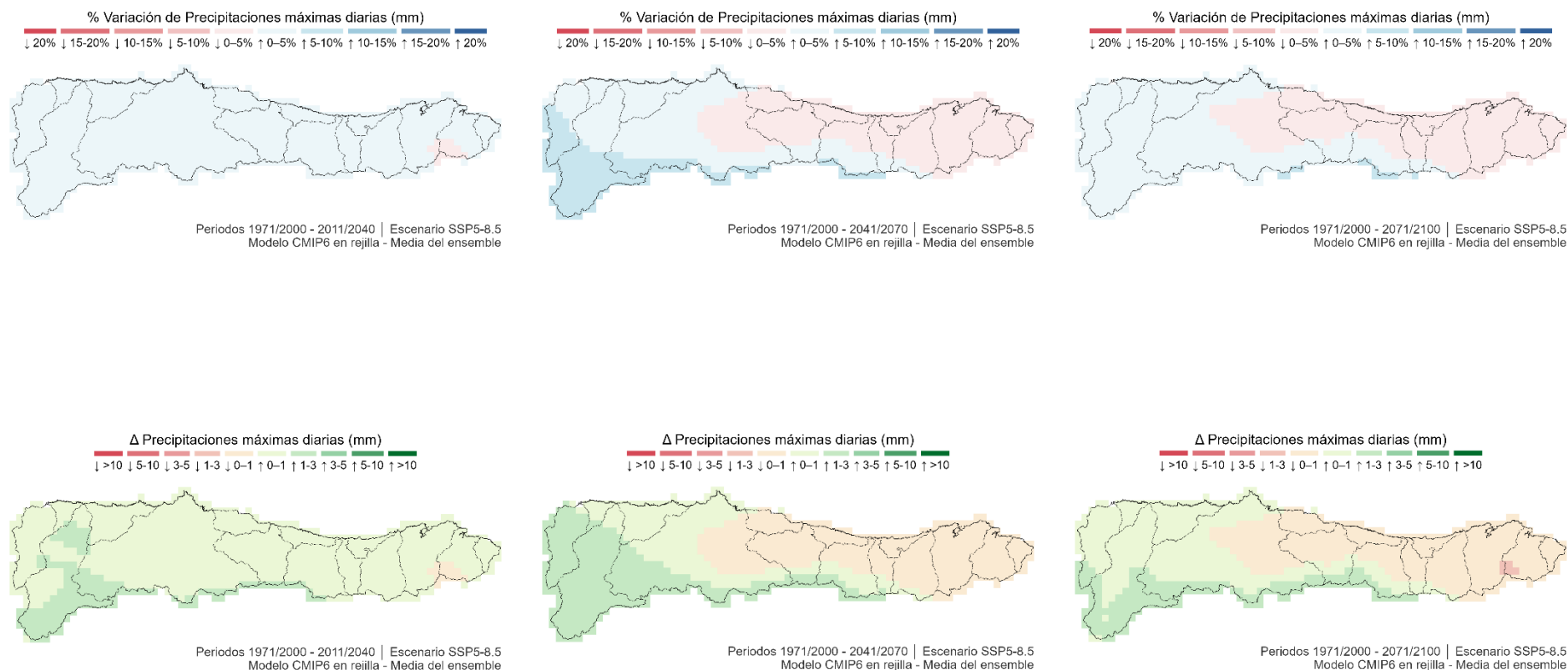


Figura 65. Variación de las precipitaciones máximas diarias proyectadas bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, en comparación con el periodo de control 1971-2000. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Adaptecca.

En el escenario de altas emisiones, las variaciones de precipitación máxima tienden a extenderse e intensificarse moderadamente, pero se mantienen moderadas. En escenarios de altas emisiones, la pauta espacial de la precipitación máxima diaria se mantiene, aunque con menor contraste, debido a una mayor estabilidad atmosférica que limita la frecuencia de episodios intensos pese al aumento del contenido de vapor de agua.

3.27 Cambio en la frecuencia y magnitud de las sequías

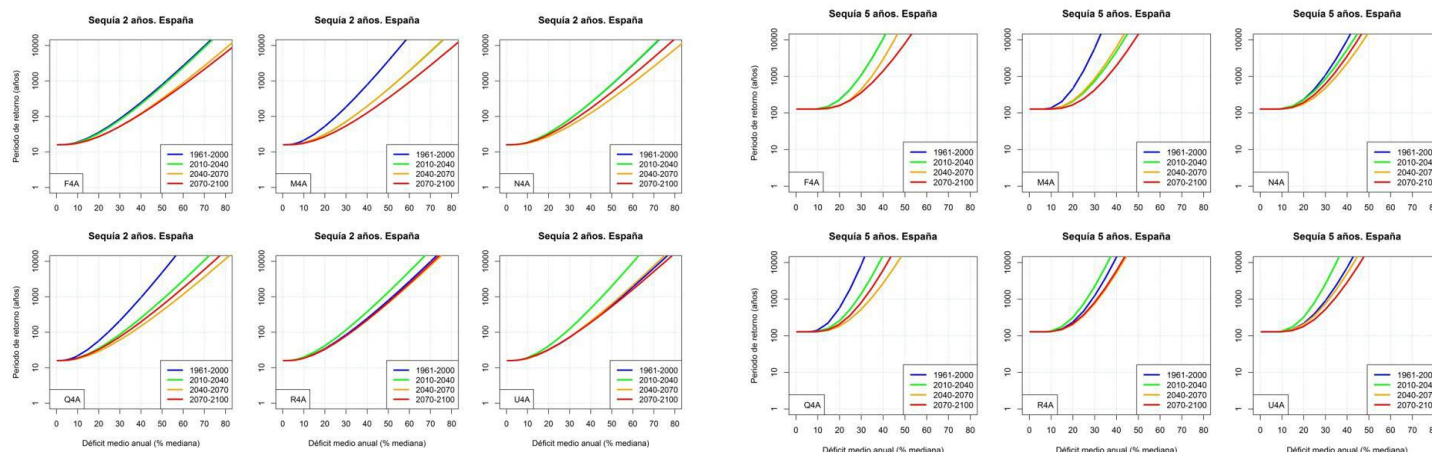


Figura 66. Periodo de retorno de sequías en España para diferentes déficits medios anuales y duración 2 años (izquierda) y 5 años (derecha) para el periodo de control (1961-2000) y tres periodos futuros (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100) con el escenario climático intermedio (RCP 4.5)

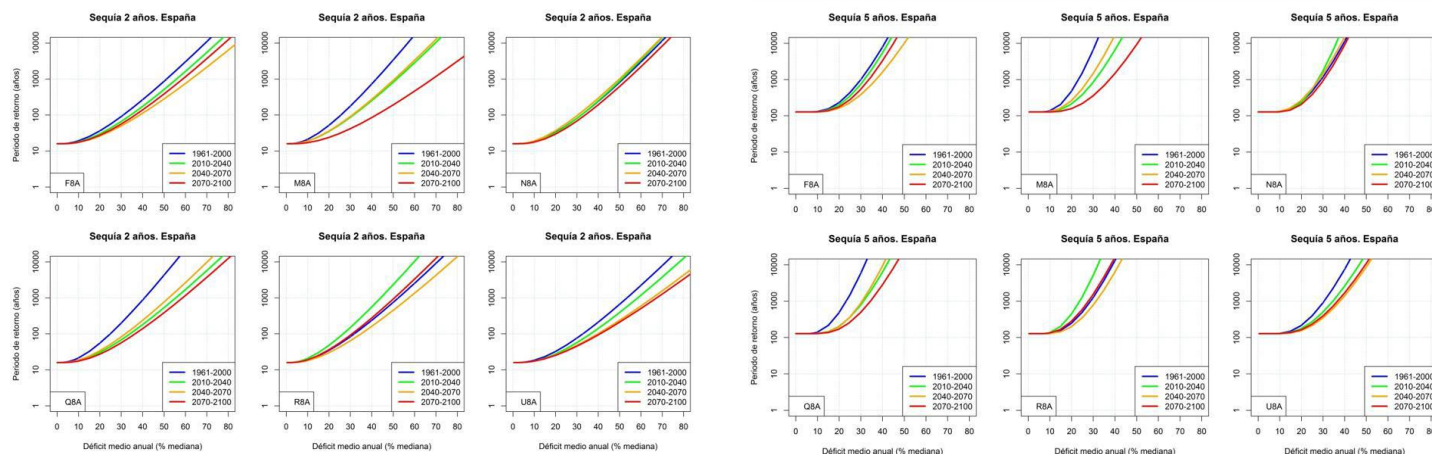


Figura 67. Periodo de retorno de sequías en España para diferentes déficits medios anuales y duración 2 años (izquierda) y 5 años (derecha) para el periodo de control (1961-2000) y tres periodos futuros (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100) con el escenario climático de altas emisiones (RCP 8.5)

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.

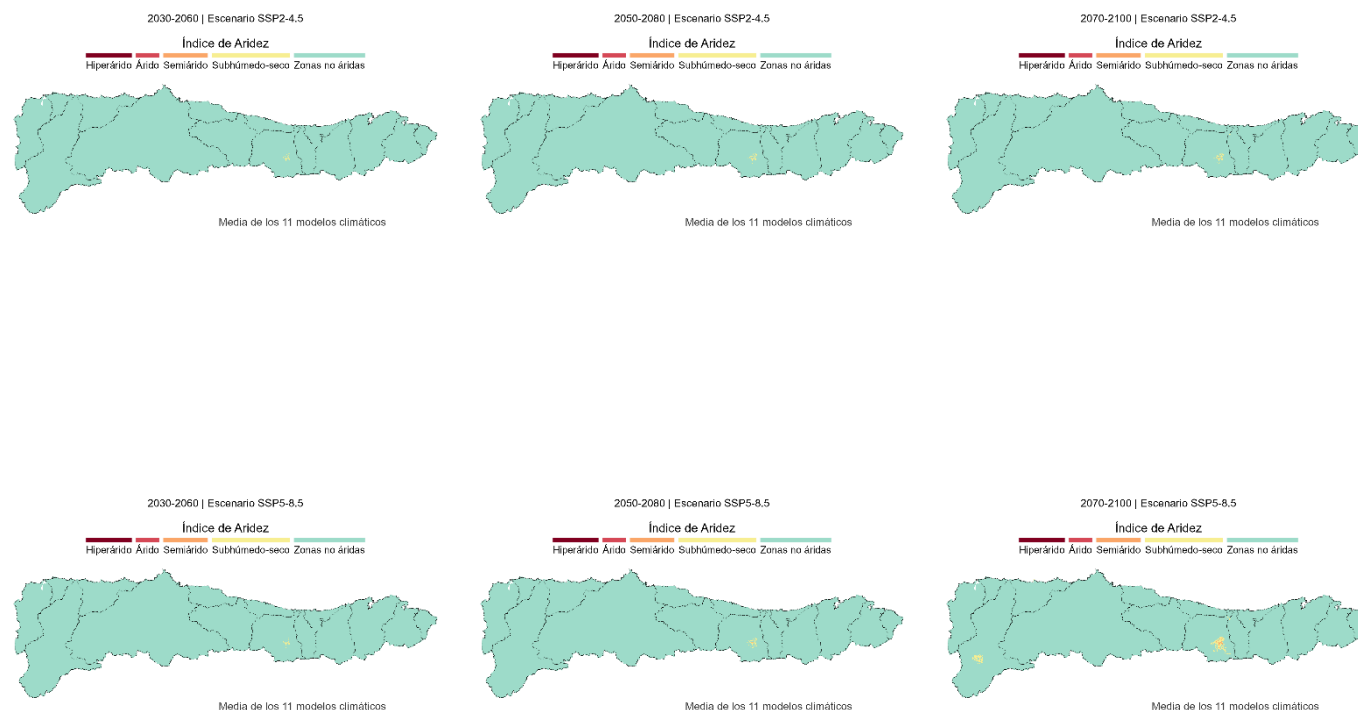
El informe «[Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España](#)» (CEDEX 2017) evalúa el cambio en el régimen de sequías a partir de series de escorrentía en régimen natural simuladas con el modelo hidrológico SIMPA, forzado por un conjunto de proyecciones climáticas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

3.28 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 lo normal) 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, los caudales “base” y la escorrentía, 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 generar más 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 68. Variación del índice de aridez para diversos horizontes temporales y escenarios climáticos. Fuente: elaboración propia a partir de proyecciones SIMPA (CEDEX)

En la DHCOc los índices de aridez no reflejan un cambio en los diferentes escenarios en ningún horizonte, manteniéndose sin aridez en toda la región salvo en dos zonas localizadas. En la comarca de Potes, el efecto barrera de los Picos de Europa, que ya reduce la influencia marítima en la actualidad, se intensifica en escenarios futuros y favorece la transición hacia climas más secos mientras que en el valle del Navia, la transición hacia condiciones más secas responde a una combinación de interiorización climática, reducción de la precipitación persistente y aumento de la evapotranspiración, sin necesidad de una barrera orográfica marcada.

3.29 Ascenso del nivel del mar

El ascenso del nivel del mar (ANMM) constituye una amenaza climática primaria de origen oceánico para las zonas costeras españolas. Este fenómeno se debe al calentamiento del agua oceánica, que provoca su dilatación, y a la adición de volumen proveniente del deshielo de glaciares y capas de hielo (mecanismo físico: aumento progresivo de la temperatura oceánica y pérdida de masa de criosfera). El ascenso del nivel del mar, a menudo combinado con temporales costeros, es un peligro clave que impulsa varios riesgos relevantes para la planificación hidrológica: (i) pérdida permanente de superficie emergida en la costa por inundación y erosión (tratado específicamente en la [sección 5.5](#)); (ii) intrusión salina en acuíferos costeros, que afecta la calidad de los recursos hídricos subterráneos; y (iii) alteración de las variables fisicoquímicas costeras como salinidad y pH, impactando a los ecosistemas marinos y costeros.

La evaluación y gestión del riesgo costero en España se aborda en el marco de los PGRI mediante un proceso sistemático que combina los escenarios climáticos y modelización hidrodinámica ([sección 6.26](#)). En el marco de la [estrategia de adaptación al cambio climático en la costa](#) se han desarrollado proyecciones regionales de variables marinas. Además del ANMM se proyectaron el oleaje, nivel del mar asociado a la marea meteorológica y la temperatura superficial del mar. Los resultados están albergados en el [visor C3E del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria](#). La presenta las modelaciones disponibles del ANMM: valor medio (1985-2005) y para las proyecciones de futuro medio (2026-2045) y lejano (2081-2100), tanto para el RCP-4.5 como para el RCP-8.5 (escenarios del IPCC AR5).

Los mapas muestran un aumento generalizado en todos los horizontes temporales, intensificándose significativamente en el horizonte lejano. En la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental, el ascenso del nivel del mar constituye un factor de riesgo relevante, especialmente en sectores con amplias marismas y llanuras intermareales, como el entorno del estuario del Asón y las marismas de Santoña, donde la inundación puede propagarse progresivamente hacia el interior debido a la baja topografía y a la ausencia de barreras naturales o artificiales significativas. En contraste, en sistemas más confinados o rigidizados, como la bahía de Santander, el aumento del nivel del mar puede mantenerse inicialmente contenido dentro de los límites actuales; no obstante, una vez superadas las cotas de las defensas existentes, el avance de la inundación tierra adentro podría producirse de forma abrupta y con impactos significativos sobre los usos del suelo y las infraestructuras costeras.

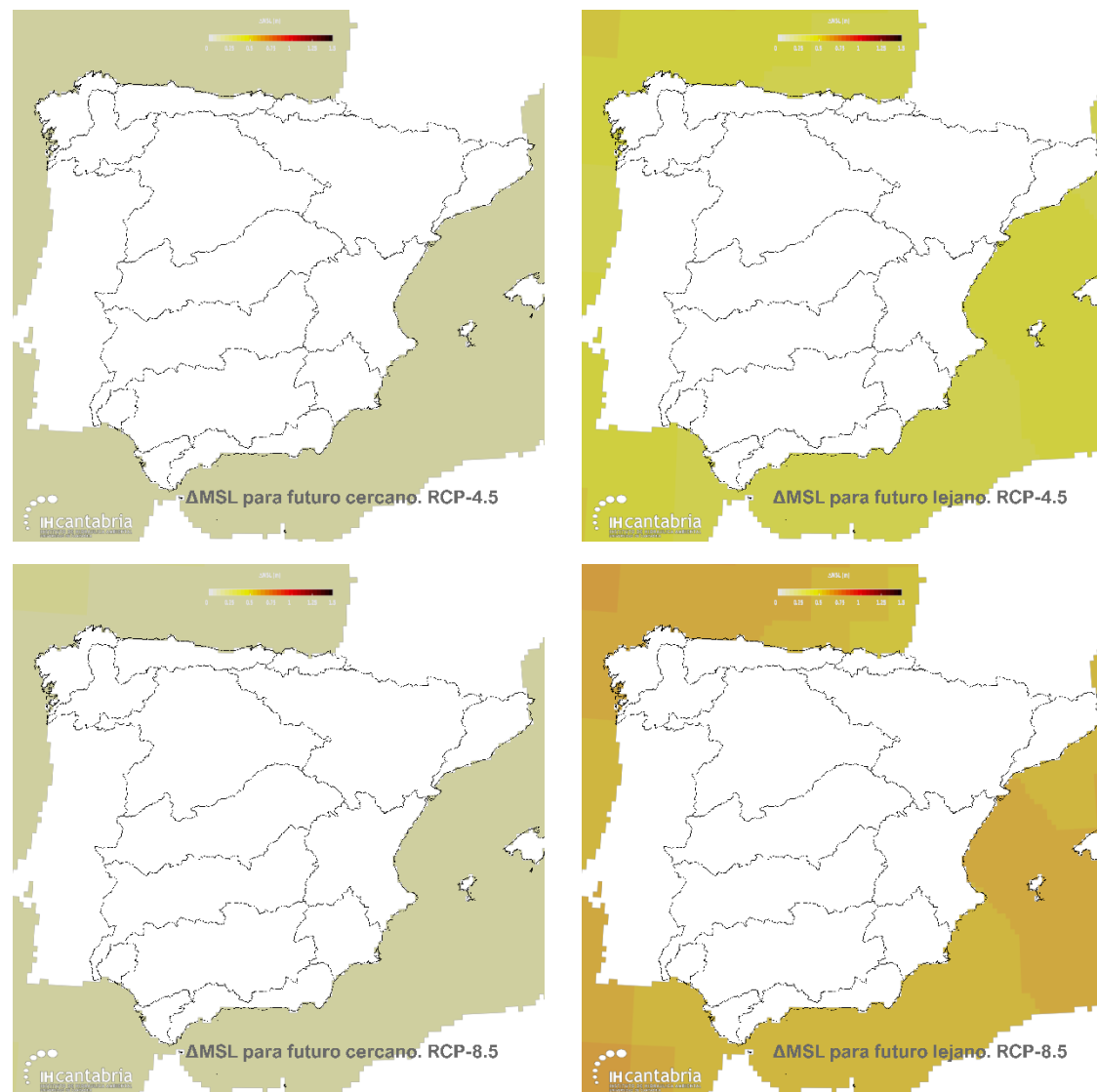


Figura 69. Proyección de ascenso del nivel medio del mar bajo los escenarios RCP-4.5 (arriba) y RCP 8.5 (debajo). Fuente: IH Cantabria

3.30 Temperatura del agua marina

La temperatura del agua marina actúa como vínculo entre el océano (energía y humedad disponible), la atmósfera (inestabilidad y convección) y el litoral (tormentas marinas y niveles extremos).

En condiciones de mar cálido, aumentan los flujos de calor y vapor desde el mar hacia la atmósfera, elevando el contenido de humedad en capas bajas. Esto puede potenciar la convección cuando concurren mecanismos dinámicos, favoreciendo episodios de precipitación intensa en cuencas litorales y transicionales. El calentamiento de la superficie del mar Cantábrico puede contribuir a intensificar episodios de precipitación extrema cuando concurren condiciones atmosféricas favorables, especialmente en combinación con forzamientos frontales y orográficos. (a este respecto, ver también la [sección 3.21](#)).

A su vez, un mar más cálido se combina con el ascenso del nivel medio del mar y con temporales (viento, oleaje y marea meteorológica) para aumentar la peligrosidad de inundación costera y de eventos compuestos –sobreelevación por tormenta más lluvias intensas con escorrentía rápida–, especialmente relevantes en desembocaduras, estuarios y sistemas de drenaje urbano.

En el litoral cantábrico los temporales atlánticos invernales (oleaje/viento) pueden coincidir con pleamares, elevando el nivel alcanzado en costa.

Complementariamente, ERICC sintetiza tendencias observadas recientes y extremos marinos (incluida marea meteorológica y oleaje), y apunta a un calentamiento más rápido del Mediterráneo que del Atlántico.

En cuencas cantábricas, cabe esperar un mar progresivamente más cálido y, por tanto, más capaz de aportar humedad a situaciones frontales/posfrontales, manteniéndose como riesgo dominante la combinación de temporales atlánticos, oleaje y niveles marinos elevados en invierno, con atención especial a estuarios y rías por eventos compuestos.

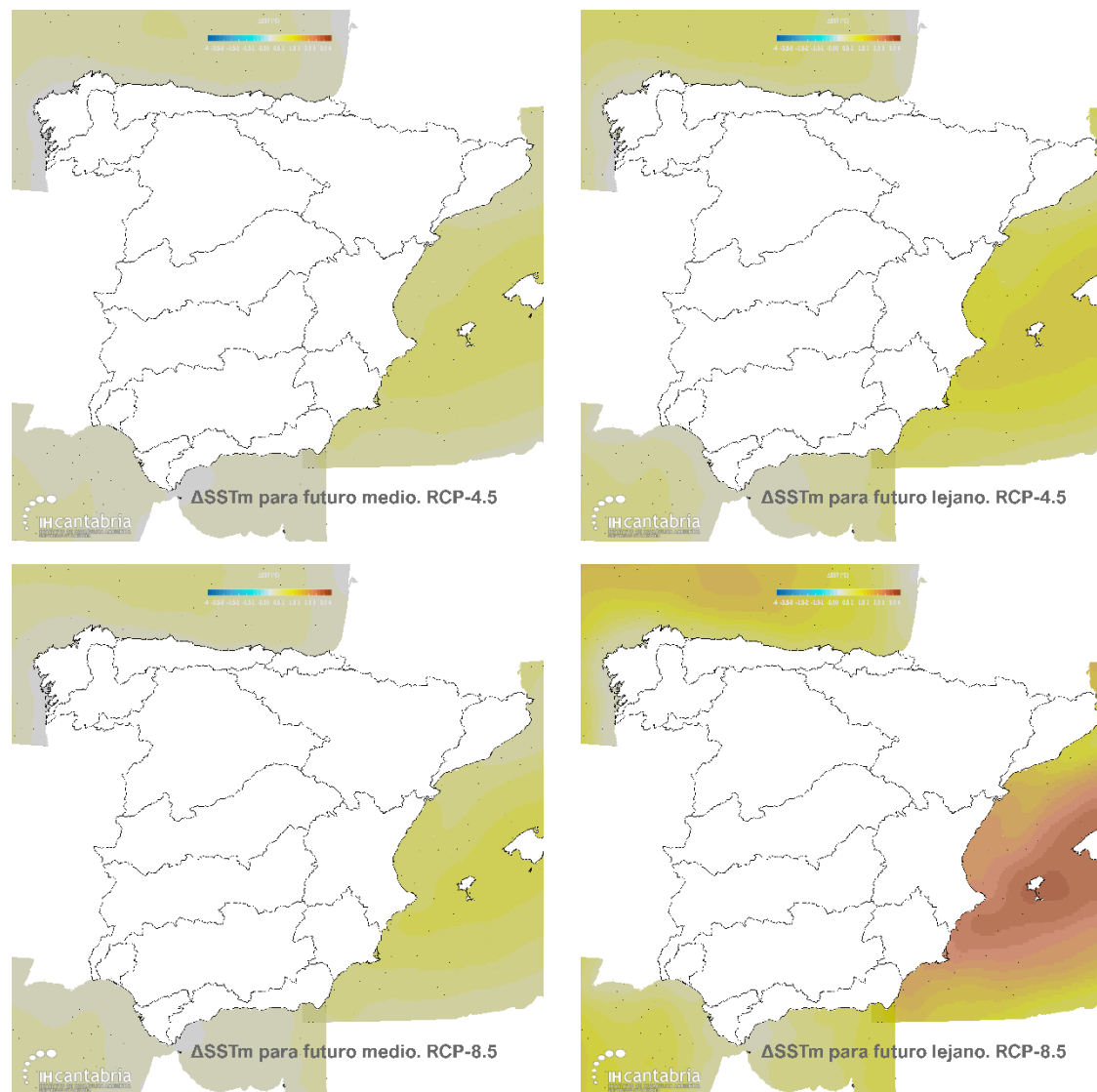


Figura 70. Variación de la temperatura media de la superficie del mar bajo los escenarios RCP-4.5 (arriba) y RCP 8.5 (debajo). Fuente: IH Cantabria

4. Impactos y riesgos asociados al cambio climático

Marco conceptual 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

y 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

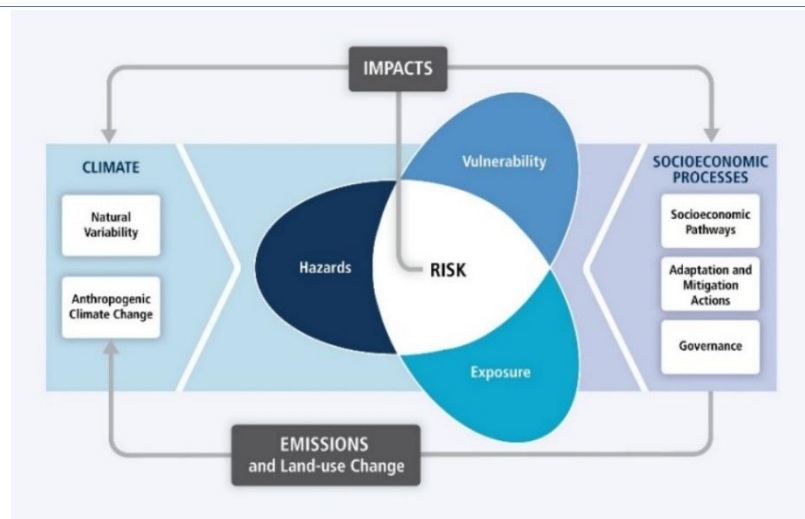


Figura 71. Marco conceptual para la evaluación del riesgo. (IPCC WGII AR5, 2014).

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](#).

