30

INFORME ESPAÑA 2023

CÁTEDRA JOSÉ MARÍA MARTÍN PATINO DE LA CULTURA DEL ENCUENTRO

COMILLAS CIHS

Servicio de Biblioteca. Universidad Pontificia Comillas de Madrid

INFORME España 2023 / Cátedra José María Martín Patino de la Cultura del Encuentro ; [coordinación y edición Agustín Blanco, Sebastián Mora y José Antonio López-Ruiz]. --

Madrid : Universidad Pontificia Comillas, Cátedra J.M. Martín Patino, 2023.

508 p.

En la portada: 30.

Es continuación de la colección CECS publicada por la Fundación Encuentro ISSN 1137-6228.

D.L. M 32106-2023. -- ISBN 978-84-8468-605-7

1. Democracia. 2. Situación social. 3. Inteligencia artificial. 4. Educación sexual. 5. Formación profesional. 6. Cambios climáticos. 7. Estado social. 8. España. I. Blanco Martín, Agustín, editor literario. II. López-Ruiz, José Antonio (1968-), editor literario. III. Mora Rosado, Sebastián (1966-), editor literario.

Coordinación y edición: Agustín Blanco, Sebastián Mora
y José Antonio López-Ruiz

Edita: Universidad Pontificia Comillas
Cátedra J. M. Martín Patino

ISBN: 978-84-8468-605-7
Depósito Legal: M-32106-2023

Imprenta Kadmos
Salamanca

Gracias a la Fundación Ramón Areces, la Cátedra José María Martín Patino de la Cultura del Encuentro elabora este informe. En él ofrecemos una interpretación global y comprensiva de la realidad social española, de las tendencias y procesos más relevantes y significativos del cambio.

El informe quiere contribuir a la formación de la autoconciencia colectiva, ser un punto de referencia para el debate público que ayude a compartir los principios básicos de los intereses generales.

ÍNDICE

PARTE PRIMERA: CONSIDERACIONES GENERALES RENDICIÓN DE CUENTAS Y DEMOCRACIA

Javier Pérez, Belén Agüero y Paola Cannata

1. ¿Cuál es la situación actual de la democracia? 13
   - 1.1. Incertidumbre y crisis 13
   - 1.2. Respuestas comunes para una profundización de la democracia y la participación 19
2. Marco teórico: La rendición de cuentas como un principio vertebrador de la recuperación de la legitimidad y la confianza en la democracia..... 24
   - 2.1. La rendición de cuentas como parte del concepto de democracia... 24
   - 2.2. La democracia monitorizada y su impacto en la revalorización de la rendición de cuentas..... 28
   - 2.3. Abordaje teórico de la rendición de cuentas: definición, elementos claves y tipologías que facilitan su análisis 30
3. De la teoría a la realidad..... 41
   - 3.1. Del dicho… 41
   - 3.2. … al hecho..... 46
   - 3.3. La rendición de cuentas desde una mirada crítica 50
   - 3.4. Principales innovaciones en rendición de cuentas 53
4. Reflexiones para pensar un futuro incierto 61

Bibliografía..... 64

PARTE SEGUNDA: LA REVOLUCIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Sara Lumbreras y Alex Rayón

1. El nuevo pincel..... 73
2. ¿Dónde está la IA?..... 76
   - 2.1. ¿Por qué hablamos ahora de IA? 78
   - 2.2. Breve historia de la IA 81
   - 2.3. La respuesta a la IA desde distintos sectores 82
   - 2.4. El impacto laboral de la IA..... 85
   - 2.5. Los nuevos modelos en la IA 87
   - 2.6. Pero, ¿cómo funcionan exactamente estas tecnologías y por qué han aparecido justo ahora? 88
3. Dualidad físico-virtual 93
   - 3.1. El metaverso: hacia una vida digital 95
   - 3.2. La web 3.0: hacia una nueva arquitectura de la información global y conectada..... 99
   - 3.3. Aplicaciones de la dualidad físico-virtual..... 100
   - 3.4. *Blockchain* como sistema trazable y atribuible..... 101
   - 3.5. NFT: los activos digitales únicos para resolver problemas de autoría 104
   - 3.6. Lo que nos depare el futuro 106
4. Los problemas de la IA. ¿Qué amenazas nos trae? 107
   - 4.1. Más allá de las IA generativas. La ética de la IA 110
   - 4.2. ¿Son las IA generativas la prueba de que, dentro de poco, tendremos IA general y consciencia artificial? 115

Bibliografía 121

PARTE TERCERA: DESARROLLO E INTEGRACIÓN SOCIAL

Capítulo 1
LA FORMACIÓN PROFESIONAL REGLADA. EVOLUCIÓN Y PERSPECTIVAS DE FUTURO
Rafael Merino

1. Introducción 129
2. Evolución de la formación profesional 130
   2.1. De la LGE a la LOMLOE: el difícil encaje de la FP en el sistema educativo 130
   2.2. La integración de los subsistemas de FP: de la ley de FP del 2002 a la ley de FP del 2022 137
   2.3. Evolución de la oferta y la demanda 140
   2.4. La eficacia de la formación profesional 152
   2.5. La FP y los itinerarios formativos 160
   2.6. La inserción laboral 167
3. Los retos de la formación profesional 181
   3.1. El dilema de la "dignificación" y de la equidad 181
   3.2. La perspectiva de género 186
   3.3. El abandono de la formación 189
   3.4. El diseño curricular: generalista o especializado 192
   3.5. La orientación (profesional) 194
   3.6. La planificación de la oferta 196
   3.7. La *twin transition* y la formación profesional 198
4. Conclusiones 199