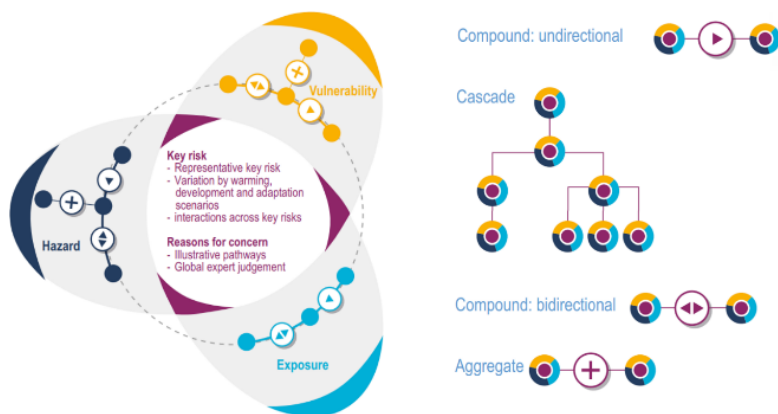


Figura 72. Marco conceptual del riesgo en el AR6. (IPCC WGII AR6, 2022).

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



Figura 73. 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 74](#) 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.

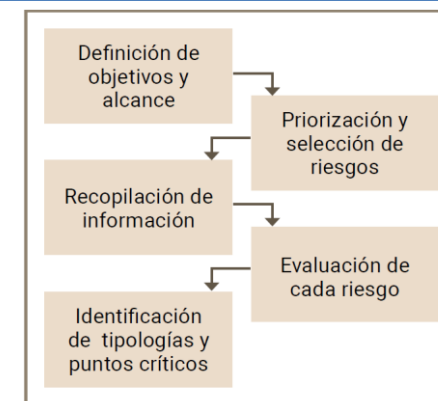


Figura 74. Esquema para la evaluación de los riesgos climáticos. Fuente OECC 2023

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 0](#) 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 5.8](#), 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

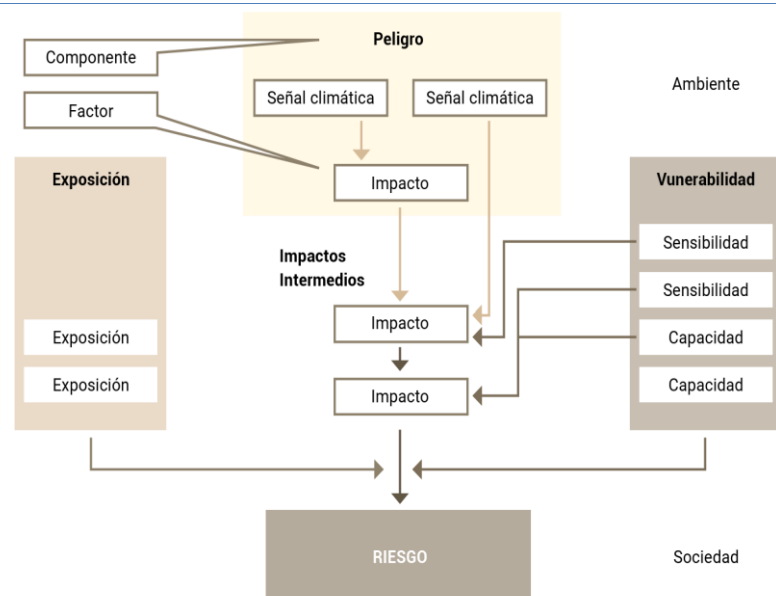


Figura 75. Esquema de componentes de los riesgos asociados al cambio climático (OECC 2023), adaptado de Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook (GIZ, 2017)

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.

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 75) 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).

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 76. Respuestas físicas primarias del sistema climático. Fuente: elaboración propia

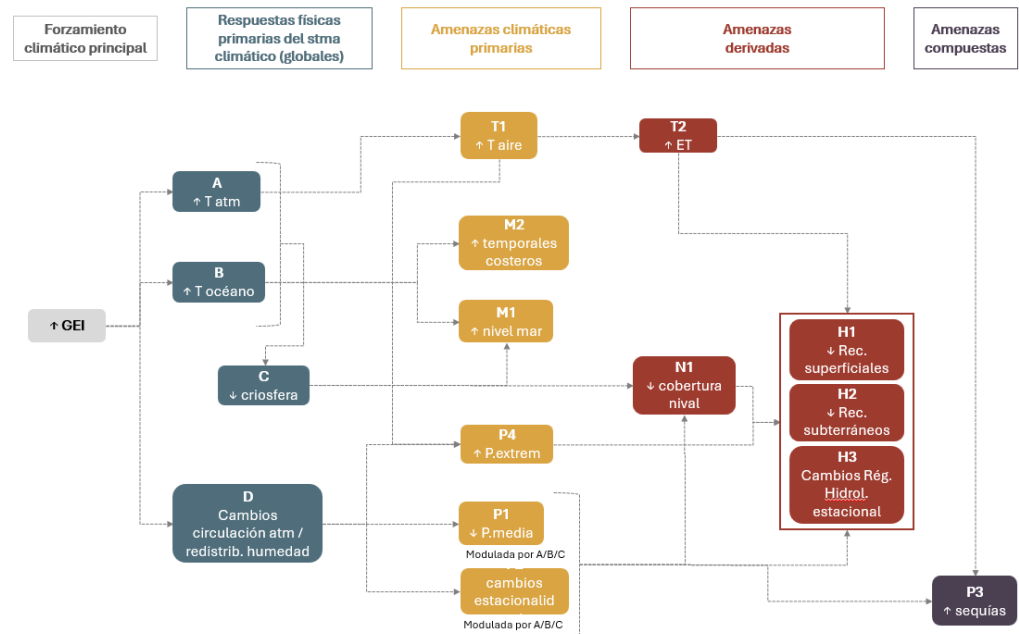


Figura 77. Relaciones funcionales entre los peligros climáticos. Fuente: elaboración propia

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; el incremento de la temperatura del agua; y el ascenso del nivel del mar*. Estos cuatro 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 pluvio-nivales. 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.
Procesos oceánicos / costeros	M1	Aumento del nivel medio del mar	Primaria	El agua del océano se dilata al calentarse (B), y el deshielo de glaciares y capas de hielo (C) añade volumen → el nivel medio del mar se eleva.
	M2	Aumento frecuencia/intensidad de temporales costeros	Primaria	La mayor energía en océanos (B) potencia el desarrollo de tormentas; los cambios de circulación (D) alteran trayectorias y frecuencia de temporales → más eventos extremos en costas.

4.6 Catalogación de impactos y riesgos

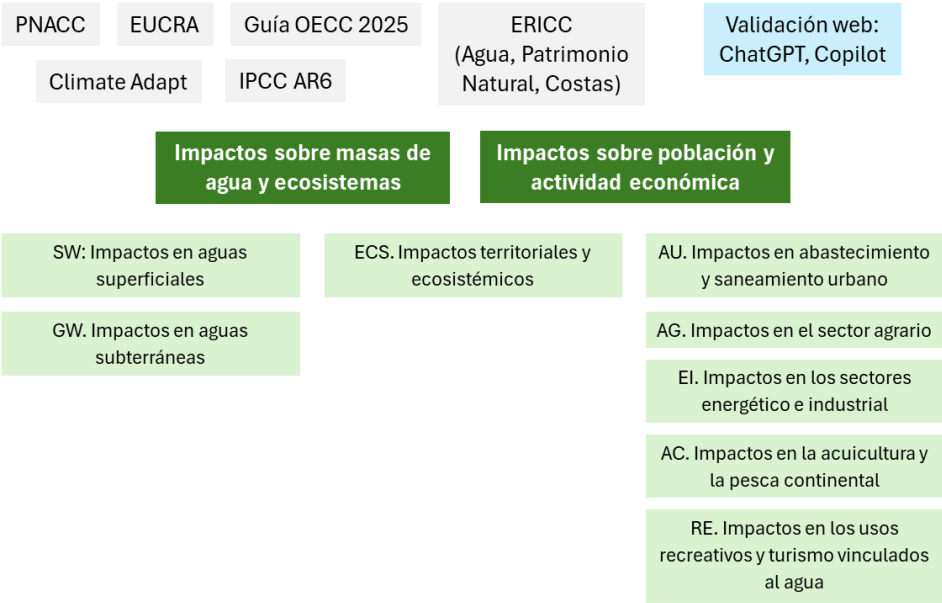


Figura 78. Catalogación de impactos potenciales

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 **ERICA** (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 78). 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). Se ha aplicado un proceso de validación web con apoyo de inteligencia artificial para explorar riesgos potencialmente olvidados e integrar riesgos estrechamente conectados.

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, elevación del nivel del mar); 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 5.8 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 <i>risk accelerators</i> 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 marítimas	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

ERICC. RC6.1 Riesgo de pérdida permanente de superficie costera, debido al aumento del nivel medio del mar relativo

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

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



Embalse de Almendra 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 se concentra en áreas con elevada dependencia de servicios urbanos, industriales y turísticos, así como en núcleos rurales envejecidos y poco diversificados, donde los hogares y actividades tienen menos recursos para adaptarse 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 (26), 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 norte 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 pero requieren mejor coordinación y alineamiento con las estrategias de adaptación y descarbonización.

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



Extensión de las inundaciones de zonas inundables de periodo de retorno 10 años. Fuente: SNCZI del MITECO

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 3.21](#)). 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 grises 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 ($\approx 1,5^\circ\text{C}$), 2041-2060 ($\approx 2^\circ\text{C}$) y 2081-2100 ($3-4^\circ\text{C}$), 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 maladaptación 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: MI-TECO

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, especialmente en sistemas fluviales y costeros expuestos a presiones urbanas, industriales y de infraestructuras. La vulnerabilidad social deriva de una cultura del riesgo limitada, la fuerte concentración de población y actividad en áreas urbanas y litorales, y presencia de grupos sociales vulnerables en núcleos rurales envejecidos. 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 y forestales desnudos o compactados y suelos contaminados y una disponibilidad aún limitada y desigual de recursos no convencionales. La vulnerabilidad económica es mayor cuando la estructura productiva depende fuertemente del agua, como en determinados regadíos, el turismo costero y algunos polos industriales.

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, $\approx 1,5$ °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 interregional en la demarcación, con interdependencias entre UTES vía embalses compartidos y flujos de energía, 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



Paisaje fluvial. Fuente: MITECO

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 endemividad 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. En las demarcaciones cantábricas adquiere especial relevancia la afección potencial a especies salmonícolas, particularmente al salmón atlántico (*Salmo salar*), cuya distribución europea alcanza en estos ríos su límite meridional, siendo especialmente sensible al incremento de la temperatura del agua y a alteraciones del régimen hidrológico que pueden afectar a sus ciclos migratorios y reproductivos.

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 endemividad 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, proliferación de 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 zonas de montaña con alta endemividad (Picos de Europa, Cordillera Cantábrica), sin dimensión transfronteriza significativa, 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 maladaptaciones 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 ERICC. RC6.1 Riesgo de pérdida permanente de superficie costera, debido al aumento del nivel medio del mar relativo



Cordón dunar vulnerable en la playa de Valdearenas (Lien-cres). Fuente: MITECO

Este riesgo se vincula, a la pérdida permanente de superficie emergida en la costa por *ascenso del nivel del mar* (art. 4bis del RPH). Es un riesgo progresivo, ya observable, que se agravará de forma muy acusada a lo largo del siglo XXI. Conecta con el impacto [ECS11](#).

Peligros. El riesgo se asocia a dos peligros principales: aumento del nivel medio del mar local, impulsado por la expansión térmica del océano, la fusión de glaciares y capas de hielo, cambios en el almacenamiento de agua terrestre; subsidencia del terreno, por compactación natural de sedimentos en deltas y llanuras litorales y otras causas antrópicas (extracción de aguas subterráneas, hidrocarburos, drenajes, túneles y excavaciones). La interacción de ambos genera inundación permanente y retranqueo de la línea de costa, con pérdida crónica de playas, marismas, humedales y otros terrenos bajos.

Elementos expuestos. Se identifican los siguientes: la población en áreas de baja cota (deltas, marismas, cordones dunares, playas urbanas); el capital construido (viviendas, paseos marítimos, urbanizaciones turísticas, polígonos industriales); infraestructuras críticas (carreteras, puertos, plantas energéticas, equipamientos sanitarios y educativos, redes de saneamiento y drenaje); los ecosistemas costeros y sus servicios (protección frente a oleaje, estabilización sedimentaria, hábitat para especies marinas y aves).

Factores de vulnerabilidad. La vulnerabilidad física aumenta en costas de baja pendiente y materiales erosionables (playas arenosas, deltas, marismas), donde pequeños aumentos de nivel del mar implican grandes retrocesos de la línea de costa. La vulnerabilidad socioeconómica es mayor en áreas de alta densidad urbana y turística en primera, y una fuerte dependencia de actividades ligadas al litoral. Desde la óptica ambiental, son críticos los umbrales de tolerancia de humedales, dunas y marismas al anegamiento y la salinización, así como su capacidad de migrar tierra adentro. La gobernanza acusa una ordenación del territorio poco restrictiva, baja integración del riesgo en la planificación y una aplicación todavía incipiente de estrategias de adaptación.

Factores subyacentes. Actúan como factores subyacentes el crecimiento demográfico y económico litoral, la expansión de usos urbanos y turísticos sobre zonas bajas, la construcción de infraestructuras rígidas que bloquean la migración natural de los sistemas (paseos marítimos, diques, urbanizaciones), la sobreexplotación de acuíferos costeros y la degradación de ecosistemas protectores (dunas, marismas, humedales).

Impactos y riesgos en cascada. Los impactos directos incluyen la pérdida irreversible de superficie terrestre por anegación permanente, la desaparición o degradación de hábitats costeros, la salinización de suelos y acuíferos y la pérdida de viviendas, suelo agrícola y espacios urbanos. En cascada, se generan desplazamientos de población, pérdida de medios de vida (agricultura, pesca, turismo), daños a infraestructuras críticas, interrupciones en cadenas logísticas y deterioro del patrimonio natural y cultural, con efectos sobre la salud, la cohesión social y otros sectores económicos.

Análisis del riesgo de daños en distintos horizontes y escenarios. La severidad actual se califica como limitada, con pérdidas localizadas, pero aún agregadas por debajo del 0,01 % del PIB. En el corto plazo (2021-2040, $\approx 1,5$ °C) el riesgo pasa a sustancial, al extenderse los tramos afectados y crecer la exposición de infraestructuras y usos urbanos. Hacia mediados de siglo (2041-2060, ≈ 2 °C) se pasa a crítico, con centenares de miles de personas potencialmente afectadas por inundación permanente y pérdidas superiores al 0,1 % del PIB. A finales de siglo (2081-2100, 3-4 °C) el riesgo es catastrófico, con cientos de miles de personas desplazadas, cambios irreversibles en deltas y marismas y pérdidas plausiblemente superiores al 1 % del PIB nacional.

Otros aspectos. El riesgo conlleva fuertes implicaciones territoriales (relocalización interior, conflictos por el uso del suelo, planificación urbana y logística), sociales (pérdida de medios de vida, migración forzosa, impactos en la salud) y de cohesión y seguridad (tensiones por reasentamiento y acceso a recursos), con posibles efectos transfronterizos vía migraciones intraeuropeas y disputas por recursos costeros.

La maladaptación puede derivar de la implantación de defensas agravan la erosión o desplazan el riesgo, y de desigualdad si se prioriza la protección de áreas de mayor valor económico; el análisis de género subraya la mayor vulnerabilidad de mujeres y niñas de recursos locales costeros. Los umbrales críticos vienen definidos por la relación entre cota del terreno o defensas y nivel del mar, cuya superación implica pérdida irreversible de superficie emergida y hábitats, y fuertes riesgos de lock-in por infraestructuras fijas que dificultan la retirada planificada y la restauración de ecosistemas. Aunque ya hay estrategias y planes de adaptación, una gobernanza y financiación de largo plazo y la integración de este riesgo en la ordenación territorial siguen siendo condiciones clave para reducirlo.

5.6 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.

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 79).

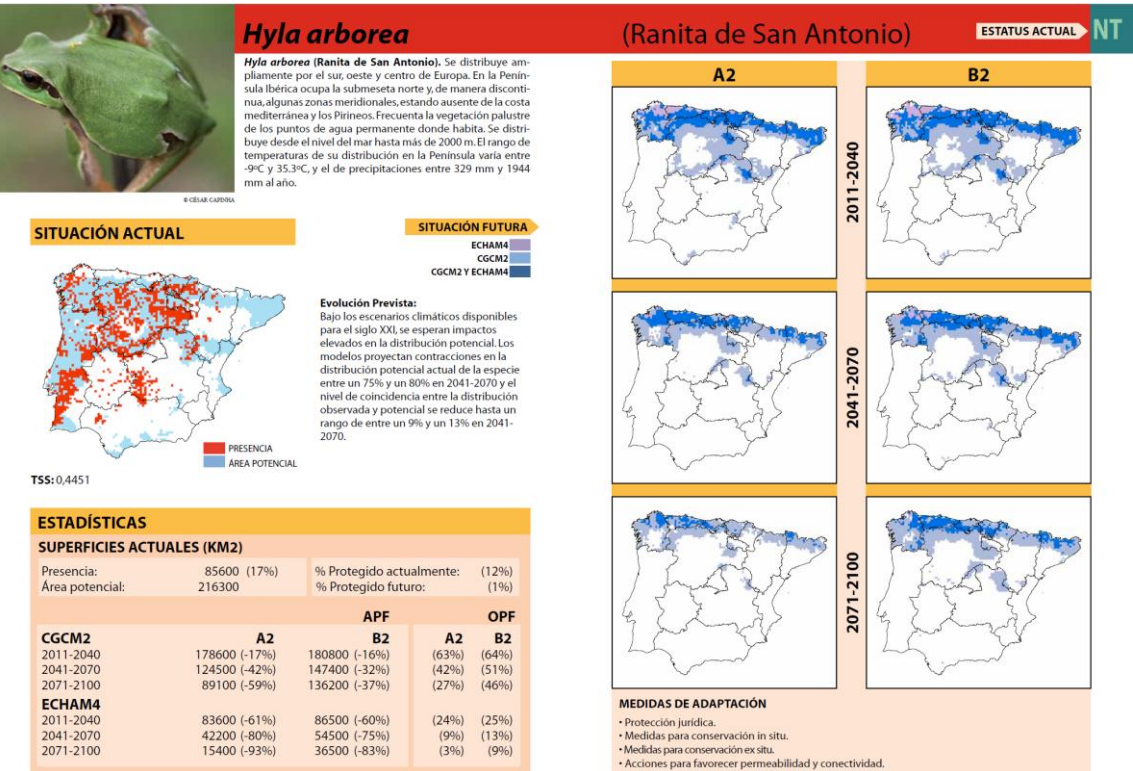


Figura 79. Ejemplo de ficha de distribución actual y bajo escenarios de cambio climático (*Hyla arborea*)

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

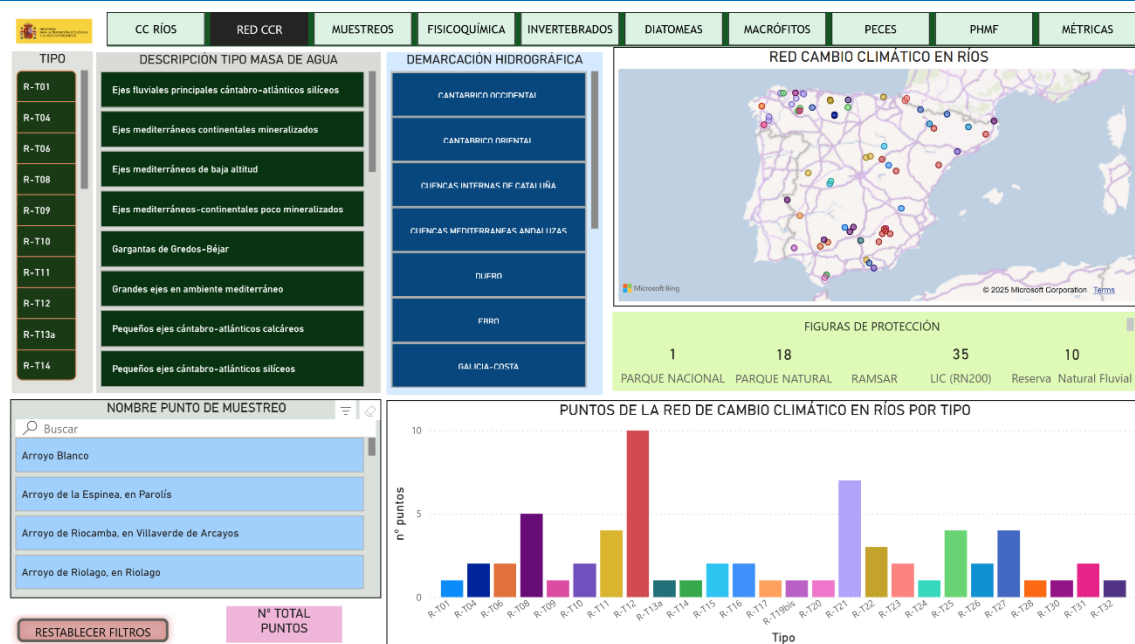


Figura 80. Visor de resultados de la red de seguimiento del efecto del cambio climático en ríos (CCR)

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 80).

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.

Finalmente, para el medio marino, el informe [Cambio climático en el medio marino español: impactos, vulnerabilidad y adaptación](#) (Kersting, 2016) ofrece un panorama análogo: compila evidencias de cambios en temperatura, acidificación y nivel del mar y documenta efectos sobre peces, comunidades planctónicas, praderas de Posidonia y otros hábitats clave, identificando especies y hábitats vulnerables y proponiendo medidas de adaptación.

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.

5.8 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.

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.

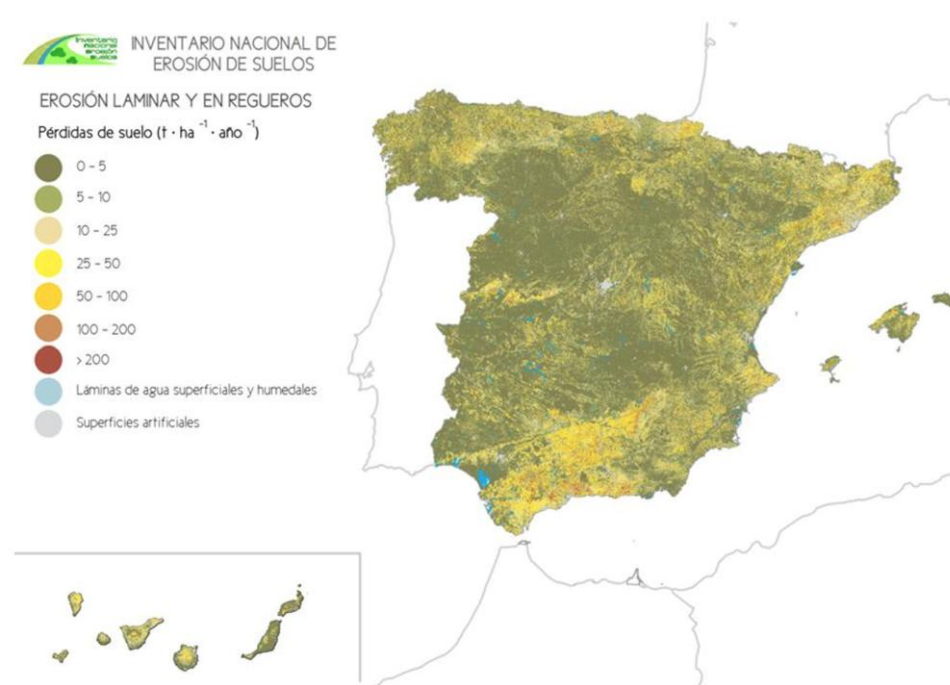


Figura 81. Distribución espacial de los niveles de erosión hídrica (INES, 2019) como factor clave en la degradación del suelo y en la presión sobre el ciclo hidrológico (escorrentía, recarga, sedimentos y calidad del agua)

6. Evaluación de riesgos asociados al cambio climático

Metodología

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

Fuentes de datos para la evaluación de riesgos

Esquema operativo general para la evaluación de riesgos

Propuestas para la mejora de la evaluación de riesgos sobre los ecosistemas

Propuestas para la mejora de la evaluación de riesgos sobre los ecosistemas

De cara a los siguientes EACC, conviene reforzar un bloque específico de riesgos en línea con el art. 4bis.2.c del RPH relativo a la posible deriva de tipologías y condiciones.

1) **Consolidación y extensión de ECS2** como módulo ecosistémico más allá de lo establecido en la metodología UPV: hábitat de aguas frías, oxígeno disuelto y macrófitas (por cambios de régimen de caudales), ECS2-Q (biogeoquímico climáticamente forzado). Operativamente, cada submódulo se representaría con su mapa de riesgo y un indicador de riesgo.

2) **Integración del seguimiento REFCON** y de marcadores climáticos para red de la red de seguimiento del efecto del cambio climático en ríos (CCR), marco optimizado para capturar respuestas a temperatura, caudal, salinidad o durabilidad y vulnerabilidad ecológica (p. ej., pérdida de rasgos fríos, cambios funcionales), etc.

3) **Desarrollo explícito del art. 4bis.2.c del RPH:** deriva de tipologías y condiciones al clima (p. ej., temperatura y caudal), proyectarlas bajo escenarios (vía modelos de condiciones de referencia y límites de clase (EQR). Este enfoque, inicialmente (screening): identificación de tipologías y masas candidatas (por sensibilidad térmica y en la evaluación del estado, con actualización gradual de referencias y conectividad.

Los estudios nacionales de biodiversidad (flora/vegetación y vertebrados) basados en áreas refugio, con implicaciones para el diseño y conectividad de espacios prioritarios, priorizando especies/hábitats más vinculados a condiciones frías/húmedas.

Limitaciones metodológicas y líneas generales de trabajo para los s

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

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

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 por riesgo muy bajo = 1, que no aparecían en los mapas de riesgo.

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

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 por riesgo muy bajo = 1, que no aparecían en los mapas de riesgo.

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

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 por riesgo muy bajo = 1, que no aparecían en los mapas de riesgo.

ECS8. Incremento de la sedimentación en embalses 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

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

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

Territorial es y ecosisté micos

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

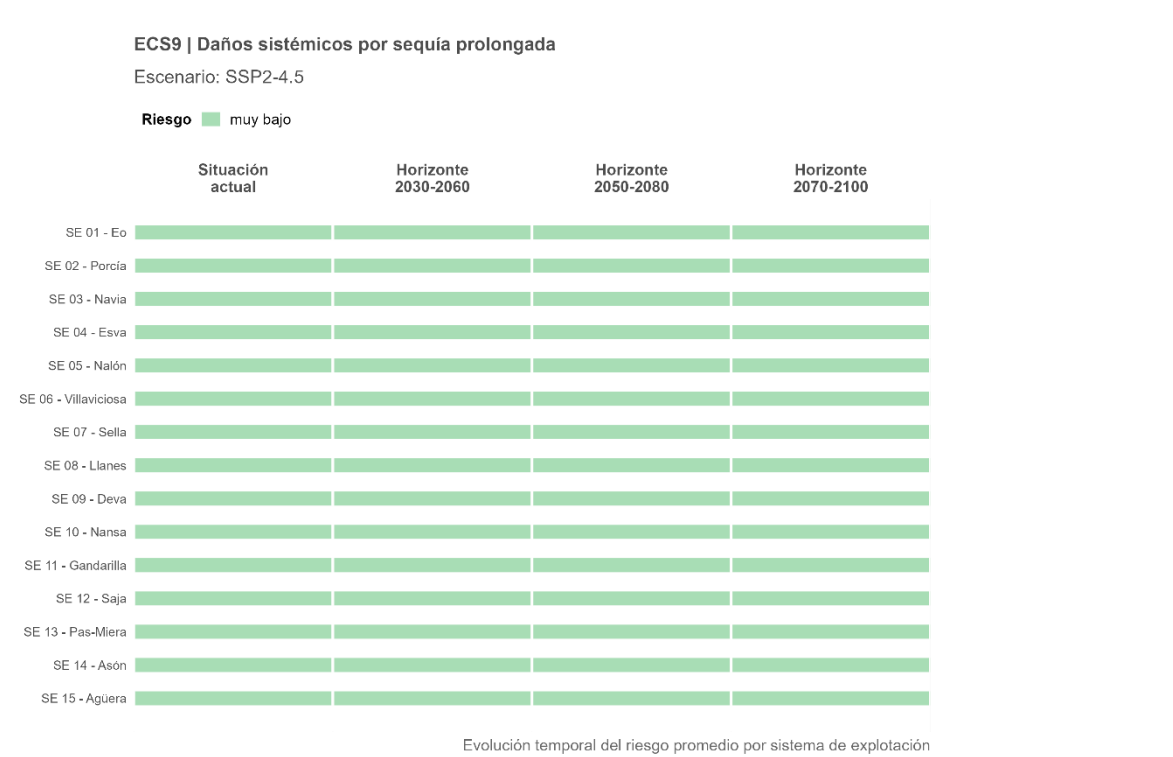


Figura 82. Trayectoria temporal del riesgo ECS9 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

El **escenario intermedio** no muestra una tendencia de cambio en el riesgo de daños sistémicos por sequía prolongada en ningún horizonte analizado.

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
- ECS11. Daños sistémicos por inundaciones costeras y temporales marítimos
- ECS13. Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima

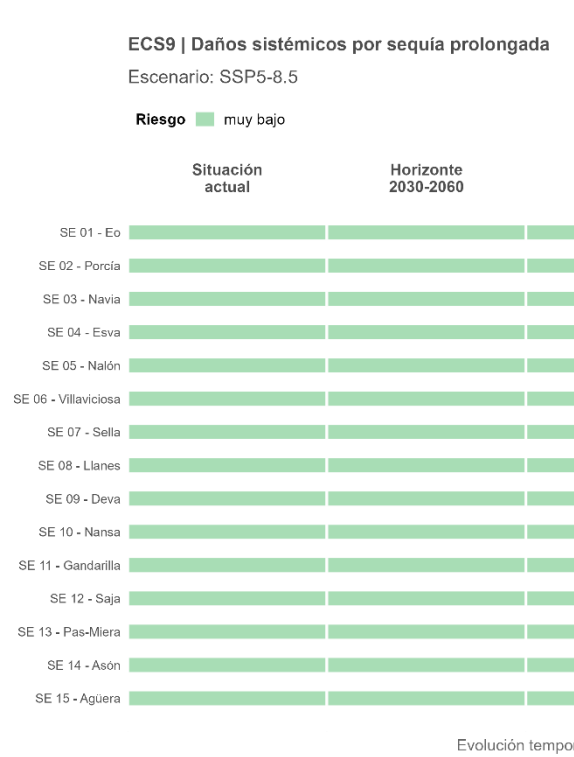


Figura 83. Trayectoria temporal del riesgo ECS9 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

El **escenario de altas emisiones** no muestra una tendencia de cambio en el riesgo de daños sistémicos por sequía prolongada en ningún horizonte analizado.

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
macroinvertebra
dos

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.

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. 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

The image displays a collection of web portals and data sources used for climate change adaptation and risk assessment. The portals include:

- Catálogo de Metadatos**: A portal for metadata.
- INE**: Instituto Nacional de Estadística (National Institute of Statistics).
- Plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático en España**: Platform on Climate Change Adaptation in Spain.
- AdapteCCa.es**: A platform for climate change adaptation.
- Sistema Integrado de Datos Municipales**: Integrated Municipal Data System.
- Atlas de la Vulnerabilidad Urbana**: Urban Vulnerability Atlas.
- EEA geospatial data catalogue**: European Environment Agency's geospatial data catalogue.
- Climate ADAPT**: A platform for climate adaptation.
- Copernicus**: The European Union's Earth observation programme.
- DRMCC - Risk Data Hub**: A hub for risk data.
- ESPAÑA**: A portal for Spain.
- CLIMAAX**: A platform for climate adaptation.
- Climate Risk STAC**: A platform for climate risk assessment.

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 los 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: $[R = P * CP_P * NC_P + E * CP_E * NC_E + V * CP_V * NC_V]$. 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.

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

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). 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 Propuestas para la mejora de la evaluación de riesgos sobre los ecosistemas

De cara a los siguientes EACC, conviene reforzar un bloque específico de riesgos ecosistémicos que complemente la evaluación del deterioro del estado (SW7/GW3) con indicadores más directos de funcionalidad de hábitats, biota y transiciones de tipo, en línea con el art. 4bis.2.c del RPH relativo a la posible deriva de tipologías y condiciones de referencia. Como posibles líneas de trabajo, pueden apuntarse las siguientes.

1) **Consolidación y extensión de ECS2** como módulo ecosistémico más allá del riesgo térmico o **ampliación / combinación con otros impactos potenciales**. En futuros EACC, se propone mantener ECS2-T (térmico) como módulo operativo de referencia basado en la metodología UPV: hábitat de aguas frías, oxígeno disuelto y macroinvertebrados) y ampliarlo progresivamente a otros peligros climáticos relevantes para la funcionalidad del hábitat: ECS2-H (hidrológico: estiajes, intermitencia / días secos, cambios de régimen de caudales), ECS2-Q (biogeoquímico climáticamente forzado: susceptibilidad a hipoxia/eutrofización asociada a calentamiento y bajos caudales) y, cuando existan capas robustas, ECS2-E (extremos: avenidas y eventos compuestos). Operativamente, cada submódulo se representaría con su mapa de riesgo y un indicador agregado de multi-afección.

2) **Integración del seguimiento REFCON** y de marcadores climáticos para reducir incertidumbre y mejorar sensibilidad. Para hacer evolucionar la evaluación desde cartografía indicativa hacia evidencia verificable, sería clave apoyarse en los resultados de la red de seguimiento del efecto del cambio climático en ríos (CCR), marcadores sensibles propuestos en MITECO-Tragsatec 2023 (rasgos y métricas en peces, macroinvertebrados, diatomeas, macrófitos, etc.), y selección de estaciones centinela optimizada para capturar respuestas a temperatura, caudal, salinidad o duración de periodos secos. En términos operativos, estos productos deberían alimentar: (i) la validación / ajuste de los resultados de riesgo (ECS2 / SW7, (ii) la caracterización de vulnerabilidad ecológica (p. ej., pérdida de rasgos fríos, cambios funcionales), y (iii) la detección temprana de tendencias que anticipen cambios de estado o de tipo.

3) **Desarrollo explícito del art. 4bis.2.c del RPH**: deriva de tipologías y condiciones de referencia (pilotos escalables). El informe CEDEX (2012) ofrece una base metodológica directa para abordar este mandato: seleccionar variables de tipificación sensibles al clima (p. ej., temperatura y caudal), proyectarlas bajo escenarios (vía modelos hidrológicos) y evaluar el riesgo de incumplimiento de los rangos que definen la tipología; si procede, aplicar técnicas multivariantes (clustering) para reasignación y revisar condiciones de referencia y límites de clase (EQR). Este enfoque, inicialmente piloto (Júcar), podría escalarse si se prioriza por tipologías más sensibles y se acompaña de seguimiento reforzado. Así, en futuros EACC podría avanzarse por fases: 1) (screening): identificación de tipologías y masas candidatas (por sensibilidad térmica e hidrológica); 2) (pilotos): aplicación completa en demarcaciones con mejores series ambientales y biológicas; 3) (generalización): integración en programas de seguimiento y en la evaluación del estado, con actualización gradual de referencias cuando haya base empírica suficiente; 4) (biodiversidad terrestre): ampliación del enfoque ecosistémico más allá del estado acuático hacia especies y hábitats dependiente y conectividad.

Los estudios nacionales de biodiversidad (flora/vegetación y vertebrados) basados en modelización de nicho y proyecciones de distribución aportan un marco para representar pérdidas de idoneidad climática, desplazamientos altitudinales/latitudinales y áreas refugio, con implicaciones para el diseño y conectividad de espacios protegidos. En futuros EACC, estos resultados pueden incorporarse como capas de exposición y sensibilidad de humedales, riberas y ecosistemas terrestres dependientes del agua, priorizando especies/hábitats más vinculados a condiciones frías/húmedas y sistemas de montaña o mediterráneos temporales.



EXPLOTACIÓN DE LA RED DE REFERENCIA EN LAGOS



Informe de revisión de condiciones de referencia en lagos.

Abril 2024

PLAN, PMA, ADAPTA, SERVICIO TÉCNICO PARA LA VIGILANCIA DE LAS ESTACIONES DE REFERENCIA Y OBTENCIÓN DE LA LÍNEA BASE PARA EVALUAR LAS ALTERACIONES DEBIDAS AL CAMBIO CLIMÁTICO Y A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA. SITUACIÓN ACTUAL (21.803-0985/041).



Informe de revisión de condiciones de referencia en ríos



Marzo 2024

PLAN, PMA, ADAPTA, SERVICIO TÉCNICO PARA LA VIGILANCIA DE LAS ESTACIONES DE REFERENCIA Y OBTENCIÓN DE LA LÍNEA BASE PARA EVALUAR LAS ALTERACIONES DEBIDAS AL CAMBIO CLIMÁTICO Y A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA. SITUACIÓN ACTUAL (21.803-0985/041).

6.5 Limitaciones metodológicas y líneas generales de trabajo para los sucesivos estudios de adaptación

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 tercer lugar, no se ha considerado el papel mitigador de las obras de regulación frente a los efectos del cambio climático, que permiten incrementar la disponibilidad efectiva de los recursos hídricos, más allá de la aportación natural. En escenarios futuros con mayor irregularidad de aportaciones, fenómenos extremos más intensos y una clara reducción nival, estas infraestructuras acentúan su efecto regulador, mejorando notablemente la resiliencia frente al fenómeno de cambio climático.

Recomendaciones de mejora y líneas de trabajo futuras. Los sucesivos estudios de adaptación deberían: (i) ampliar el número de riesgos analizados y profundizar en las relaciones de agregación y encadenamiento, integrando explícitamente factores subyacentes, la evolución de las variables no climáticas y elementos de exposición sectoriales; (ii) refinar la representación de la vulnerabilidad, ampliando indicadores sociales, ambientales e institucionales y trabajando de forma más sistemática en la validación mediante series de impactos; (iii) avanzar en la integración, al menos parcialmente cuantitativa, del efecto de las medidas de adaptación como “cuarto pilar” del esquema del IPCC AR6; y (iv) reforzar los procesos de contraste con grupos de expertos y agentes sectoriales, de manera que este primer ejercicio, apoyado en ERICC como cobertura de esta carencia, evolucione hacia un marco iterativo y co-producido de evaluación del riesgo climático en la planificación hidrológica.



Figura 84. Ebro y Ega en San Adrián. Fases de expansión del área urbana de San Adrián (elaboración propia mediante fotointerpretación). Fuente: [Ebro Resilience](#).

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

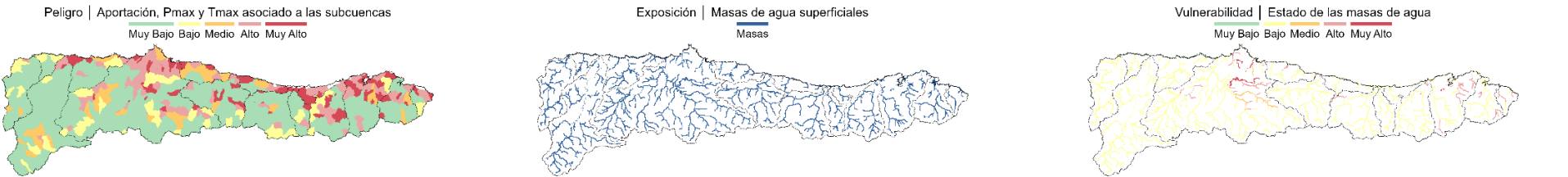


Figura 85. Riesgo SW7. Mapas de los indicadores de peligro,, exposición y vulnerabilidad

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

- **Peligros (P):** estimado por la combinación de aportaciones (60%), precipitación máxima (20%) y temperatura máxima (20%), en las subcuencas vertientes a las masas de agua. Reducciones de aportaciones e incrementos de Pmax y temperatura máxima incrementan el riesgo. Periodo 1980-2023, obtenidos del modelo SIMPA (CEDEX), y Adapteca, 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 86. 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.

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

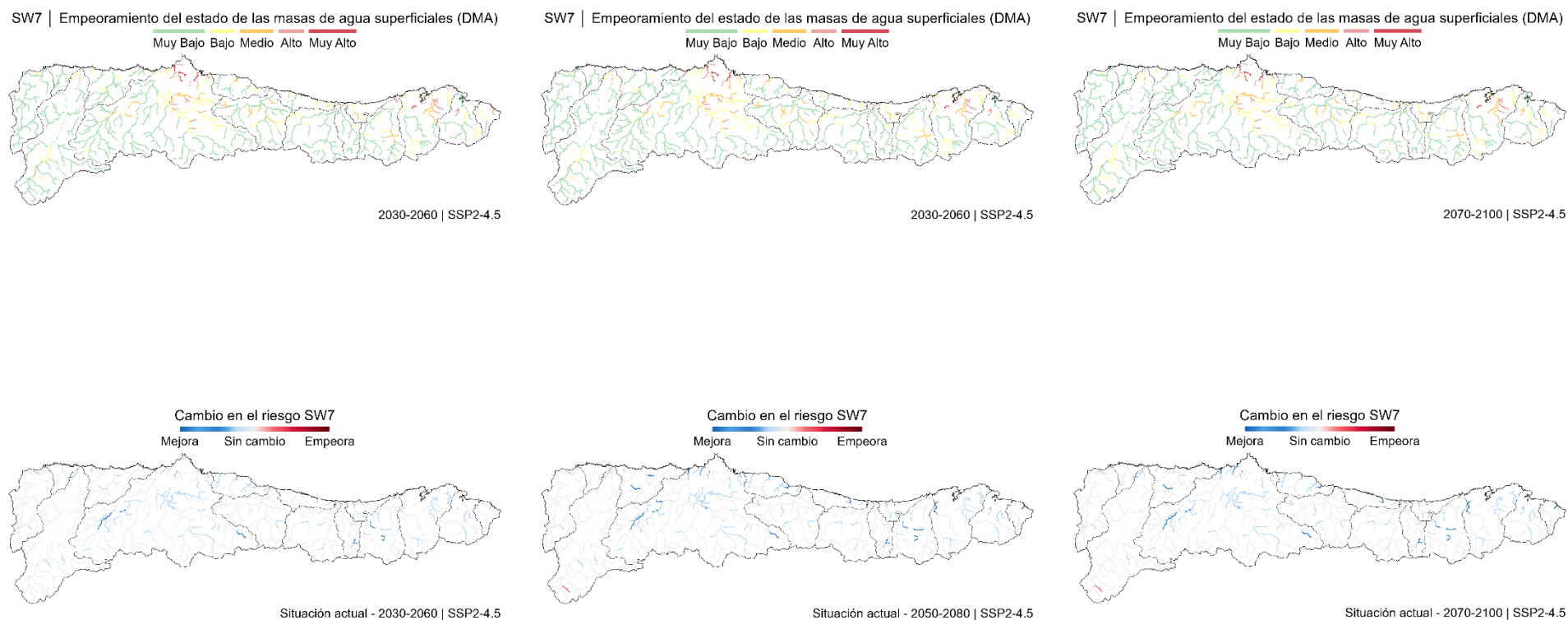


Figura 87. Evaluación del riesgo SW7 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

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.

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

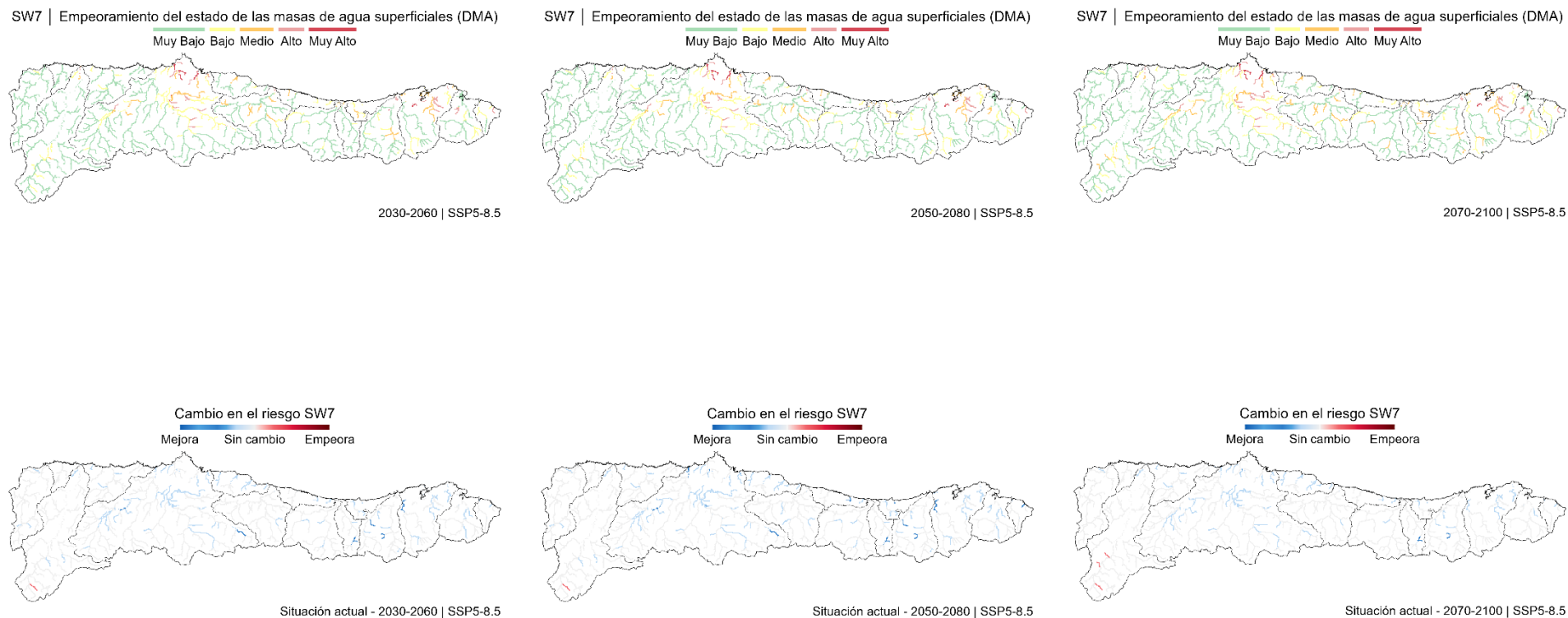


Figura 88. Evaluación del riesgo SW7 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

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.

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

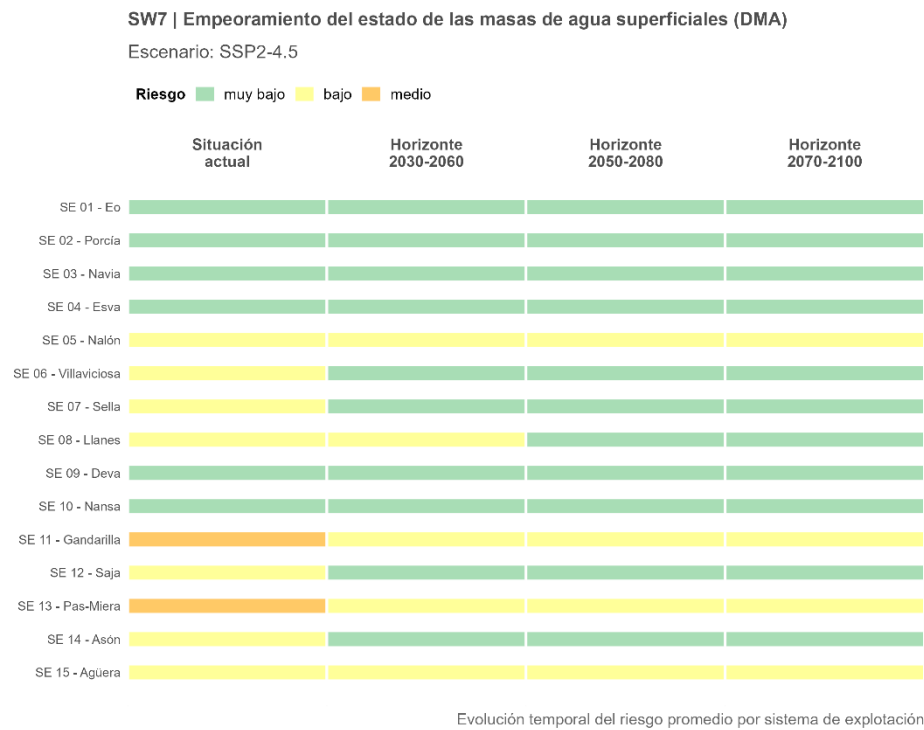


Figura 89. Trayectoria temporal del riesgo SW7 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario intermedio** muestra una tendencia marcada a la mejora en los horizontes 2030-2060 y 2050-2080. Los descensos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación 06, 07, 08, 11, 12, 13 y 14, donde el riesgo pasa de bajo a muy bajo o de medio a bajo.

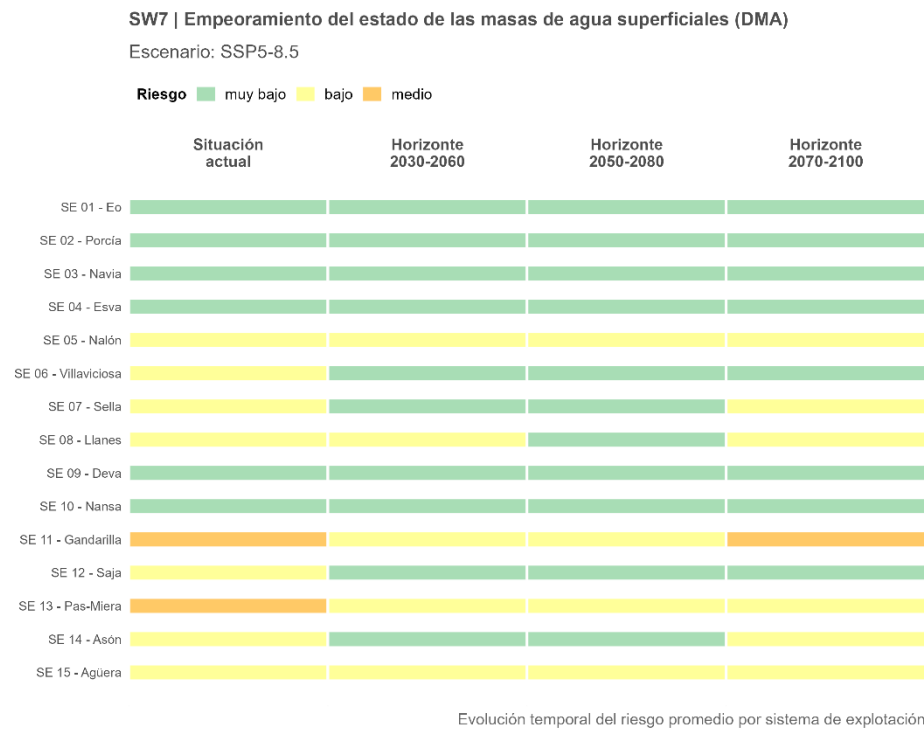


Figura 90. Trayectoria temporal del riesgo SW7 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario de altas emisiones** muestra una tendencia marcada a la mejora en el horizonte 2030-2060. Los descensos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación 06 y 12, donde el riesgo pasa de bajo a muy bajo.

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

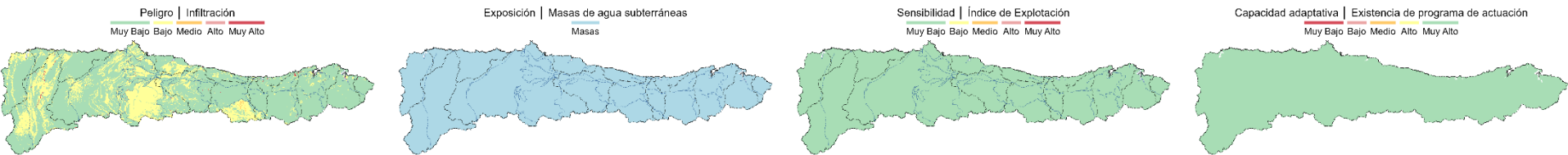


Figura 91. Riesgo GW3. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad adaptativa)

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. A mayor infiltración en la masa, menor nivel de riesgo.
- **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

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

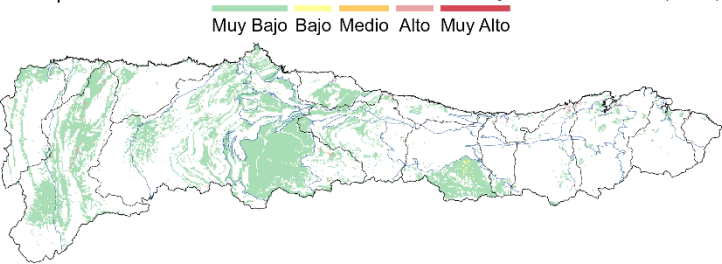


Figura 92. Riesgo GW3: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)

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.

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

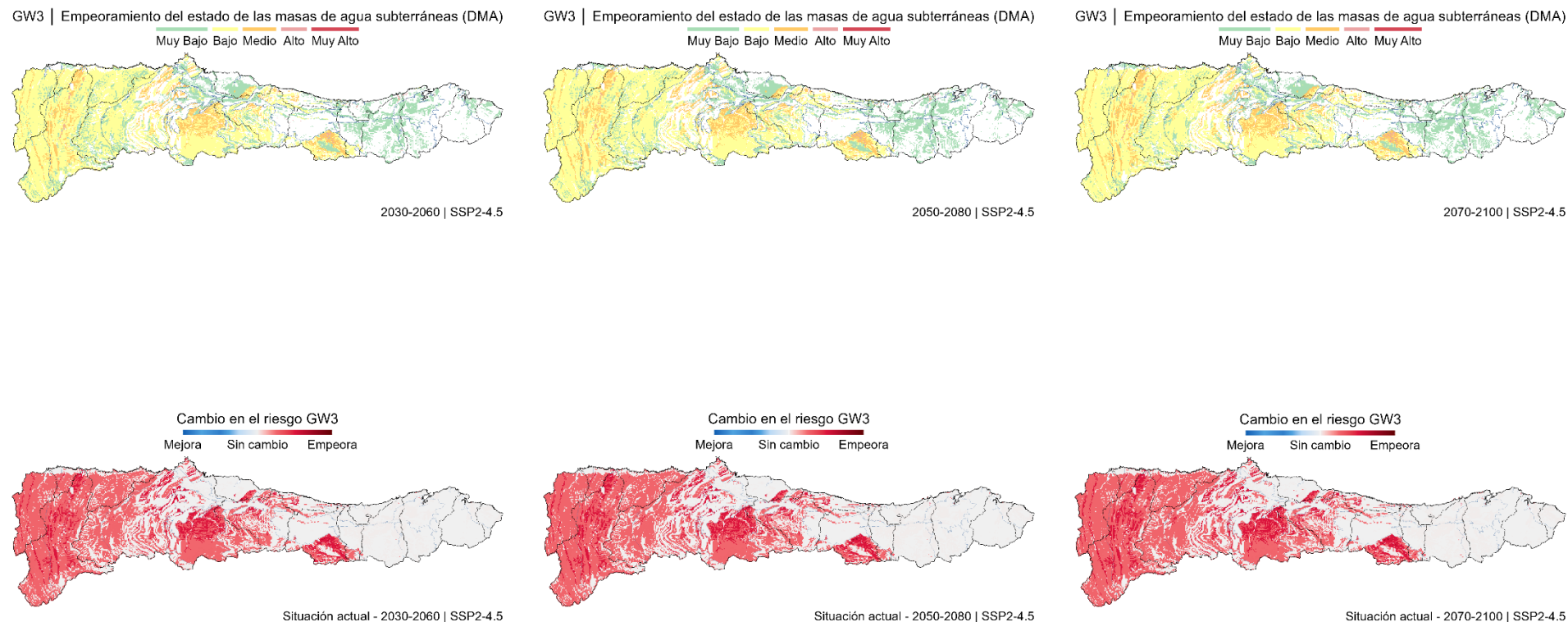


Figura 93. Evaluación del riesgo GW3 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

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.

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

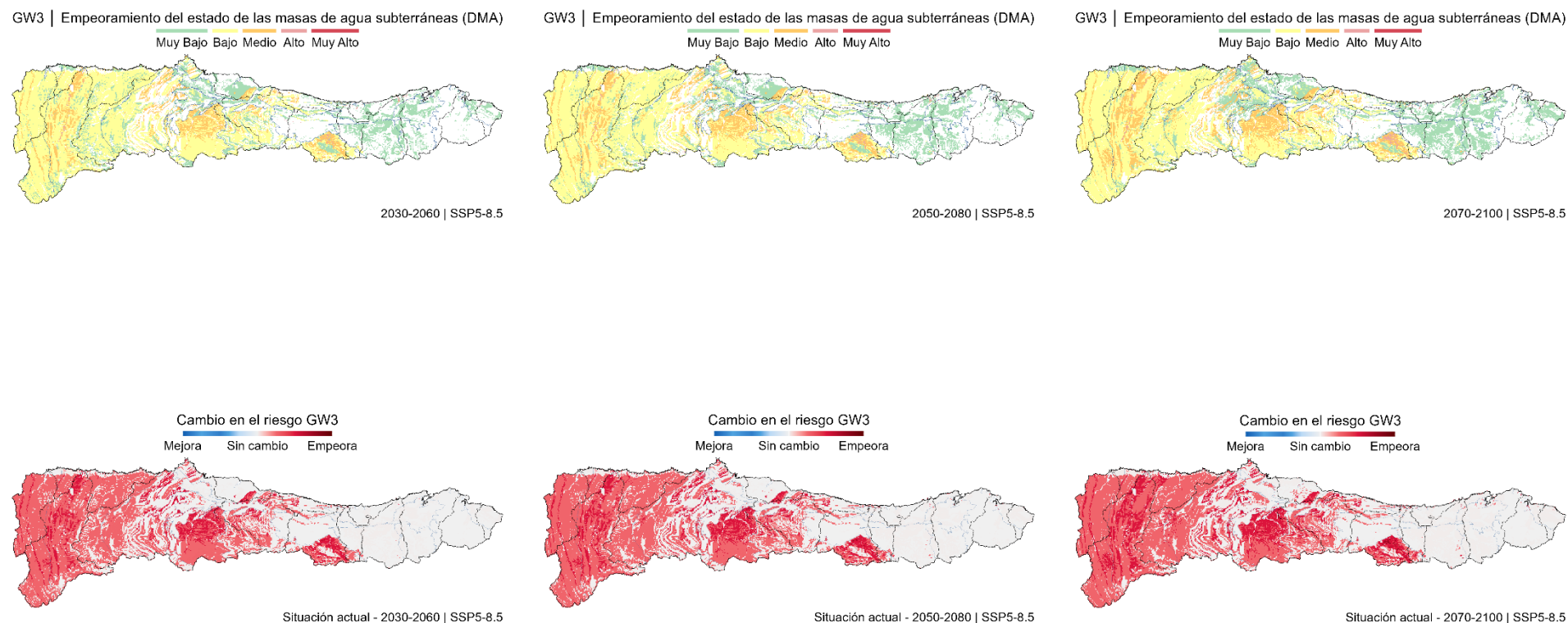


Figura 94. Evaluación del riesgo GW3 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual. Partiendo del riesgo actual, se ha calculado el riesgo en escenarios futuros. Para la combinación 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.

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

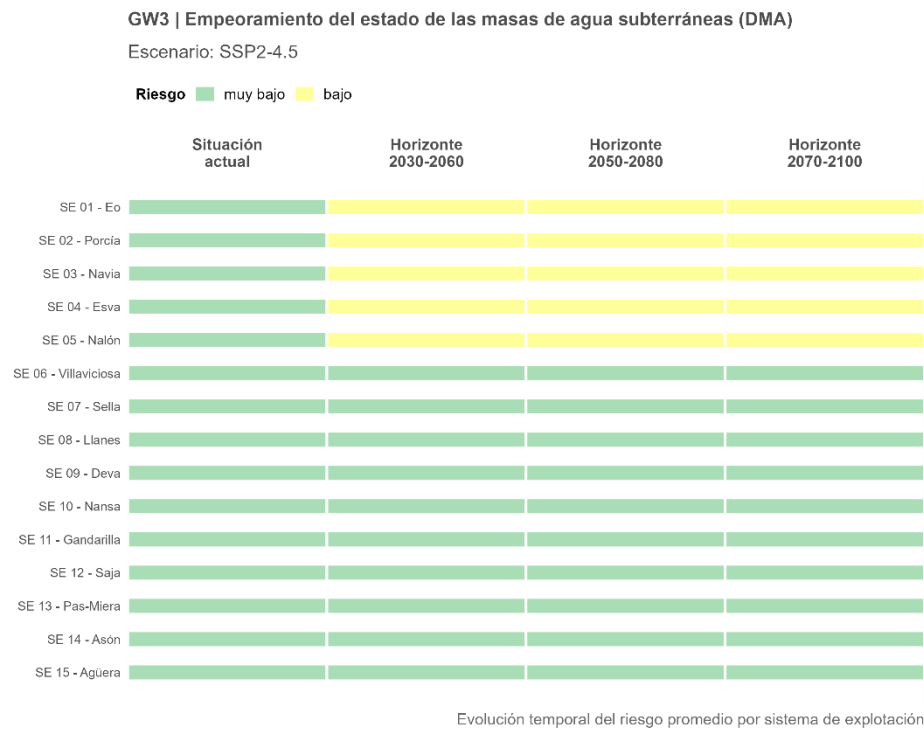


Figura 95. Trayectoria temporal del riesgo GW3 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario intermedio** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en el horizonte 2030-2060. Los incrementos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación 01, 02, 03, 04 y 05, respecto a la situación actual.

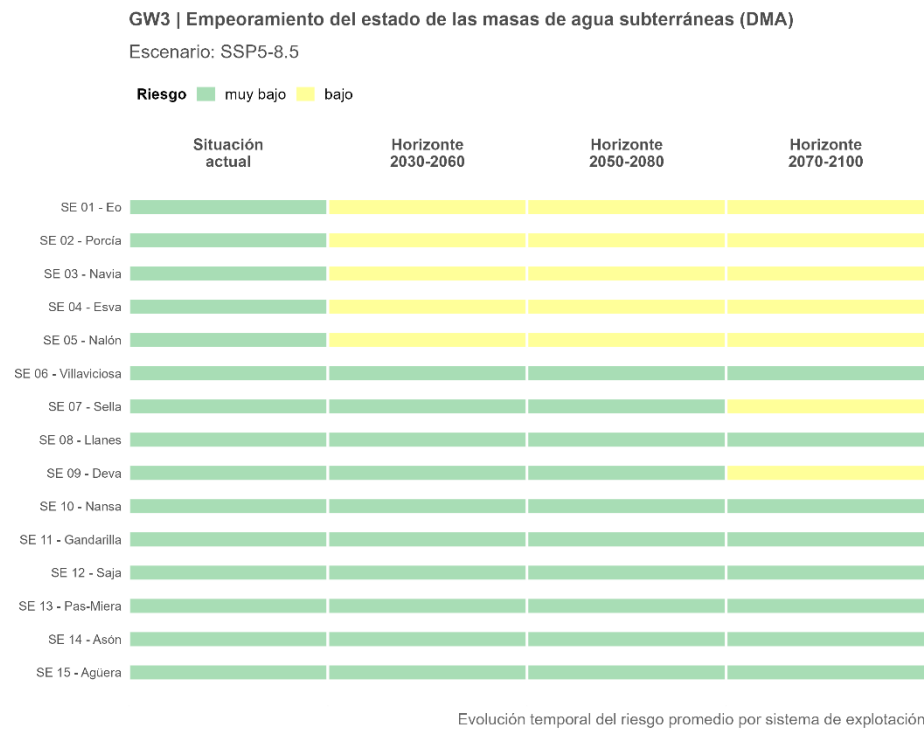


Figura 96. Trayectoria temporal del riesgo GW3 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario de altas emisiones** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en los horizontes 2030-2060 y 2070-2100. Los incrementos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación 01, 02, 03, 04, 05, 07 y 09, respecto a la situación actual.

6.14 ECS2. Deterioro de la funcionalidad de los hábitats acuáticos

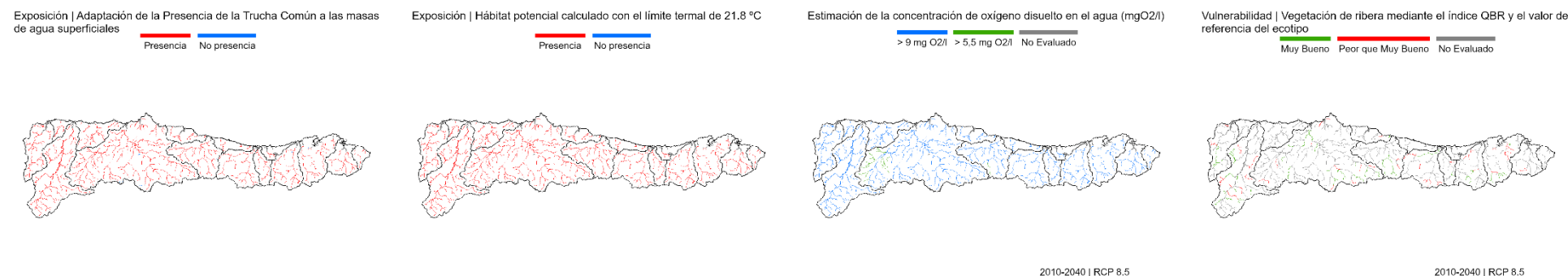


Figura 97. Riesgo ECS2. Mapas de Exposición: hábitat potencial calculado con el límite termal de 21.8 °C y adaptación de la presencia de la Trucha común a las masas de agua superficiales (Atlas y Libro Rojo de los Peces, MMA, 2001). Mapa de la estimación de la concentración de oxígeno disuelto en agua (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 O₂ 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](#).

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

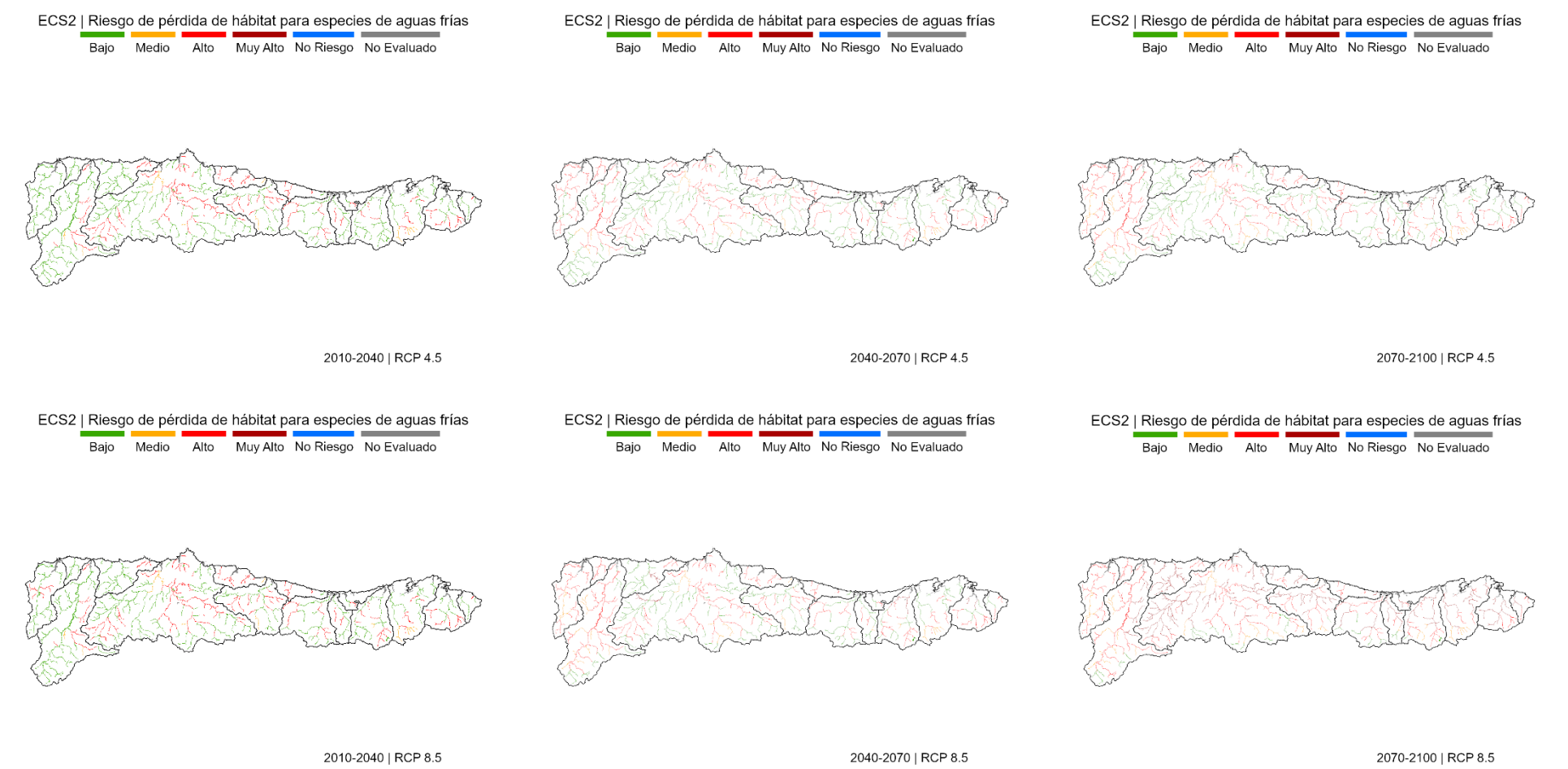


Figura 98. Evaluación del riesgo ECS2 proyectado bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, para los horizontes temporales 2010-2040, 2040-2070 y 2070/2100. Riesgo de pérdida de hábitat para especies de aguas frías.

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

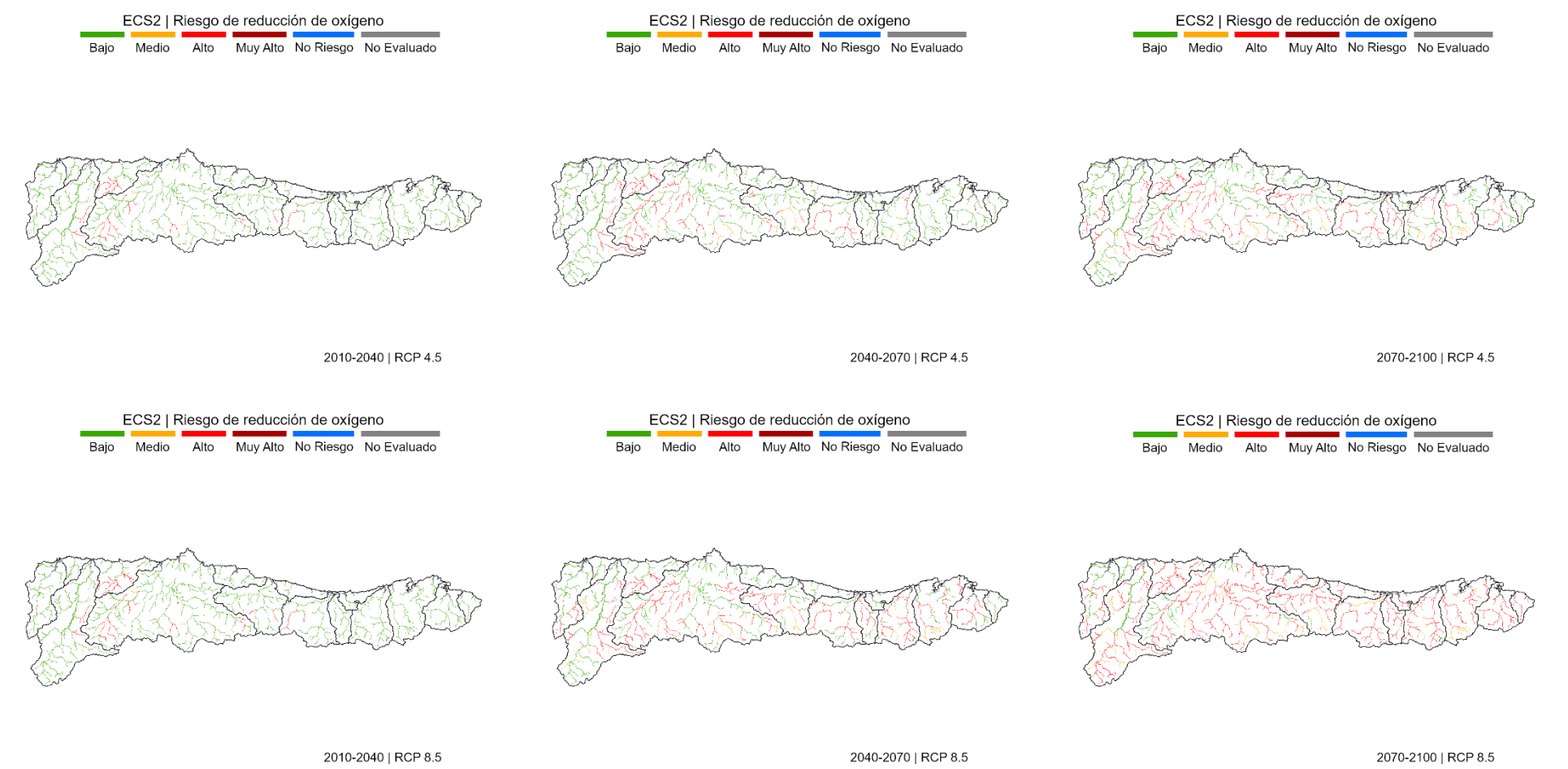


Figura 99. Evaluación del riesgo ECS2 proyectado bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, para los horizontes temporales 2010-2040, 2040-2070 y 2070/2100. Riesgo de reducción de oxígeno.

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

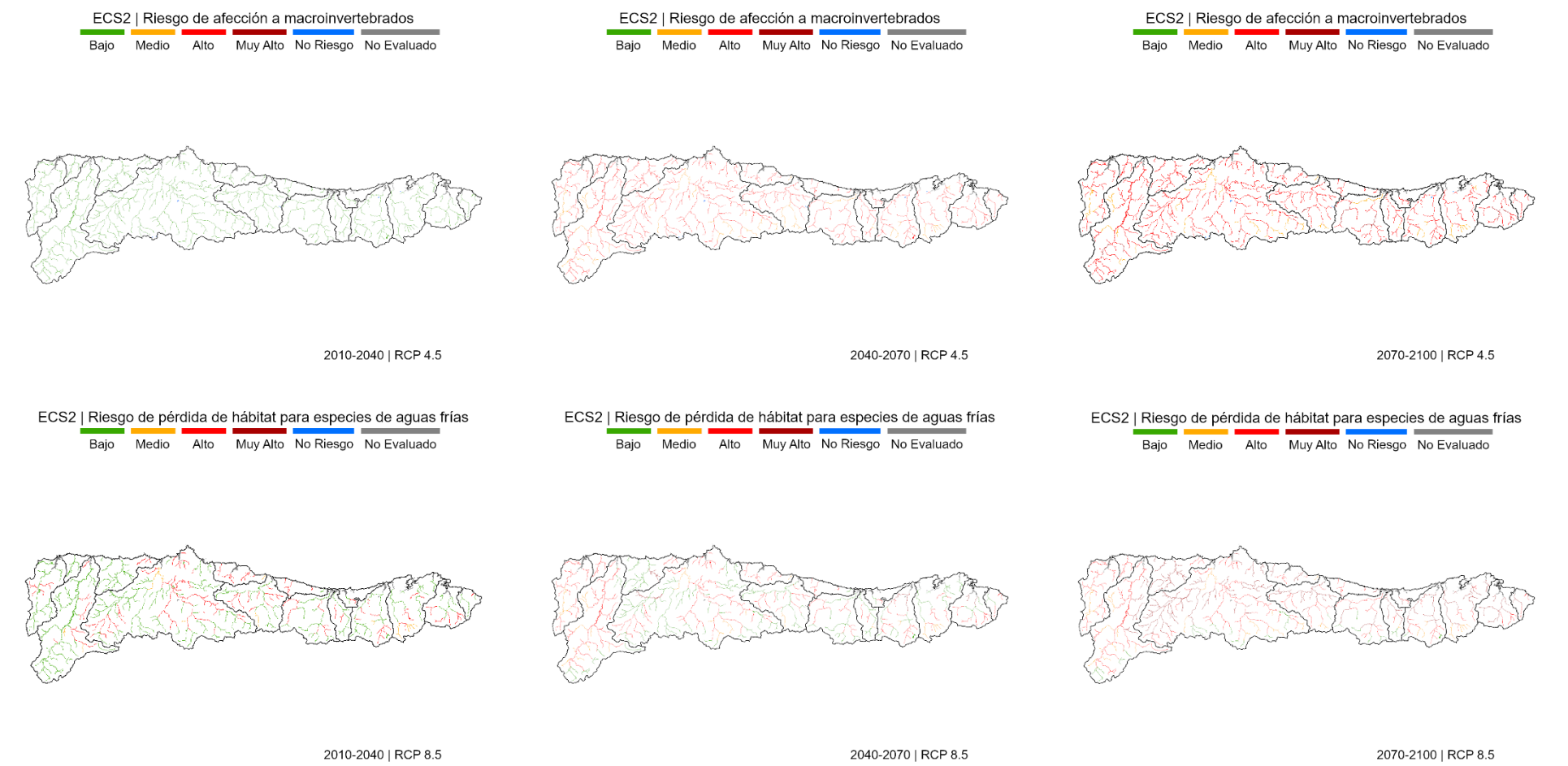


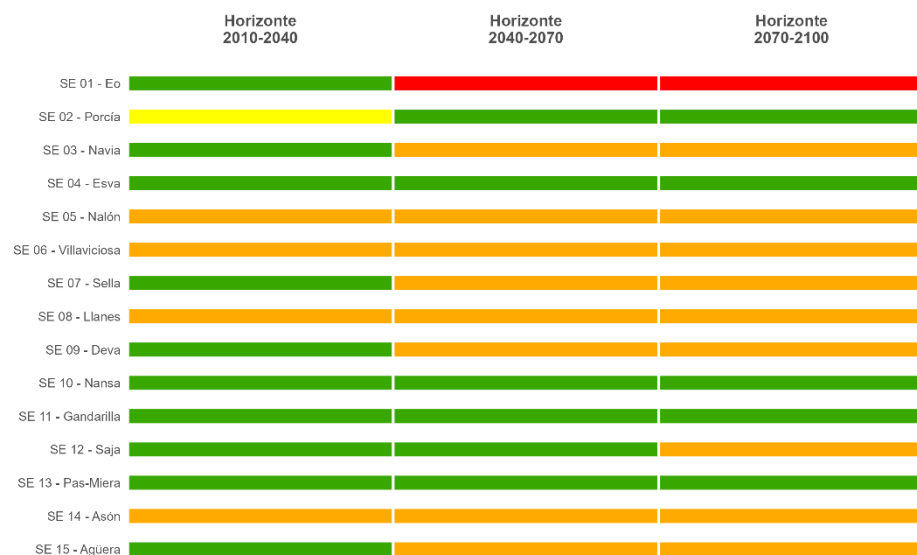
Figura 100. Evaluación del riesgo ECS2 proyectado bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, para los horizontes temporales 2010-2040, 2040-2070 y 2070/2100. Riesgo de afección a macroinvertebrados.

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

ECS2-AF | Pérdida de hábitat para especies de aguas frías

Escenario: RCP 4.5

Riesgo ■ muy bajo ■ bajo ■ medio ■ alto

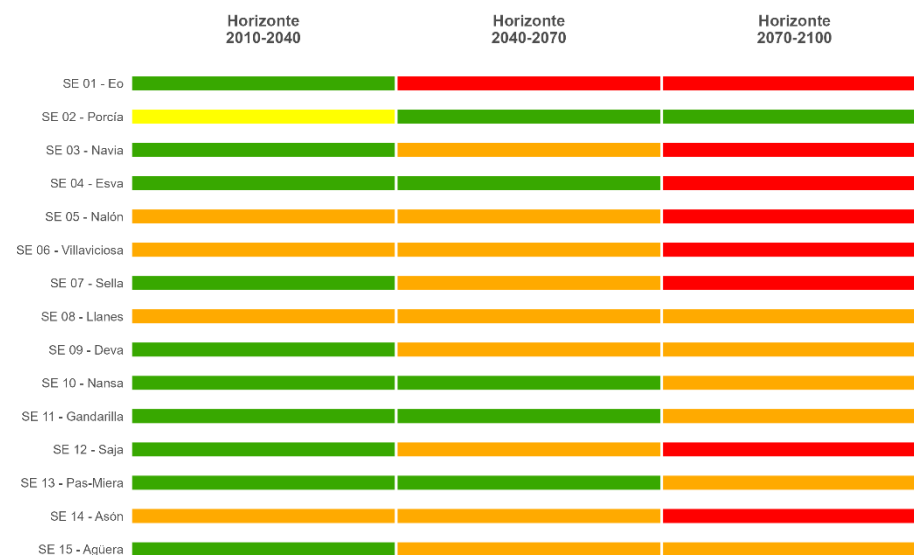


Evolución temporal del riesgo promedio por sistema de explotación

ECS2-AF | Pérdida de hábitat para especies de aguas frías

Escenario: RCP 8.5

Riesgo ■ muy bajo ■ bajo ■ medio ■ alto



Evolución temporal del riesgo promedio por sistema de explotación

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

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 el sistema de explotación 01, donde las variaciones son especialmente significativas. En contraste, los sistemas 02, 03, 07, 09, 12 y 15 experimentan cambios más moderados, con una variación menos acusada respecto del horizonte anterior.

Figura 102. 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 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 01 y 04, donde las variaciones son especialmente significativas. En contraste, los sistemas 02, 03, 05, 06, 07, 09, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 experimentan cambios más moderados, con una variación menos acusada respecto del horizonte anterior.

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: Reducción en la concentración de oxígeno disuelto



Figura 103. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-O2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (RCP 4.5)

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 los sistemas de explotación 03, 05, 07, 09 y 14. En contraste, el sistema 13 experimentan un descenso del riesgo en el horizonte 2070-2100.

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.

Figura 104. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-O2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (RCP 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 evidencian en todos los sistemas de explotación.

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

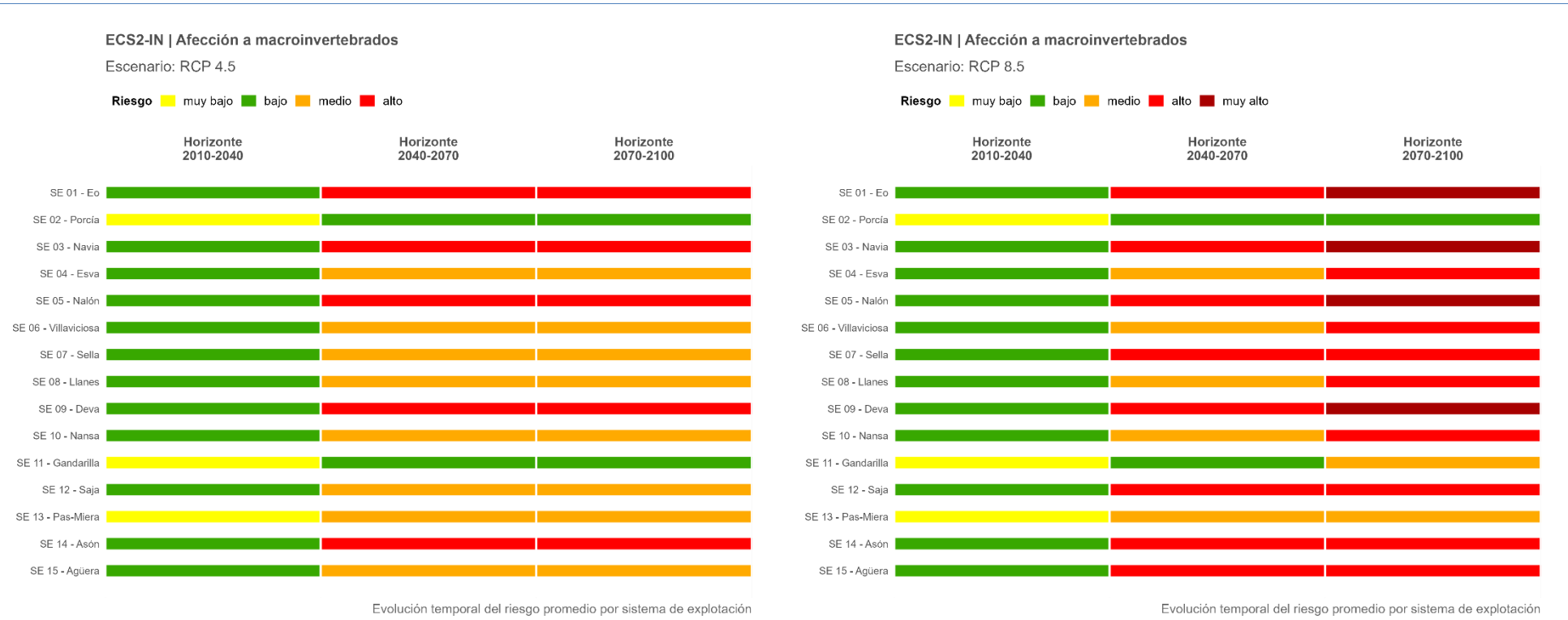


Figura 105. Trayectoria temporal del riesgo ECS2-IN promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (RCP 4.5).

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 los sistemas de explotación 01, 03, 05, 09, 13 y 14, donde las variaciones son especialmente significativas. En contraste, el resto de los sistemas de explotación experimentan cambios más moderados, con una variación menos acusada respecto del horizonte anterior.

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.

Figura 106. 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 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 01, 03, 05, 07, 09, 12, 14 y 15, donde las variaciones son especialmente significativas. En contraste, el resto de los sistemas de explotación experimentan cambios más moderados, con una variación menos acusada respecto del horizonte anterior.

6.21 ECS8. Incremento de la sedimentación en embalses y cauces

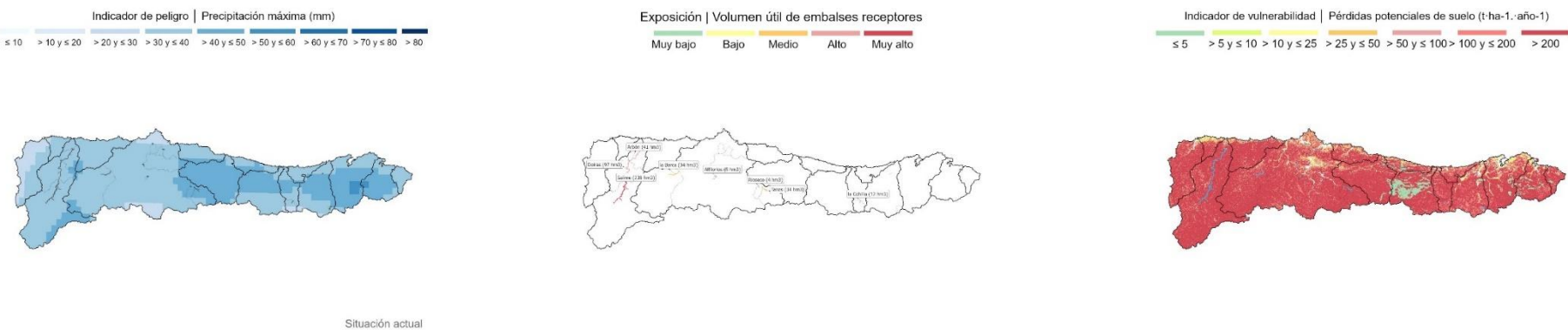


Figura 107. Riesgo ECS8. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad

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

ECS8 | Riesgo de Incremento de la sedimentación en embalses y cauces

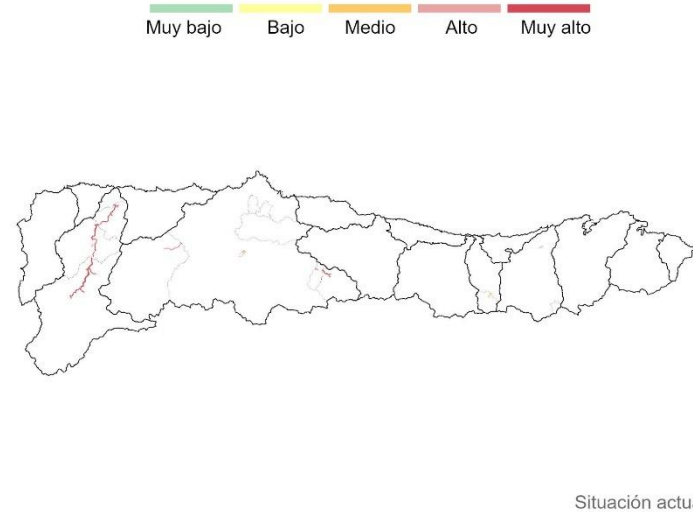


Figura 108. Riesgo ECS8: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)

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 3.21).

6.22 ECS9. Daños sistémicos por sequía prolongada

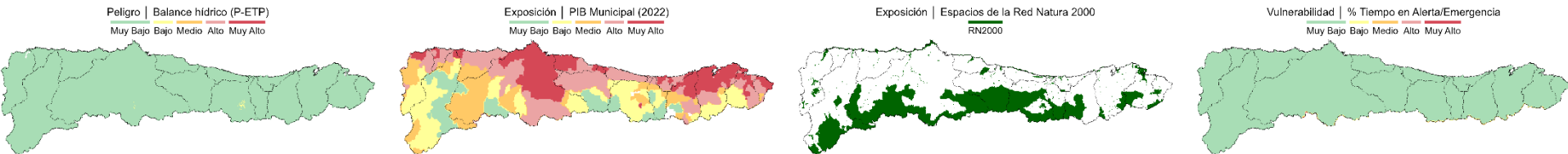


Figura 109. Riesgo ECS9. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad

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

- **Balance hídrico [considerado como 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

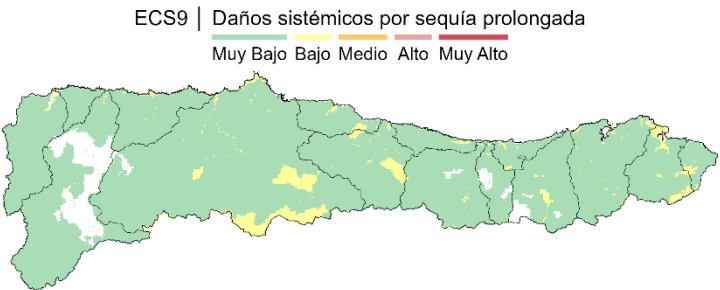


Figura 110. Riesgo ECS9: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)

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.

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

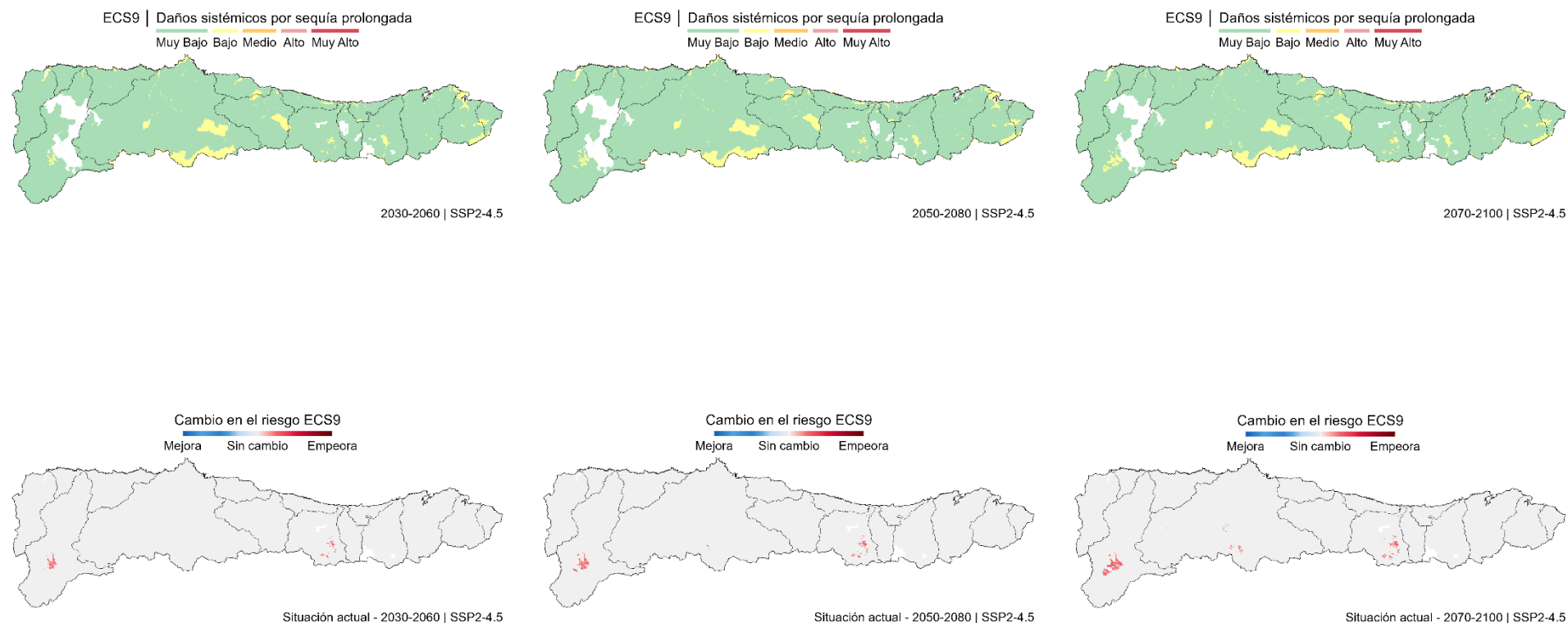


Figura 111. Evaluación del riesgo ECS9 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

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.

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

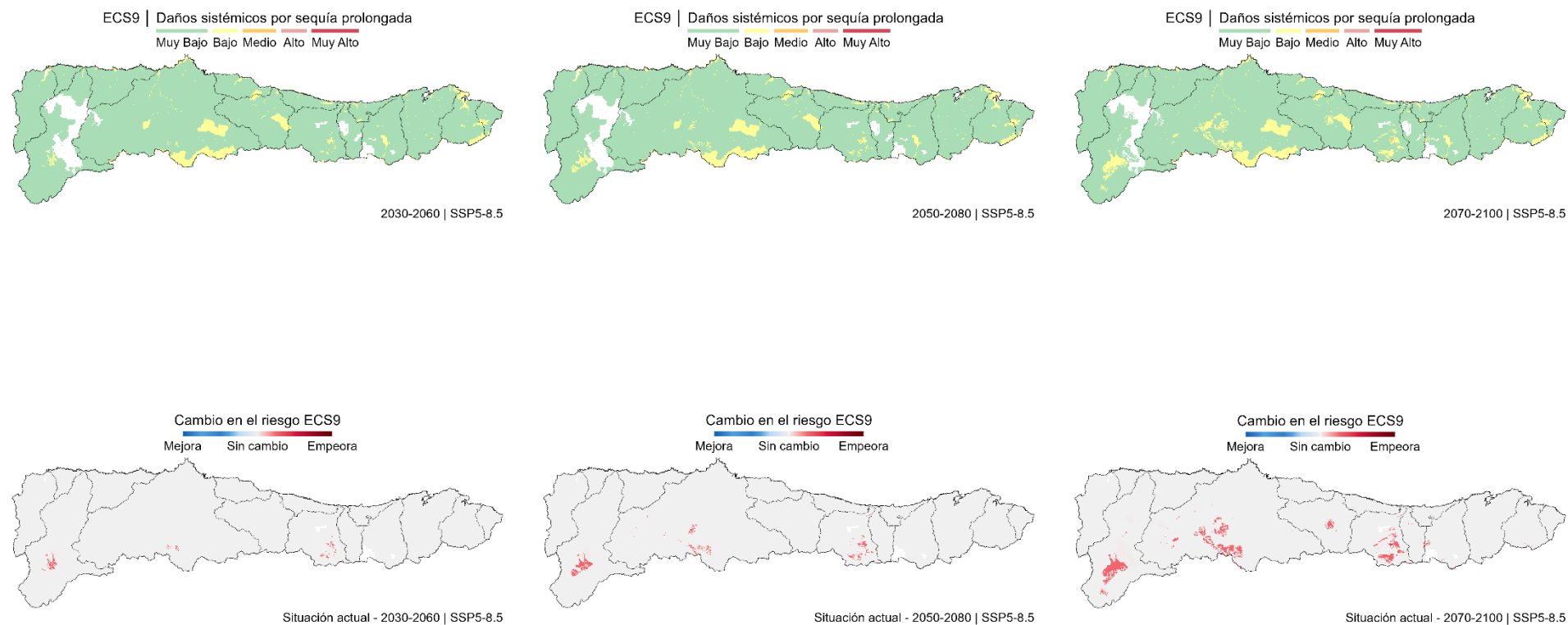


Figura 112. Evaluación del riesgo ECS9 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

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.

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

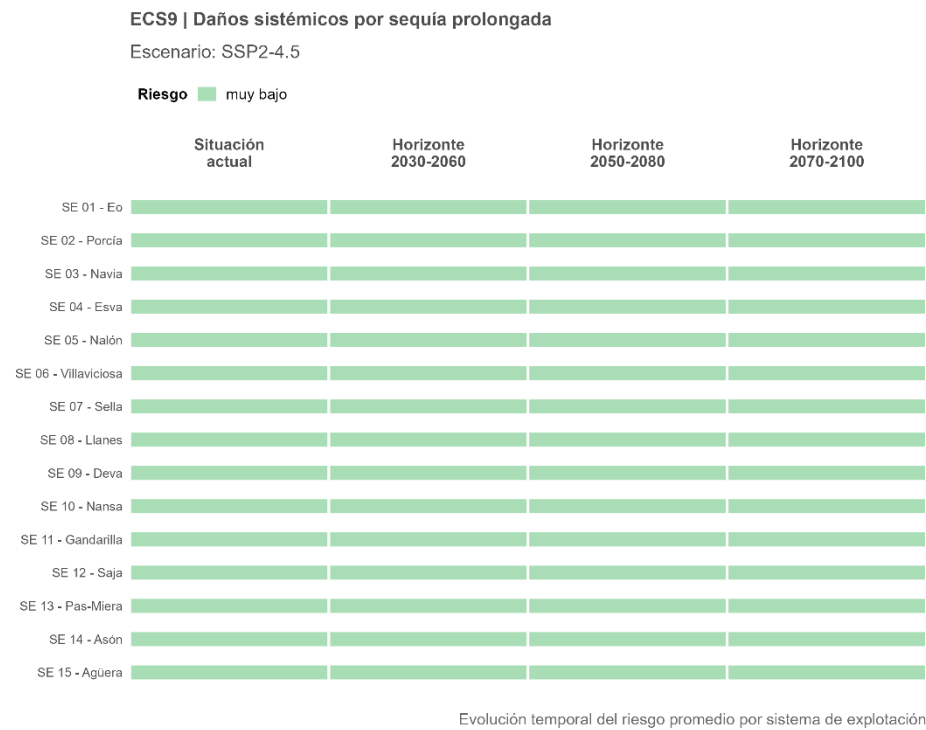


Figura 113. Trayectoria temporal del riesgo ECS9 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

El **escenario intermedio** no muestra una tendencia de cambio en el riesgo de daños sistémicos por sequía prolongada en ningún horizonte analizado.

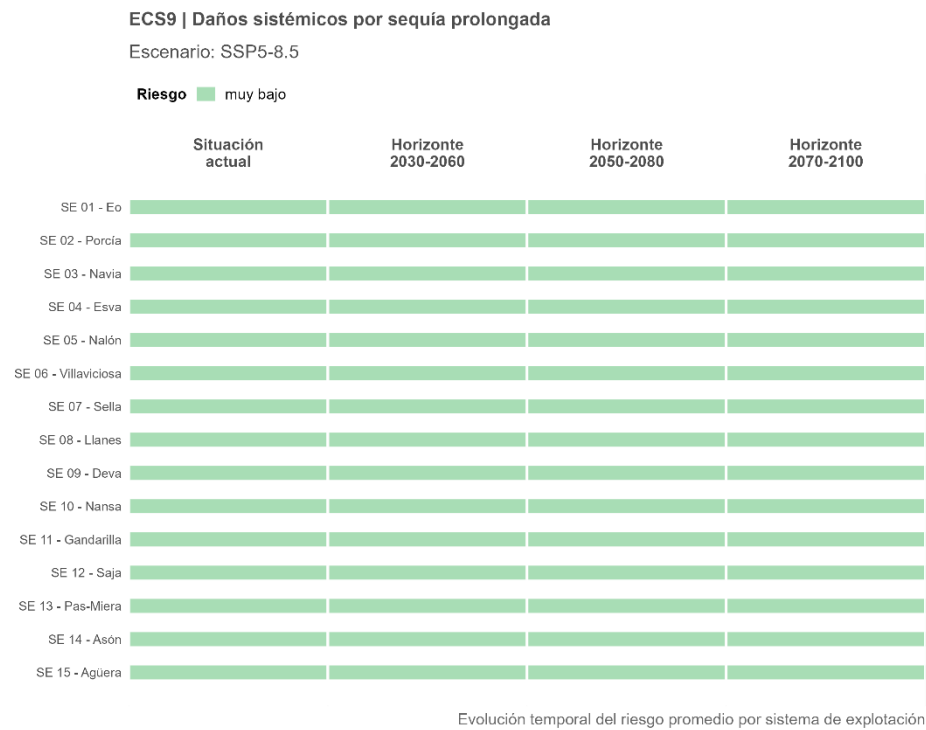


Figura 114. Trayectoria temporal del riesgo ECS9 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

El **escenario de altas emisiones** no muestra una tendencia de cambio en el riesgo de daños sistémicos por sequía prolongada en ningún horizonte analizado.

6.26 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.

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

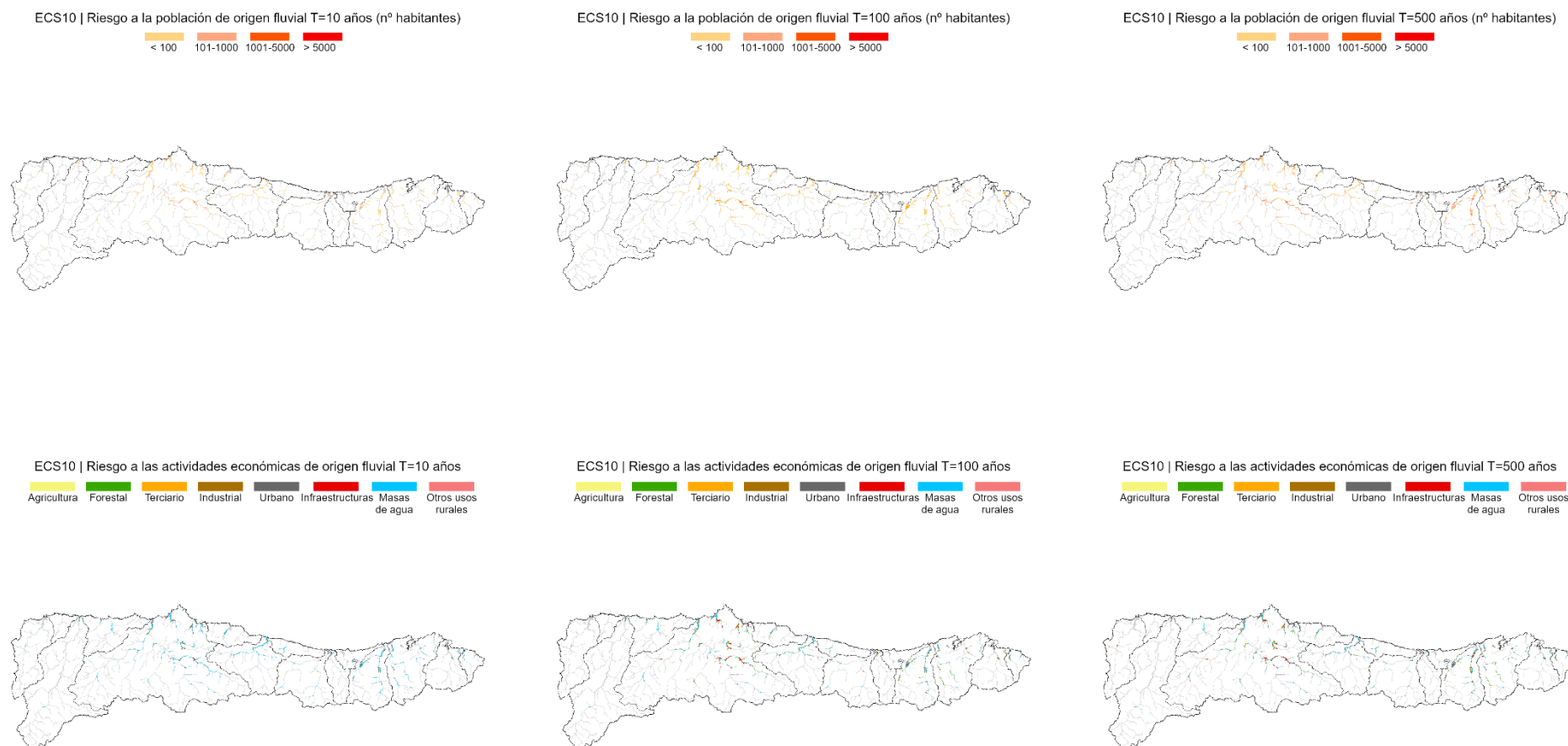


Figura 115. Mapas de riesgo por inundaciones de origen fluvial para la población (arriba) y actividad económica (debajo). Periodos de retorno T= 10, 100 y 500. Fuente SNCZI

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 3.21), se ha optado por no proyectar este riesgo a los horizontes futuros de cálculo.

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

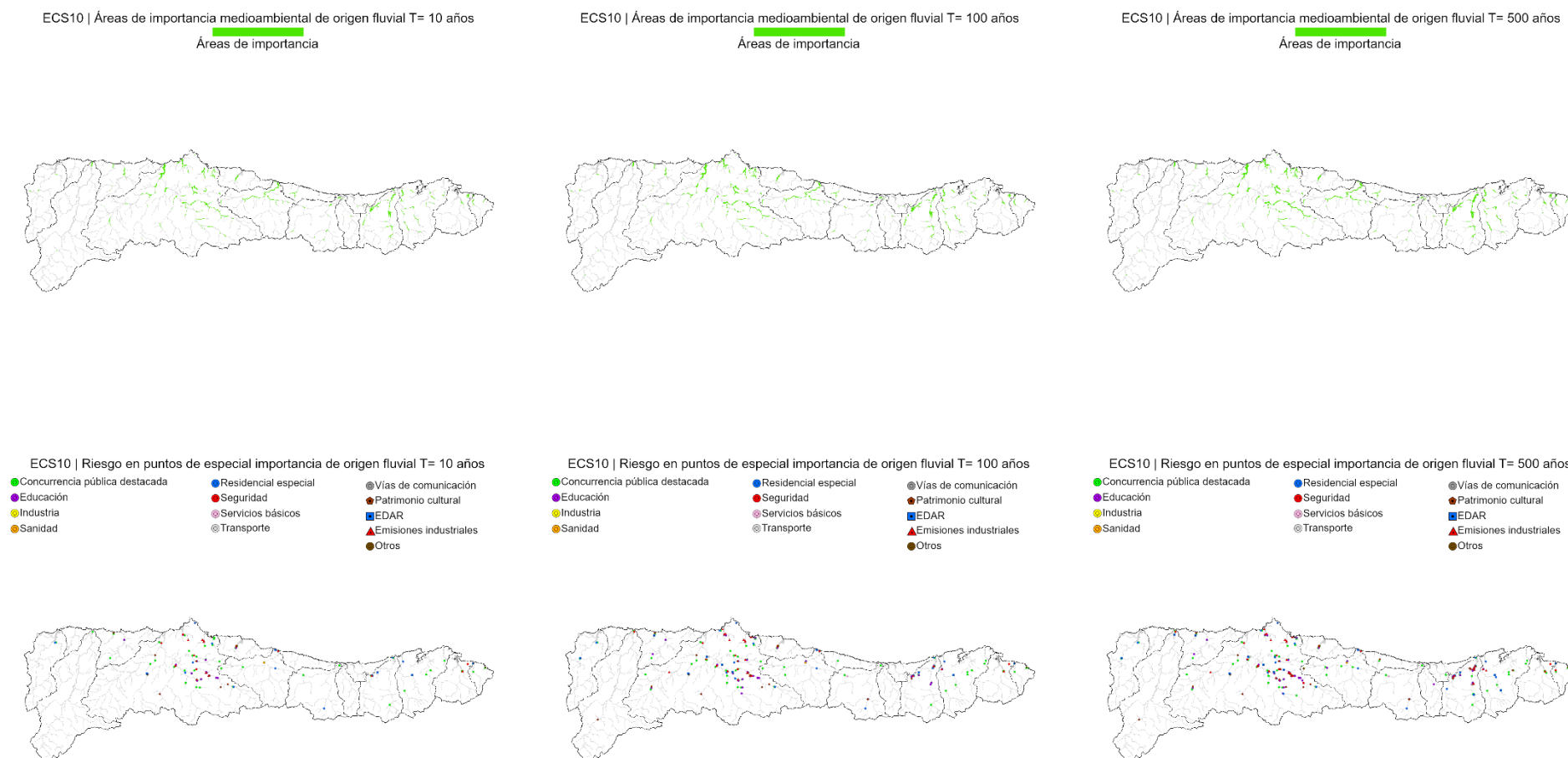


Figura 116. Mapas de riesgo por inundaciones de origen fluvial para áreas de importancia ambiental (arriba) y puntos de especial importancia (debajo). Periodos de retorno T= 10, 100 y 500. Fuente SNCZI

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 3.21), se ha optado por no proyectar este riesgo a los horizontes futuros de cálculo.

6.29 ECS11. Daños sistémicos por inundaciones costeras y temporales marítimos

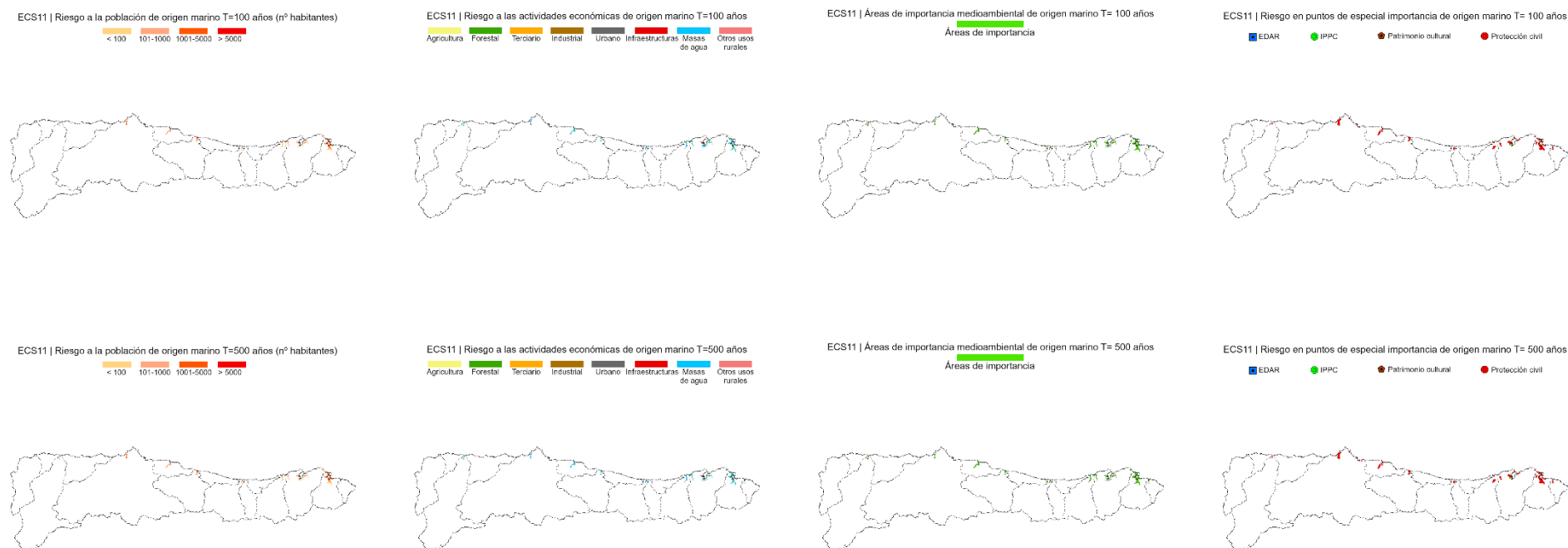


Figura 117. Mapas de riesgo por inundaciones de origen marino para: población; actividades económicas; áreas de importancia ambiental; y puntos de especial importancia. Periodos de retorno T= 100 y 500. Fuente SNCZI

Para proyectar la peligrosidad de inundación costera, los indicadores climáticos más adecuados son: subida del nivel medio del mar; nivel extremo (marea astronómica y marea meteorológica / marejada por viento y presión); oleaje extremo y sus efectos en costa (sobreelevación por oleaje y remonte del oleaje); y moduladores locales como subsidencia y cambios morfodinámicos / sedimentarios. El EACC no aborda la cartografía del riesgo futuro, incorporando únicamente los mapas de riesgo actual del SNCZI (Figura 117), en coherencia con la planificación oficial (PGRI).

La síntesis «Inundaciones y Cambio Climático. Estudios y experiencias a nivel europeo (2018-2024)» (CSIC-MITECO 2025) destaca que las grandes incertidumbres del encadenamiento “clima→extremos→peligrosidad” han llevado a integrar el cambio climático en la gestión del riesgo de inundación de forma limitada, y que los resultados de modelos climáticos son difíciles de trasladar a mapas operativos, especialmente para extremos y periodos de retorno altos. En costa, el nivel extremo depende de la superposición de componentes y de la morfología / sedimentos, y los temporales pueden coincidir con lluvias intensas y aportes fluviales (riesgo compuesto), añadiendo incertidumbre adicional. Por ello, el EACC adopta el SNCZI como línea base y remite el análisis prospectivo a estudios específicos y a revisiones del PGRI.

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

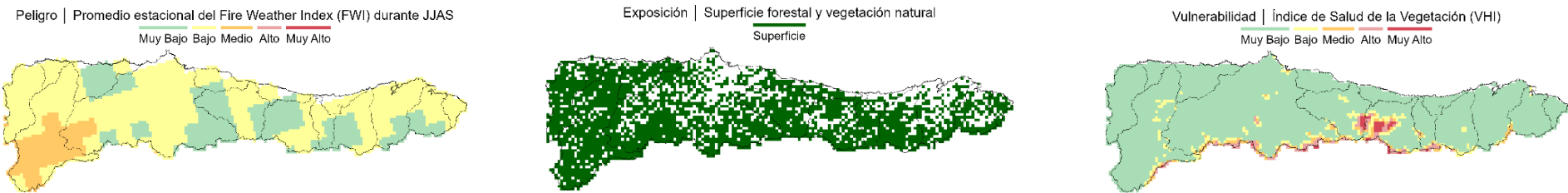


Figura 118. Riesgo ECS13. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad

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 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⁾. Mediana de valores mensuales agregados.

Todos los datos excepto el peligro¹², 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

ECS13 | Incremento de la incidencia de incendios forestales asociados al clima
Muy Bajo Bajo Medio Alto Muy Alto

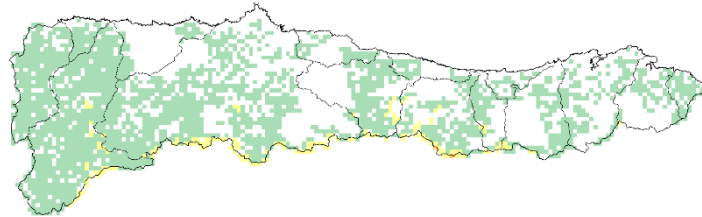


Figura 119. Riesgo ECS13: Mapa de situación actual (periodo 1971 – 2005)

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.

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

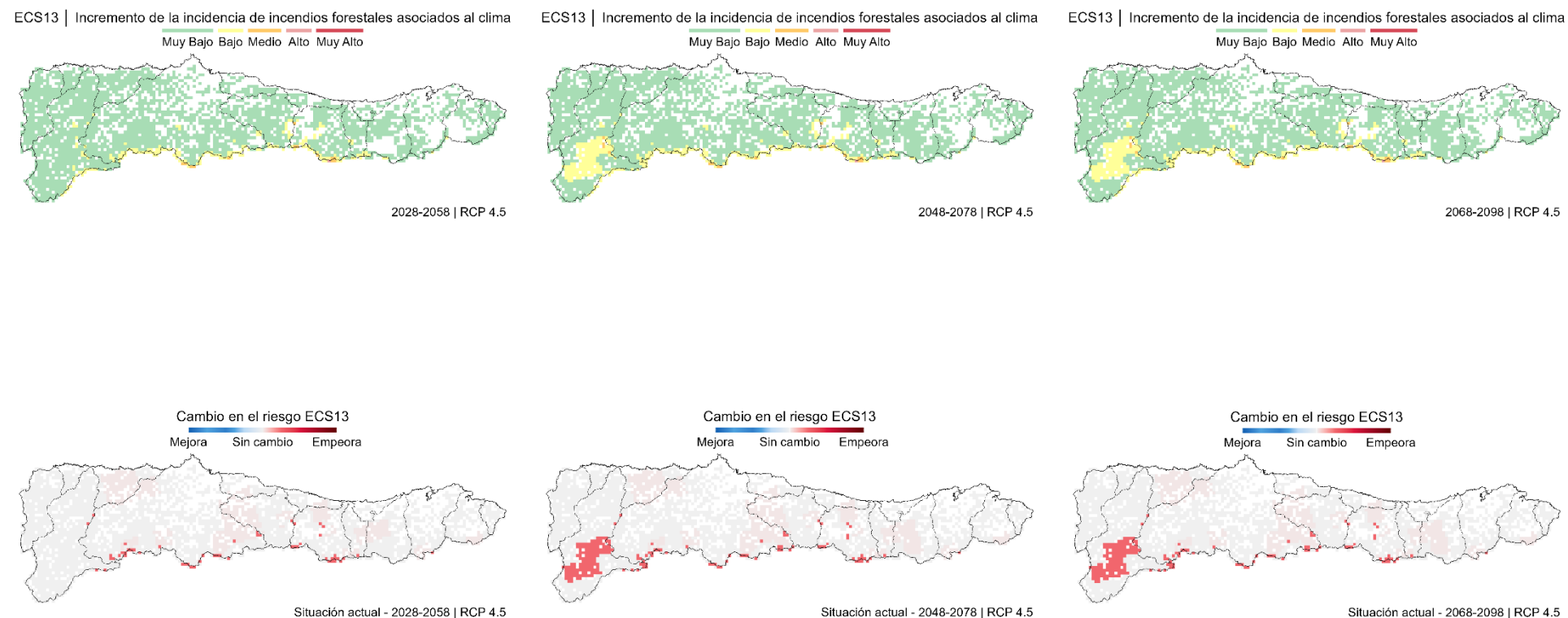


Figura 120. Evaluación del riesgo ECS13 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2028/2058, 2048/2078 y 2068/2098 respecto a la situación de riesgo actual.

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.

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

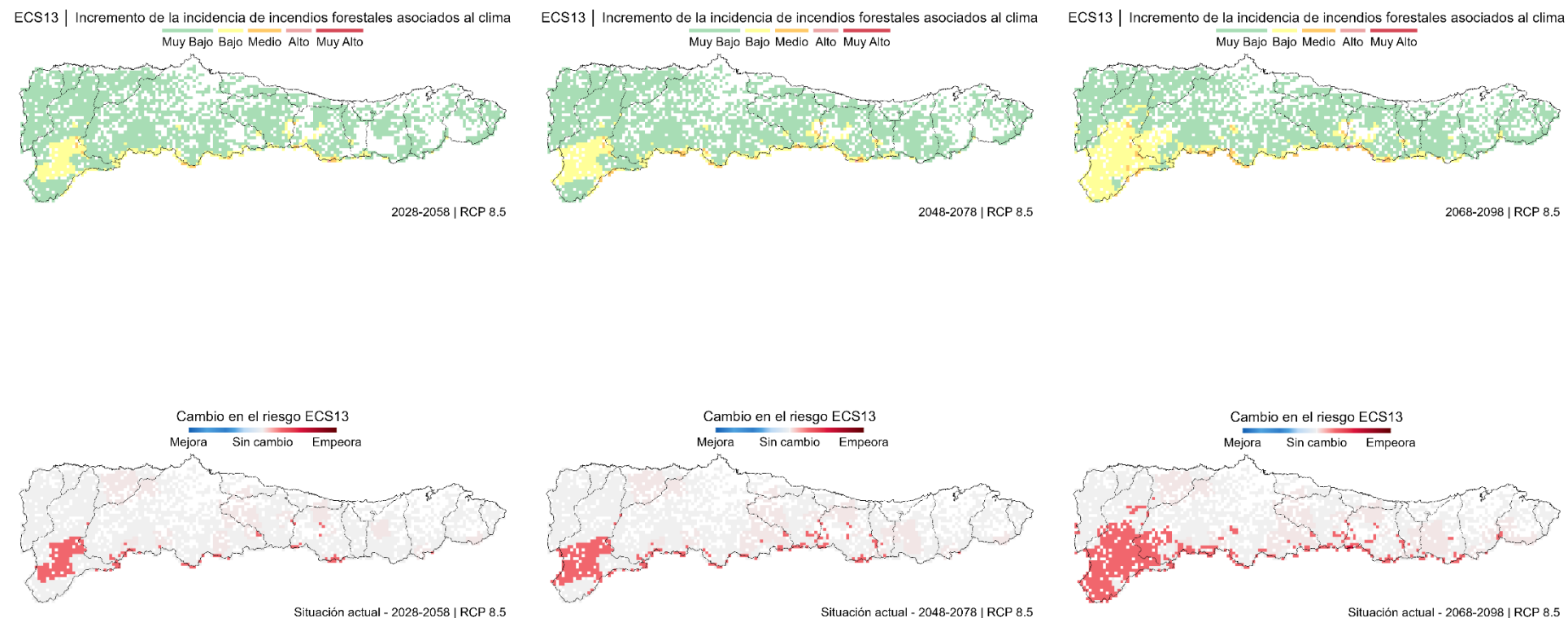


Figura 121. Evaluación del riesgo ECS13 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2028/2058, 2048/2078 y 2068/2098 respecto a la situación de riesgo actual.

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.

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

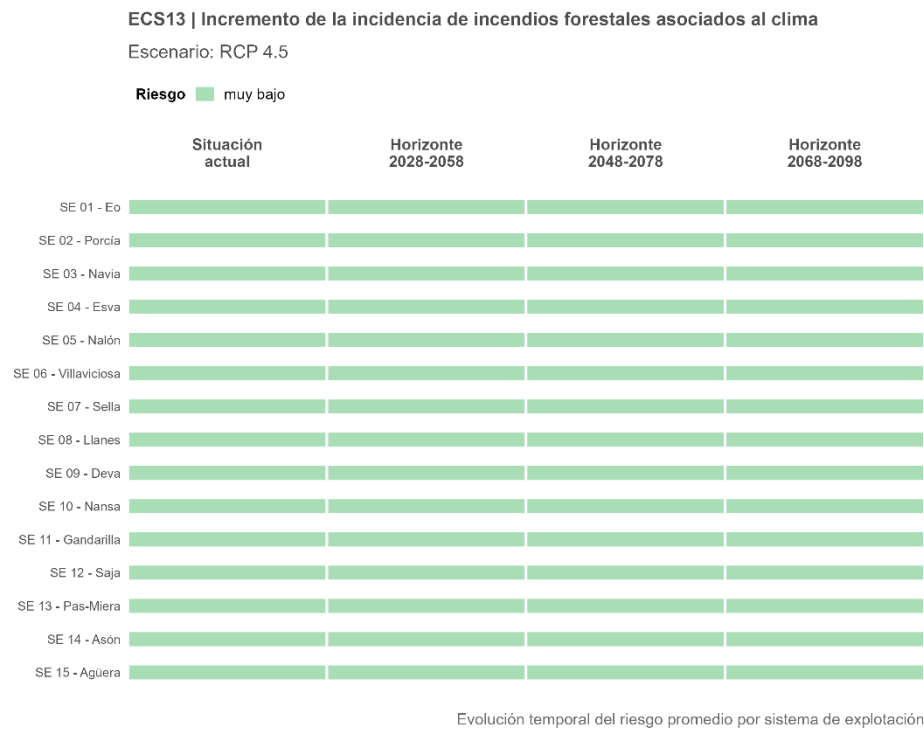


Figura 122. Trayectoria temporal del riesgo ECS13 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

El **escenario intermedio** no muestra una tendencia de cambio en el riesgo de incendios forestales asociados al clima en ningún horizonte analizado.

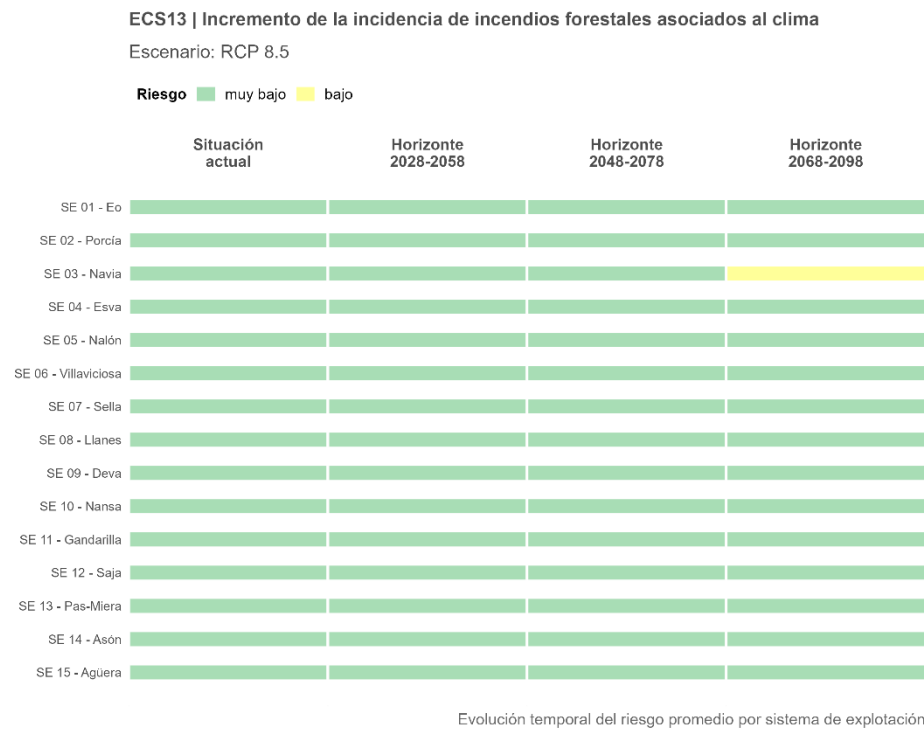


Figura 123. Trayectoria temporal del riesgo ECS13 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario de altas emisiones** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en el horizonte 2068-2098. Los incrementos del riesgo se concentran en el sistema de explotación 03.

6.34 AU1. Reducción de la garantía de suministro al abastecimiento

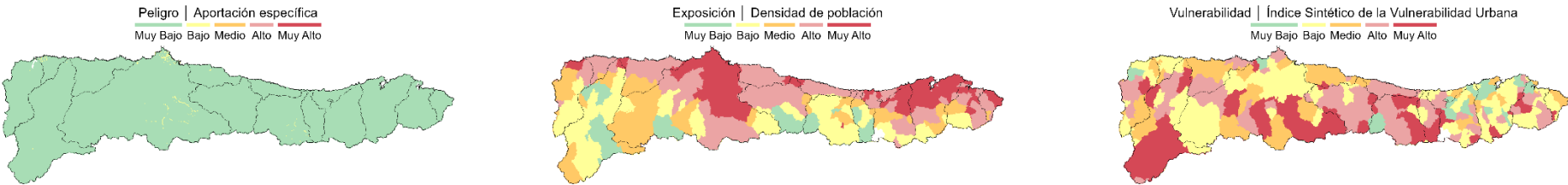


Figura 124. Riesgo AU1. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad, sin tener en cuenta el efecto de regulación de las infraestructuras existentes

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. Menor nivel de aportación, más peligro.
- **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

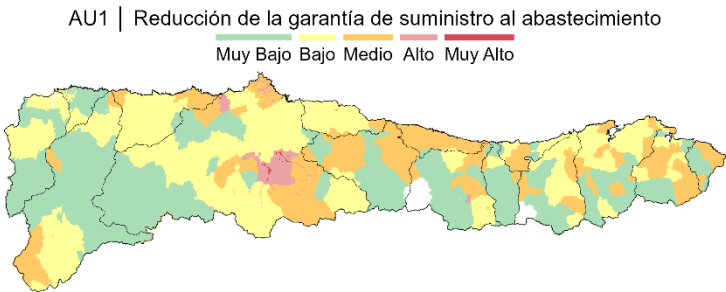


Figura 125. Riesgo AU1: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)

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.

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

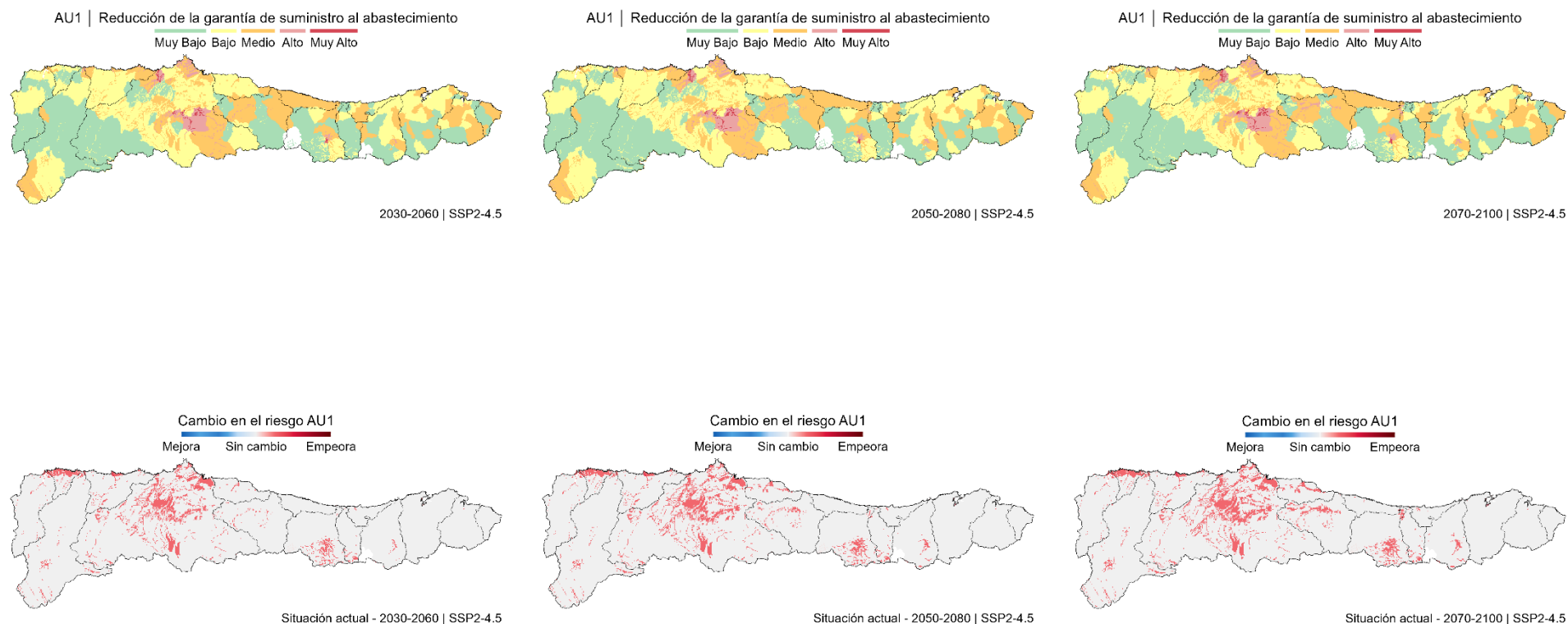


Figura 126. Evaluación del riesgo AU1 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual, sin tener en cuenta el efecto de regulación de las infraestructuras existentes.

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.

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

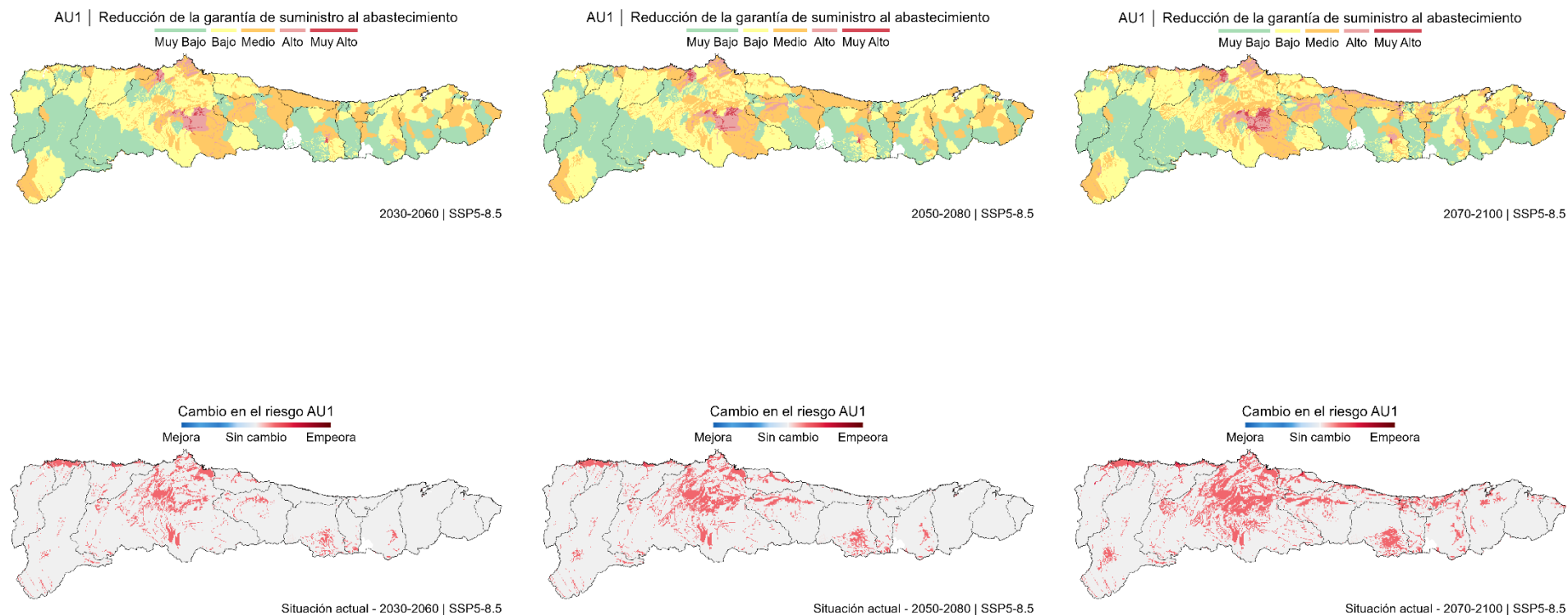


Figura 127. Evaluación del riesgo AU1 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual, sin tener en cuenta el efecto de regulación de las infraestructuras existentes.

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.

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

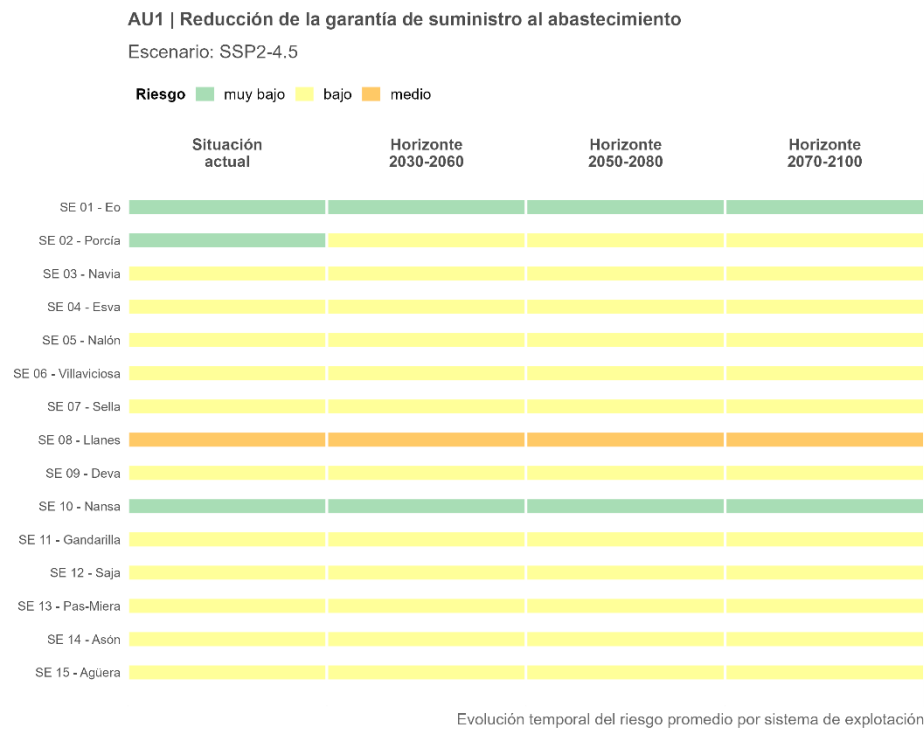


Figura 128. Trayectoria temporal del riesgo AU1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario intermedio** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en el horizonte 2030-2060. Los incrementos del riesgo se concentran en el sistema de explotación 02.

Al igual que en los riesgos ECS9, AG2 y EI1, en la presente evaluación de riesgos no se ha tenido en cuenta el papel mitigador que tiene la existencia de obras de regulación que permiten incrementar la disponibilidad natural de los recursos hídricos. Ante escenarios con mayor irregularidad de aportaciones, menor aportación nival y fenómenos extremos más intensos, el incremento de la resiliencia al impacto del cambio climático es cada vez más importante por parte de estas infraestructuras.

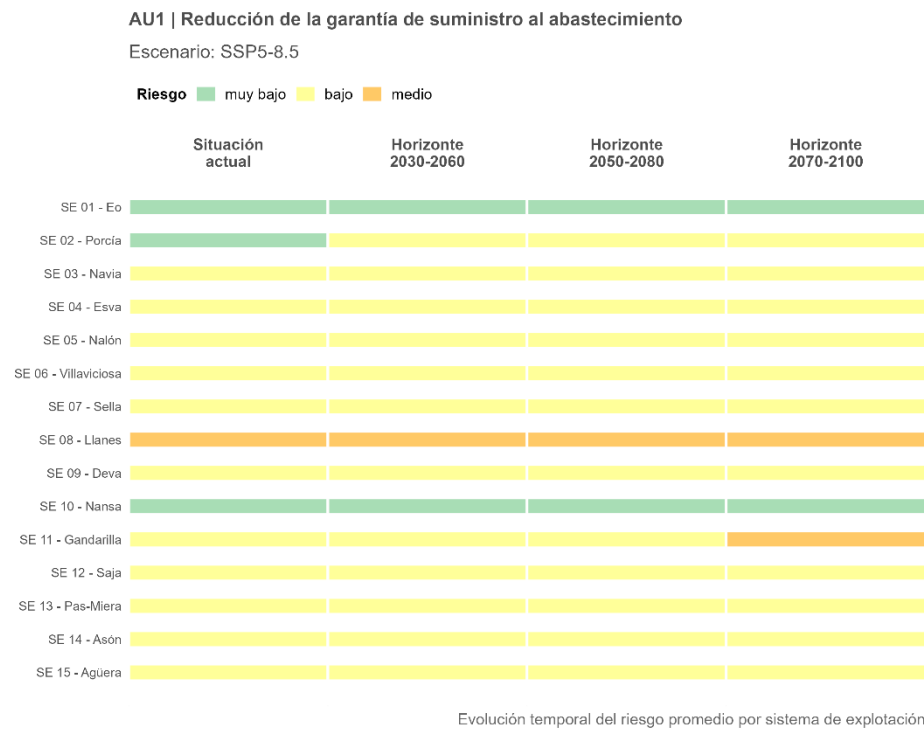


Figura 129. Trayectoria temporal del riesgo AU1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario de altas emisiones** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en los horizontes 2030-2060 y 2070-2100. Los incrementos del riesgo se concentran en los sistemas de explotación 02 y 11.

6.38 AG2. Reducción de la garantía de suministro del regadío

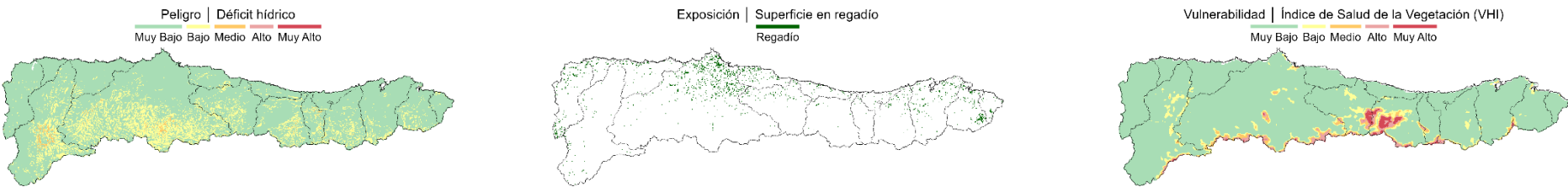


Figura 130. Riesgo AG2. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad, sin tener en cuenta el efecto de regulación de las infraestructuras existentes

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

- **Déficit hídrico [entendido como 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. Mediana de los valores mensuales agregados de forma anual.

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

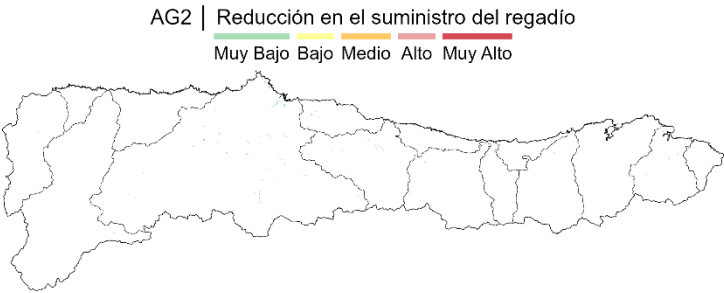


Figura 131. Riesgo AG2: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)

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

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

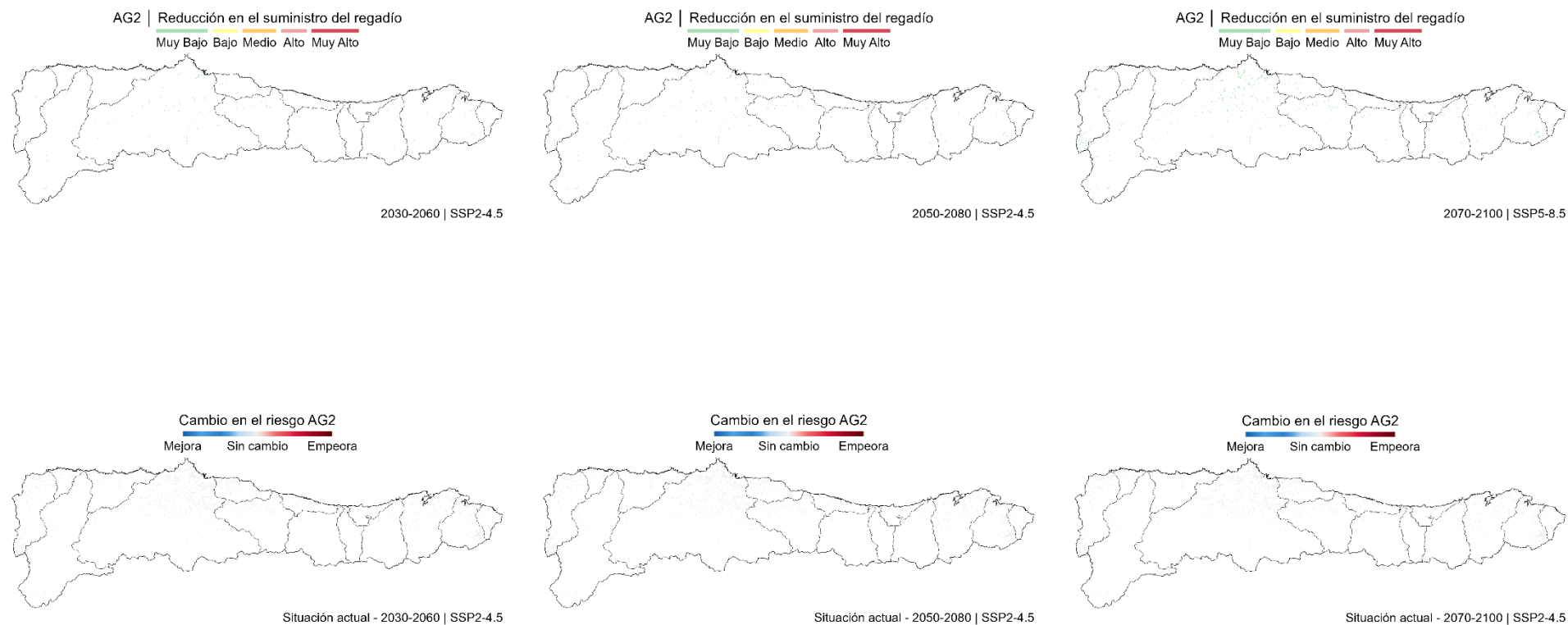


Figura 132. Evaluación del riesgo AG2 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual, sin tener en cuenta el efecto de regulación de las infraestructuras existentes.

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.

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

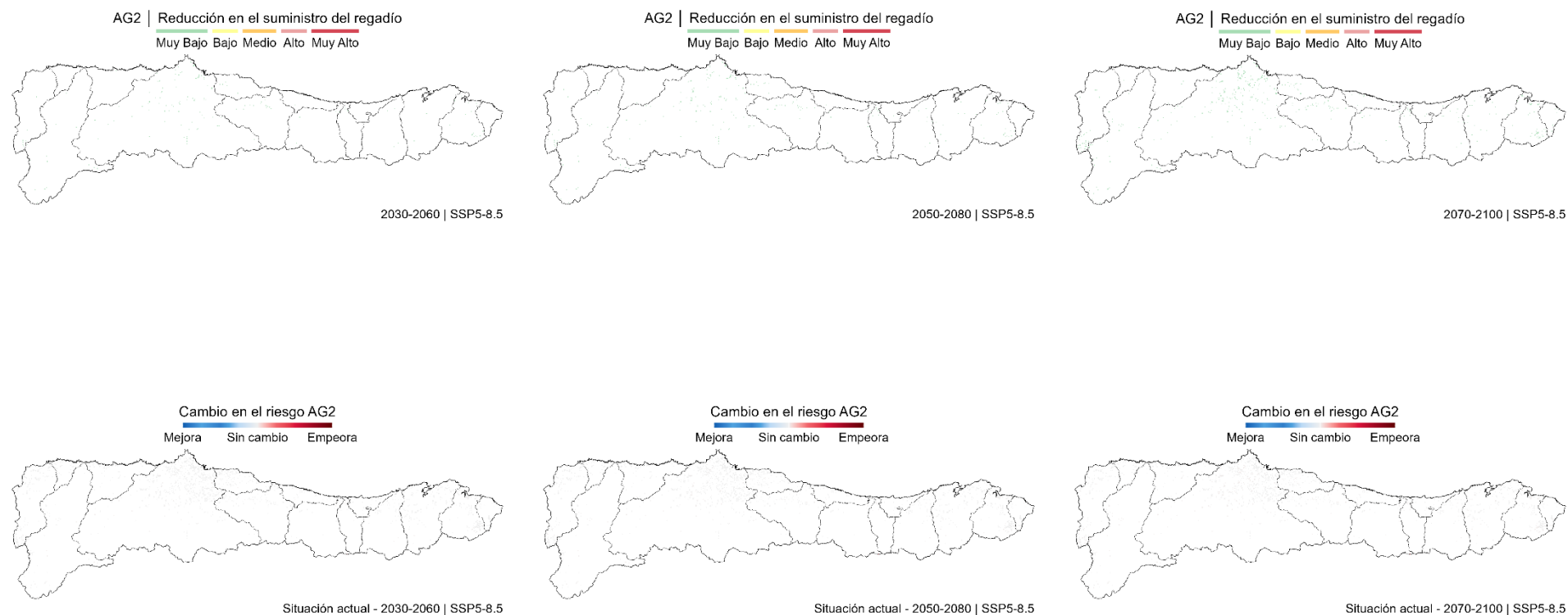


Figura 133. Evaluación del riesgo AG2 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

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.

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

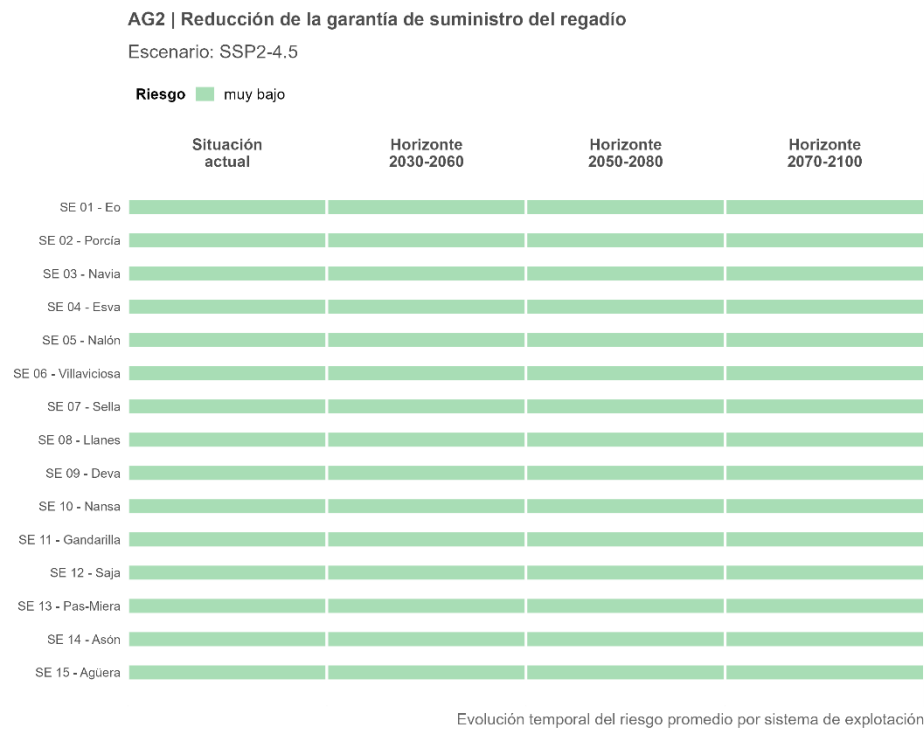


Figura 134. Trayectoria temporal del riesgo AG2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

El **escenario intermedio** no muestra una tendencia de cambio en el riesgo de reducción de la garantía de suministro del regadío en ningún horizonte analizado.

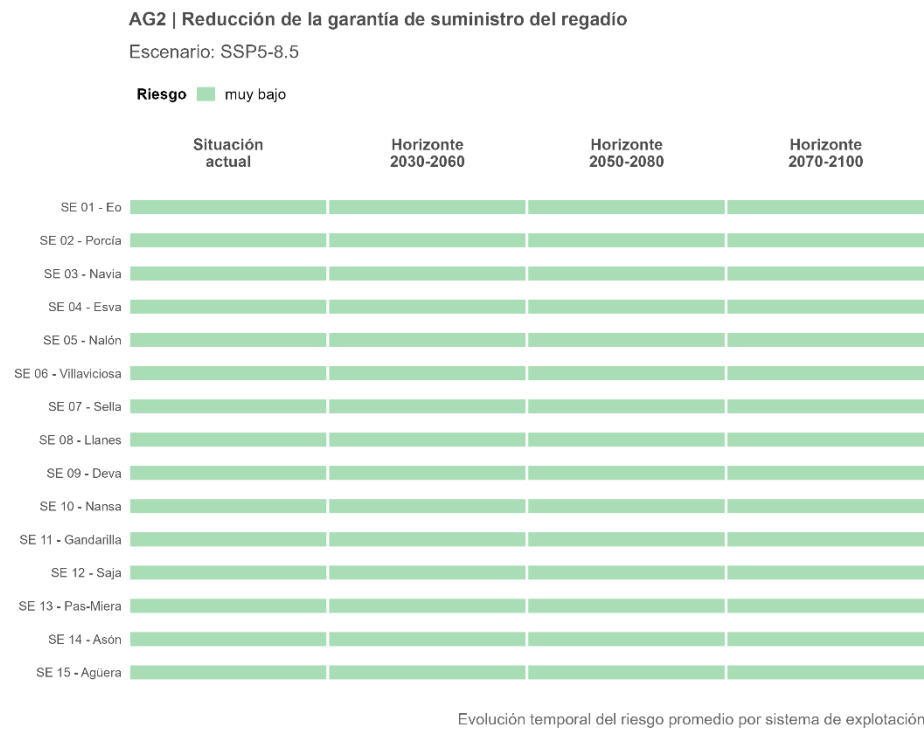


Figura 135. Trayectoria temporal del riesgo AG2 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

El **escenario de altas emisiones** no muestra una tendencia de cambio en el riesgo de reducción de la garantía de suministro del regadío en ningún horizonte analizado.

6.42 EI1. Disminución de la producción hidroeléctrica

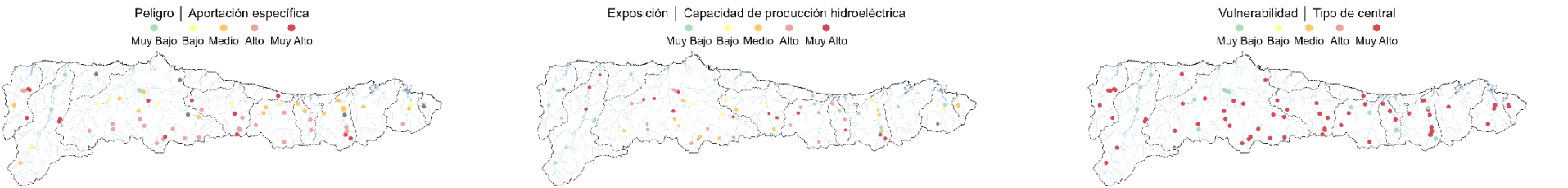


Figura 136. Riesgo EI1. Mapas de los indicadores de peligro, exposición y vulnerabilidad

- 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					NC total
		Cobertura	Fuente	Resolución	Temporal	Proyección	
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

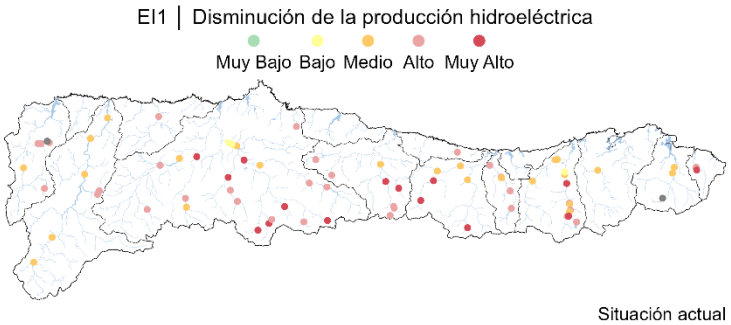


Figura 137. Riesgo EI1: Mapa de situación actual (periodo 1980/81 – 2022/23)

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.

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

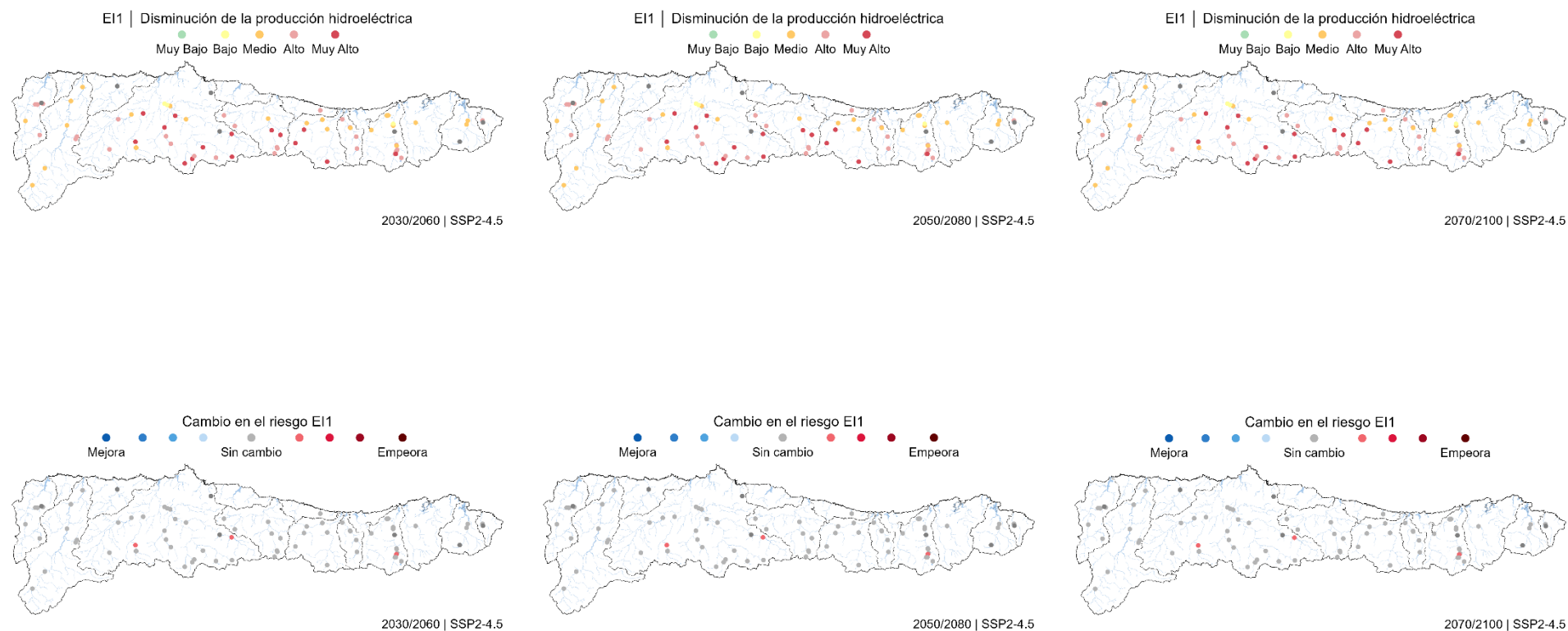


Figura 138. Evaluación del riesgo EI1 proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

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.

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

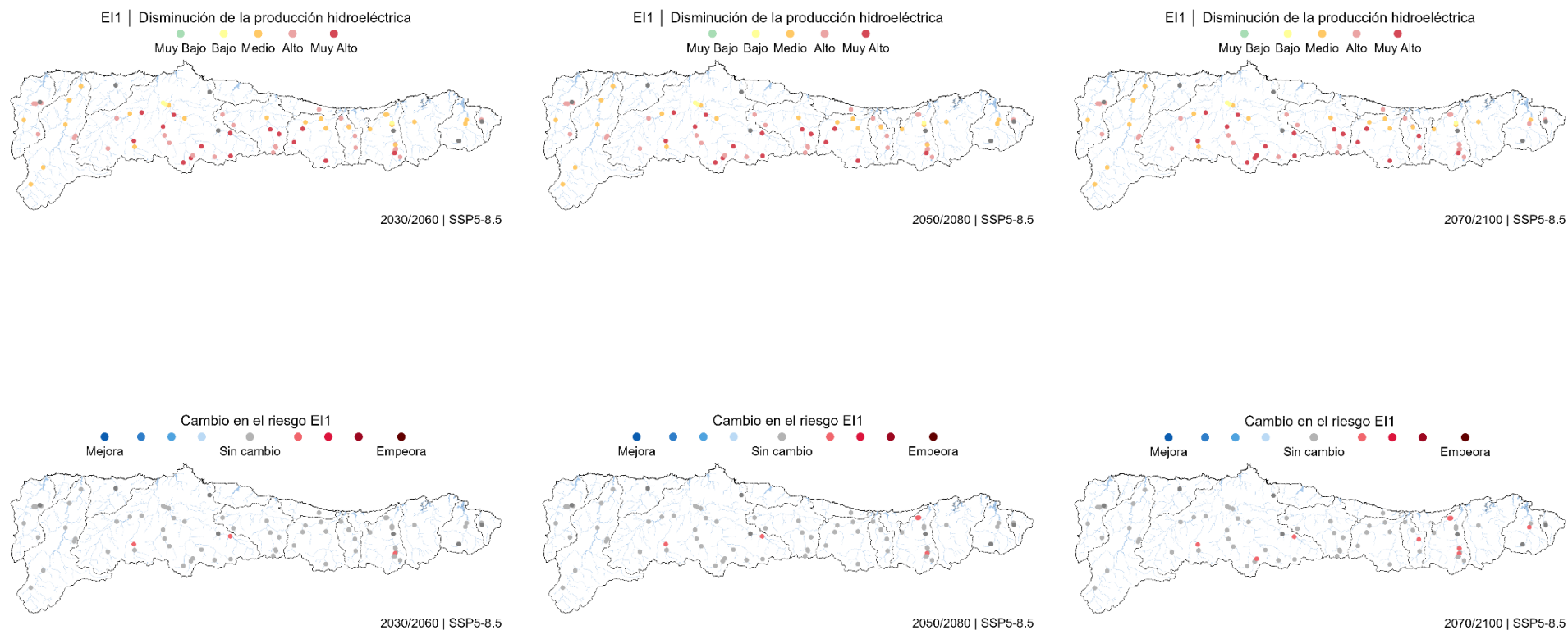


Figura 139. Evaluación del riesgo EI1 proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5), para los horizontes temporales 2030/2060, 2050/2080 y 2070/2100 respecto a la situación de riesgo actual.

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.

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

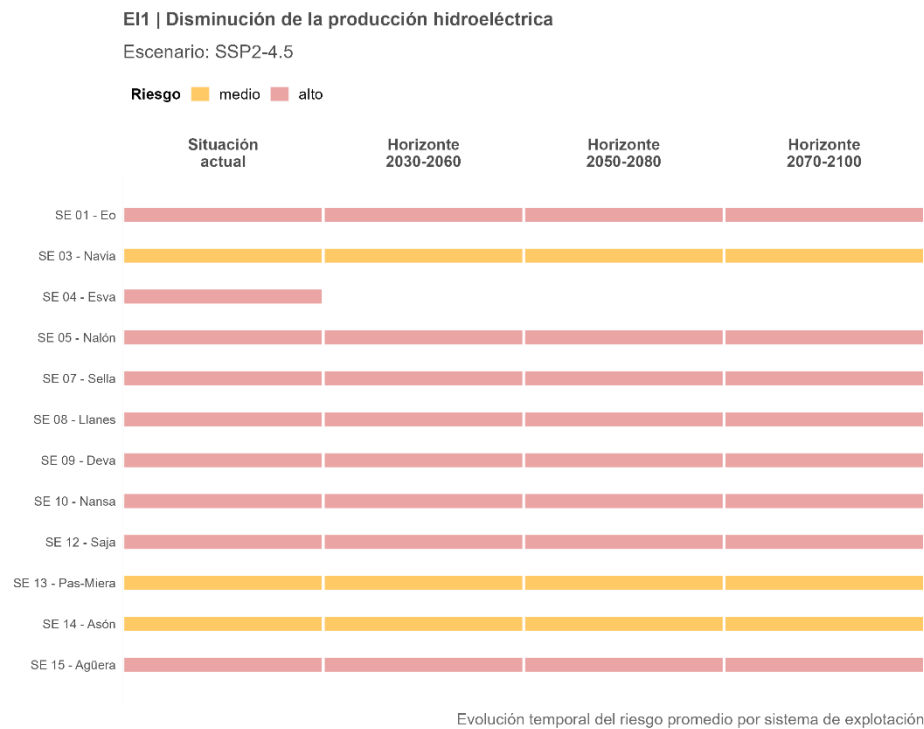


Figura 140. Trayectoria temporal del riesgo EI1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario intermedio (SSP2-4.5).

El **escenario intermedio** no muestra una tendencia de cambio de riesgo en la disminución de la producción hidroeléctrica.

Al igual que en los riesgos ECS9, AU2 y EI1, en la presente evaluación de riesgos no se ha tenido en cuenta el papel mitigador que tiene la existencia de obras de regulación que permiten incrementar la disponibilidad natural de los recursos hídricos. Ante escenarios con mayor irregularidad de aportaciones, menor aportación nival y fenómenos extremos más intensos, el incremento de la resiliencia al impacto del cambio climático es cada vez más importante por parte de estas infraestructuras.

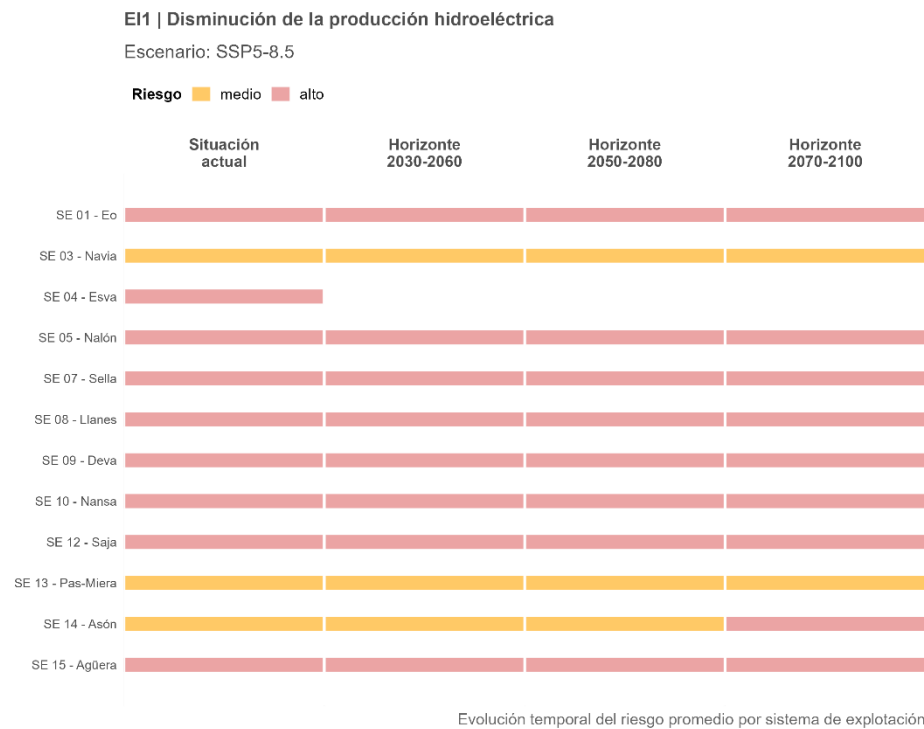


Figura 141. Trayectoria temporal del riesgo EI1 promedio por sistema de explotación, proyectado bajo el escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

El cambio en el riesgo asociado al **escenario de altas emisiones** muestra una tendencia marcada al empeoramiento en el horizonte 2070-2100. Los incrementos del riesgo se concentran en el sistema de explotación 14.

7. Medidas de Adaptación

Metodología

Selección de medidas para caracterización detallada

Selección de medidas para caracterización detallada

Integración del EACC en el ciclo de planificación hidrológica

RD – Recursos disponibles y escasez hídrica

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 (SUDS e infraestructura azul-verde)

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

OT2. Gestión adaptativa de humedales costeros y acuíferos litorales frente al ascenso del nivel del mar

OT3. Movilización y gestión de sedimentos en embalses y cauces

OT4. Planificación y ordenación adaptativa del litoral frente al ascenso del nivel del mar

7.1 Caracterización general de medidas de adaptación



SHARING ADAPTATION
KNOWLEDGE FOR
A CLIMATE-RESILIENT
EUROPE



El EACC debe desembocar en propuestas concretas de actuaciones 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, hidromorfología ...
- **Subtipo-clave (nivel 2):** bloques más específicos, asociados a una presión o enfoque concreto (p.ej. contaminación difusa por agricultura, gestión de acuíferos, prevención de inundaciones).
- **Subtipo IPH (nivel 3):** tipologías operativas que se emplean para codificar las actuaciones en los planes.

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 **maladaptación** (p.ej. obras rígidas que desplazan el riesgo, 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, con diversas opciones: creación de un nuevo tipo-clave 20 dedicado a cambio climático, con subtipos para adaptación y mitigación; creación de nuevos subtipos-clave específicos de cambio climático (p.ej. 07.03 Adaptación y 08.03 Mitigación; o repartir las nuevas medidas entre subtipos-clave preexistentes, ajustando sus descripciones (opción que refuerza la transversalidad de la adaptación); finalmente, mantener la estructura actual y usar los subtipos 07.01.08 (adaptación) y 07.01.09 (mitigación) como “contenedor” de ejemplos, sin cambios de codificación. A efectos del EACC, se deja abierta la decisión final, proponiendo una integración razonada, supeditada a la validación y consolidación en el diseño del PdM del cuarto ciclo.

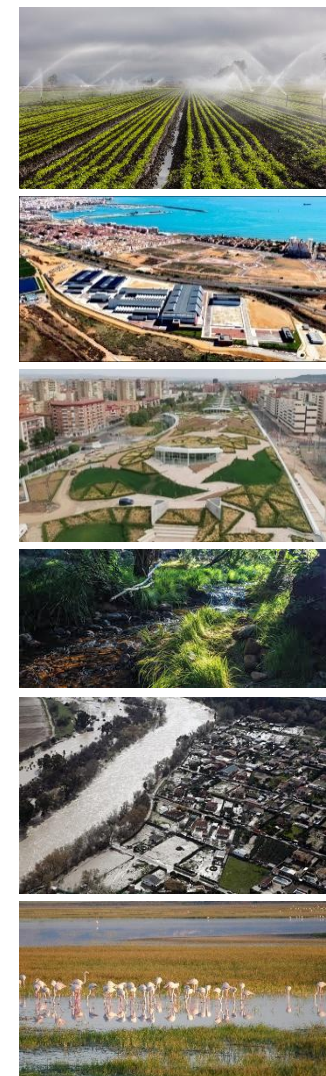
7.2 Selección de medidas para caracterización detallada

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 0](#), 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, SBN, PES, PGRI, costa) 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 maladaptación.** Se revisa la posible aceptación por parte de actores clave (usuarios del agua, administraciones, sectores económicos, ONG) y se evalúan riesgos de maladaptación (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, NbS de retención, gestión forestal sensible al agua, servicios climáticos, diseño urbano azul-verde, gestión 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**¹⁸.

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.

¹⁸ La numeración de las medidas se ha mantenido conforme al esquema establecido a nivel estatal. No obstante, dado que determinadas medidas carecen de aplicabilidad en esta demarcación, han sido omitidas de la presente relación, resultando en una secuencia numérica no correlativa.

7.3 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, telectura, 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, telectura, 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., NRW, 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) y concentraciones en saneamiento; 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/porte/porte-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		

7.4 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
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.		Exposición
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Evitar impactos por detraer retornos / vertidos que hoy sostienen tramos con caudales ecológicos o condicionan 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 [Sensibilidad]
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).		Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]
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		

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



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

	Medida PHweb	07.01.xx. Medidas para mitigar impactos por extracción. De forma secundaria: 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
	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 (MAR) con excedentes superficiales, o agua depurada de alta calidad, 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.	
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 RD para no enmascarar sobreexplotaciones crónicas, asegurando capacidad real de control (medición/telemetría).	
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. En acuíferos costeros, diseñar específicamente contra intrusión salina (ubicación, gradientes, control de extracciones). Evitar maladaptación: articular título único habilitante (no doble uso) y límites verificables de extracción. Evitar incremento de demanda, limitándose a sustitución captaciones previas.	
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-subterranas/plan-accion-aguas-subterranas.html https://environment.ec.europa.eu/topics/water/groundwater_en https://dinamar.tragsa.es/	

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

	Medida PHweb	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 14.01.01. Medidas en la cuenca: restauración hidrológico-forestal y ordenaciones agrohidrológicas, incluyendo medidas de retención natural del agua	
	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)	
Humedal de la ría de Villaviciosa			
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 vegetales, agricultura en curvas de nivel y 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
Claves del éxito	Diseñar NWRM 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.		Exposición
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 [Sensibilidad]
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.		Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]
Fuentes para ampliar información	https://fundacion-biodiversidad.es/proyectos_ficha/sistematizacion-de-las-soluciones-basadas-en-la-naturaleza-en-espana-esbn/ https://www.nwrn.eu/ https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en		

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

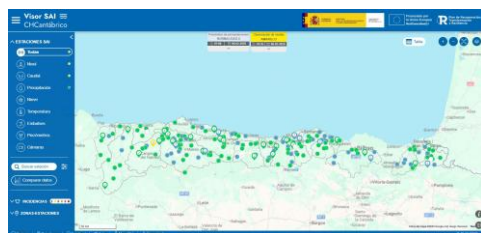


Hidroavión en tareas de extinción. Fuente: MITECO

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. 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 maladaptación 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/		

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



Sistema Automático de Información Hidrológica

- [Visor](#). Fuente: CH Cantábrico

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. Contempla la actualización de PES y PGRI con perspectiva climática: umbrales, activación de medidas, coordinación interadministrativa, comunicación del riesgo y revisión periódica basada en nueva información y evaluación post-evento.	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 exigente) 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		

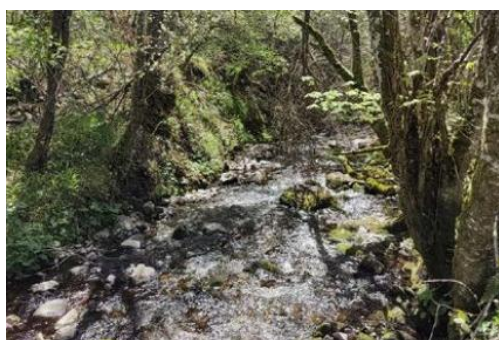
7.9 FE4. Diseño urbano sensible al agua y al clima (SUDS e infraestructura azul-verde)



Tanque de Tormentas Plaza de Italia. El Sardinero (Santander - Cantabria). Fuente: HidroStank

	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 sensible al agua e infraestructura azul-verde 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/		

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



Reserva Hidrológica río Narcea. 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
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.		↓ exposición de ecosistemas fluviales / humedales y especies acuáticas a picos térmicos al aumentar la disponibilidad espacial de refugios (tramos sombreados, aportes fríos).
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 [Sensibilidad] Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]
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).		Sombra, pozas y aportes fríos → comunidades acuáticas menos sensibles a olas de calor en el agua (menor estrés térmico agudo).
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		

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



Estación de aireación de piscina elevada lateral (SEPA nº 1). Fuente: (MWRD, Chicago)

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
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.	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.
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 [Sensibilidad] Gestión térmica / oxígeno en embalses → masas y usos aguas abajo menos sensibles a anoxia, eutrofización y blooms bajo calor y bajo caudal.
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.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa] Aporta oportunidades adicionales de operación (tomas selectivas, aireación / mezcla, reglas) para responder a episodios de anoxia / blooms / descargas calientes.
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://mwr.org/what-we-do/reducing-flooding/chicago-area-waterway-system-caws/sidestream-elevated-pool-aeration-sepa-stations	

7.12 OT1. Seguimiento y gestión adaptativa de la biodiversidad acuática



Suelta de peces como refuerzo poblacional.

Fuente: [GOV.UK](https://gov.uk)

	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.		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		

7.13 OT2. Gestión adaptativa de humedales costeros y acuíferos litorales frente al ascenso del nivel del mar



Imagen por satélite (Sentinel-2) de la bahía de Santander (Cantabria). Fuente: Copernicus

Medida PHweb	Gestión adaptativa sin correspondencia específica [07.01.08. Medidas de adaptación al cambio climático]
Opciones de adaptación	Restauración y gestión de humedales costeros
Peligros climáticos que se abordan	M1 (↑ nivel medio del mar) M2 (temporales costeros: niveles/oleaje extremos) H1 (↓ aportes fluviales/agua dulce) H2 (↓ piezometría: facilita intrusión salina)
Impactos potenciales que se abordan	ECS11 (humedales como tampón, reducción de energía de oleaje, espacio para la inundación); GW3 (intrusión salina, subida del nivel freático, salinización de pozos); SW7 (pérdida de humedales, cambio de salinidad, eutrofización); AU1 / AG2 (en caso de dependencia de acuíferos litorales y tomas costeras); ECS2 / ECS5 (marismas, lagunas litorales, estuarios)

Descripción sintética	Medida integrada para humedales costeros y acuíferos litorales ante el ascenso del nivel del mar. En humedales/marismas incluye restauración ecológica y morfológica, eliminación de obstáculos y recuperación de conectividad, realineación gestionada y migración tierra adentro cuando sea viable, y gestión de aportes de agua dulce y sedimentos. En acuíferos litorales incorpora reordenación de extracciones, relocalización de captaciones, recarga gestionada y, cuando proceda, barreras hidráulicas para gestionar la cuña salina.	Efectos esperados en adaptación	
		Exposición	↓ exposición de población en baja cota, capital construido, infraestructuras críticas y servicios ecosistémicos al ganar espacio de amortiguación (humedal) y gestionar la intrusión en acuíferos litorales.
Claves del éxito	Enfoque de gestión integrada de zonas costeras: coordinación efectiva entre planificación hidrológica, estrategia de costa, ordenación territorial, conservación de humedales y gestión de acuíferos. Integrar instrumentos (Estrategia de Adaptación de la Costa, Plan Estratégico de Humedales, planes hidrológicos/PGRI/estrategias marinas) con objetivos coherentes. Impulsar acuerdos con sectores clave (turismo, agricultura litoral, propietarios, municipios) para viabilizar realineación y cambios de uso con instrumentos económicos y de planificación a medio plazo.	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Mantener funcionalidad hidrológica, margen de migración y aportes → humedales y acuíferos menos sensibles al ascenso del nivel del mar e intrusión salina, preservando servicios y usos dependientes.
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Evitar que la “adaptación” se traduzca en fortificación generalizada con obras duras que destruyan humedales; priorizar soluciones basadas en ecosistemas salvo excepciones justificadas. En acuíferos, recarga/barreras hidráulicas deben cumplir normativa de aguas subterráneas y reutilización, sin agravar contaminación o salinidad. Actuaciones suelen ubicarse en espacios protegidos (Natura 2000/RAMSAR): exigen evaluación ambiental rigurosa. Riesgo de maladaptación social si se ignora lo socioeconómico (realineación sin alternativas).	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Facilita ajuste progresivo (realineación gestionada, cambios de uso, adaptación de captaciones y recarga) conforme avanza el nivel del mar y cambian temporales.
Localización preferente	• Marismas/deltas/lagunas litorales con riesgo de inundación/salinización y necesidad de permitir migración. • Acuíferos costeros con intrusión salina o fuerte dependencia (abastecimiento/regadío/eco-dependientes). • Sectores donde sea viable combinar restauración + ordenación de usos para ganar espacio de amortiguación.		
Fuentes para ampliar información	https://www.icgc.cat/es/Innovacion/Proyectos-IDI/Finalitzats/Life-EBRO-ADMICLIM https://publications.europa.eu/resource/genpub/PUB_LBNA23840ENC_PDF.1.2 https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/projects/adaptation-to-saltwater-intrusion-in-sea-level-rise-scenario		

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



Presa de Salime. Fuente: CH Cantábrico

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
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.	Exposición ↓ exposición de infraestructuras hidráulicas y tramos fluviales/costeros a colmatación/erosión al recuperar (parcialmente) el régimen sedimentario; mejora estabilidad de hábitats asociados.
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 [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.
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.	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.
Fuentes para ampliar información	https://www.miteco.gob.es/content/dam/mites/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	

7.15 OT4. Planificación y ordenación adaptativa del litoral frente al ascenso del nivel del mar



Destrozos temporal 2018. Fuente: MITECO

Medida PHweb	08.02.01. Elaboración de la estrategia para la sostenibilidad de la costa
Opciones de adaptación	Elevación y avance de las tierras costeras hacia el mar / Retirada de zonas de alto riesgo Puertas para mareas de tormenta y barreras contra inundaciones
Peligros climáticos que se abordan	M1 (↑ nivel medio del mar) / M2 (temporales costeros: inundación/erosión) H1 (↓ aportes fluviales medios, incluido sedimento) / H3 (cambios estacionales de caudales/aportes que condicionan erosión-acreción)
Impactos potenciales que se abordan	ECS11 (riesgo central de la medida); GW3 (intrusión salina por SLR e infraestructuras mal situadas); SW7 (pérdida de hábitats, alteración morfológica, obras duras mal planificadas); AU1 / AG2 (usos apoyados en acuíferos litorales o tomas costeras vulnerables); ECS2 / ECS5 (masas costeras). También infraestructuras críticas, turismo y usos residenciales particularmente expuestos.

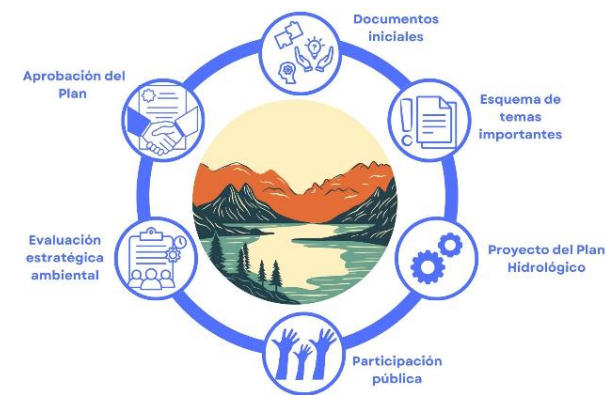
Descripción sintética	Medidas de planeamiento, ordenación y normativa para reorientar el desarrollo del litoral bajo escenarios de ascenso del nivel del mar, temporales e inundación costera. Incluye incorporación de escenarios en planes territoriales y urbanísticos, zonificación del litoral por niveles de riesgo y asignación de usos compatibles, límites a nuevos desarrollos, retranqueos y servidumbres más exigentes para nuevas edificaciones e infraestructuras, e integración con planes de protección del litoral y PGRI en áreas costeras. Contempla fomento de soluciones basadas en ecosistemas y coordinación multi-nivel.	Efectos esperados en adaptación	
		Exposición	Núcleo de la medida: evita/limita exposición futura al orientar usos y localización de población, capital construido e infraestructuras críticas según riesgo por inundación/erosión costera.
Claves del éxito	Trabajar con escenarios (medio/largo plazo) y traducirlos a zonificación operativa del litoral (SLR + temporales + erosión) vinculada a decisiones: dónde evitar, dónde adaptar, dónde replegar y dónde proteger selectivamente. Integrar la adaptación en planeamiento territorial y urbano con criterios claros (retranqueos, reservas, usos compatibles) y coherencia con instrumentos estatales/autonómicos de costa y con la planificación hidrológica en zonas litorales. Asegurar gobernanza multi-nivel, comunicación del riesgo y revisión periódica (ciclo sexenal) para ajustar decisiones.	Vulnerabilidad [Sensibilidad]	Criterios de localización/diseño y protección de ecosistemas → sistemas humanos y naturales menos sensibles a SLR y temporales (menor daño para una misma perturbación, al evitar encajes rígidos y usos incompatibles).
Condicionantes ambientales, técnicos y normativos	Evitar bloqueo por defensas rígidas masivas que desplazan el riesgo y degradan ecosistemas (dunas, marismas), salvo justificación excepcional; priorizar soluciones basadas en ecosistemas y realineación gestionada cuando sea viable. La ordenación debe considerar efectos acumulativos y requisitos de evaluación ambiental y de conservación (Natura 2000, dominio público, etc.). Riesgo de maladaptación si se mantiene o incentiva urbanización en zonas de alto riesgo por “confianza” en obras: exige límites y disciplina urbanística. Incorporar mecanismos de compensación y transición justa en reubicaciones.	Vulnerabilidad [Capacidad adaptativa]	Marcos planificadores revisables por escenarios (largo plazo) que permiten ajustar decisiones y evitar bloqueos (“lock-in”) en el sistema costa-humedales-acuíferos.
Localización preferente	• Tramos con alta exposición (cotas bajas, temporales, erosión) y presión urbanística y de infraestructuras. • Áreas con infraestructuras críticas y necesidad de zonificación por riesgo y compatibilidad de usos. • Sectores donde sea viable orientar a soluciones “blandas” y gestión adaptativa (retranqueos, realineación).		
Fuentes para ampliar información	https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/estrategia-adaptacion-cambio-climatico.html https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/costas/temas/temas-pc/planestrategiconacional/Lecciones%20y%20recomendaciones%20de%20la%20proteccion%20de%20la%20costa%20en%20la%20UE.pdf https://science4policy.csic.es/riesgos-y-amenazas-de-los-eventos-marinos-extremos/		

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 riesgo y territorios donde debe profundizarse el diagnóstico 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). De forma preliminar, se han identificado, para cada una de las medias de adaptación propuestas, las principales autoridades competentes relacionadas, de forma que cada una de ellas, en su ámbito competencial pueda ponerla en práctica y tenerlas en cuenta en sus políticas sectoriales:

Cod Medida adaptación	Nombre de la medida	Autoridades competentes identificadas
RD3	Eficiencia y gestión de la demanda en usos urbanos	Ministerios de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO) (reporte datos fugas a CE y recopilación datos) y ACUAES. Consejerías de Obras Públicas de las CCAA y Entes Autonómicos de Abastecimiento Ayuntamientos y Entidades Locales
RD4	Reutilización avanzada del agua depurada	MITECO y ACUAES para obras interés general. CHC gestión autorizaciones y concesiones Consejerías de Obras Públicas de las CCAA y Entes Autonómicos de Abastecimiento Ayuntamientos y Entidades Locales
RD6	Gestión sostenible de acuíferos (recarga y explotación conjunta)	MITECO, CHC y ACUAES para obras interés general. Consejerías de Agricultura de las CCAA
FE1	Soluciones basadas en la naturaleza para retención natural de agua y control de erosión	MITECO y CHC en actuaciones en DPH Consejerías de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de las CCAA Ayuntamientos en zonas urbanas y periurbanas.
FE2	Gestión forestal sensible al agua y al riesgo de incendios	MITECO y CHC en actuaciones en DPH Consejerías de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de las CCAA
FE3	Servicios climáticos y gobernanza adaptativa para sequías e inundaciones	MITECO y CHC AEMET
FE4	Diseño urbano sensible al agua y al clima (SUDS e infraestructura azul-verde);	MITECO, CHC y ACUAES en actuaciones declaradas de interés general Consejerías de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de las CCAA Ayuntamientos y Entidades Locales
IT1	Restauración de bosques de ribera y creación de refugios térmicos	MITECO y CHC
IT2	Gestión de la calidad del agua frente al calentamiento y menor dilución	CHC Usuarios
OT1	Seguimiento y gestión adaptativa de la biodiversidad acuática	MITECO y CHC Consejerías de Medio Ambiente de las CCAA
OT3	Movilización y gestión de sedimentos en embalses y cauces	CHC Usuarios en embalses titularidad privada
OT4	Planificación y ordenación adaptativa del litoral frente al ascenso del nivel del mar	MITECO y CHC Consejerías de Medio Ambiente de las CCAA

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 maladaptación 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 (déficit estructural / garantías insatisfactorias, masas subterráneas en riesgo cuantitativo o de incumplimiento del buen estado, o del régimen de caudales ecológicos) 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 maladaptación**, 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 en agua; (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., Manzanar, 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.ce-dex.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=legisum: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-Martínez, G; Pérez-Martín, M.Á. 2021. Risk assessment of climate change impacts on Mediterranean coastal wetlands. Application in Júcar River Basin District (Spain). Science of the Total Environment 790 (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 and Photovoltaic 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).

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/mitesco/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/impactosyriesgosccspanawebfinal_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/>