Bibliografía 202

Capítulo 2
LA EDUCACIÓN SEXUAL EN ESPAÑA: DE LAS LEYES A LAS AULAS
María Lameiras Fernández, Yolanda Rodríguez Castro y Rosana Martínez Román

1. Sexualidad y estereotipos de género 209
   1.1. Los estereotipos de género: la construcción social de la desigualdad entre mujeres y hombres 209
   1.2. Estereotipos de género en el ámbito de la sexualidad: el doble estándar sexual 211
2. Radiografía de la sexualidad de la juventud en España 214
   2.1. Las prácticas heterosexuales en jóvenes españoles 214
   2.2. Uso de métodos anticonceptivos/preventivos y riesgos asociados 218
   2.3. La violencia sexual contra mujeres y niñas 224
3. La promoción de la salud sexual y reproductiva: la educación sexual 232
   3.1. La (des)educación sexual y el papel de la pornografía 232
   3.2. Modelos de educación sexual: la Educación Sexual Integral 238
   3.3. Evaluación de programas de educación sexual 241
   3.4. Marco legislativo de la educación sexual en España 245
   3.5. Obstáculos y retos de la educación sexual en España 249
4. Conclusiones 252

Bibliografía 254

Capítulo 3
EL ESTADO DE BIENESTAR Y SU FINANCIACIÓN EN LA TERCERA DÉCADA DEL SIGLO XXI

Jesús Ruiz-Huerta y Javier Loscos

1. Introducción 271
2. El Estado de bienestar en la encrucijada 272
   2.1. Aproximación conceptual 272
   2.2. Las crisis del Estado de bienestar 274
   2.3. Un Estado de bienestar descentralizado 278
3. La financiación del Estado de bienestar 279
   3.1. Rasgos del sistema fiscal español en un contexto comparado 279
   3.2. Un sistema fiscal europeo y descentralizado. Notas sobre la conexión con Europa y la financiación autonómica 291
   3.3. La financiación extraordinaria y la necesaria consolidación 292
   3.4. El Libro Blanco sobre la Reforma Tributaria: una apuesta para el futuro 295
4. Notas sobre la política fiscal del Gobierno 309
5. Consideraciones finales 313
Bibliografía 318

Capítulo 4
LAS PERSONAS SIN HOGAR EN ESPAÑA: EL ALOJAMIENTO Y LA VIVIENDA COMO DERECHO SOCIAL

Pedro José Cabrera Cabrera

1. Introducción 323
2. ¿De qué hablamos? 326
3. ¿Quiénes y cuántos son? 335
   3.1. Razones que llevan al sinhogarismo 343
   3.2. Extranjeros 346
   3.3. Formación y trabajo 348
   3.4. Situación económica 353
   3.5. Salud 359
   3.6. Vínculos familiares y sociales 367
   3.7. Igualdad, no discriminación y relación con la justicia 373
   3.8. Utilización de los servicios sociales 378
   3.9. La fracción más problemática 384
4. Algunas reflexiones y sugerencias finales 386
Bibliografía 393

Capítulo 5
LA TRANSICIÓN NECESARIA EN LA GESTIÓN DE LA SALUD: DE LA GESTIÓN DE PERSONAS A LA GESTIÓN DE POBLACIONES

Ángel Asúnsolo del Barco

1. Introducción 397
2. Recordando a Geoffrey Rose 403
   2.1. Determinantes de la salud 409
3. La salud pública, un concepto esquivo 412
   3.1. Definición de salud 412
4. Valores y valoraciones de la salud 420

4.1. Indicadores sanitarios 422
4.2. Indicadores de gasto sanitario 425
5. Modelos de gestión actuales. La desconexión entre lo individual y lo comunitario 429
5.1. Integración de niveles asistenciales 430
5.2. Integración del sistema asistencial y salud pública 432
5.3. Integración del sistema sanitario y sociosanitario 433
6. Conclusiones. La salud como bien común 435
Bibliografía 439

PARTE CUARTA: REDES Y TERRITORIO

Capítulo 6
LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO: LOS RECURSOS HÍDRICOS EN ESPAÑA. UN RETO SOCIAL, ECONÓMICO Y TERRITORIAL ANTE UN ESCENARIO ACELERADO DE CAMBIO

Alberto Garrido y Luis Garrote

1. Introducción al problema y objetivos del capítulo 445
2. Balances hídricos: recursos disponibles y demandas 449
2.1. Análisis de los recursos hídricos 449
3. Proyecciones climáticas e impactos sobre los balances hídricos 465
3.1. Análisis de los cambios observados 465
3.2. Escenarios de cambio climático 467
3.3. Impacto sobre los balances hídricos 471
3.4. Consecuencias y escenarios de futuro 473
4. Implicaciones sociales, económicas y ambientales 475
4.1. El concepto de escenario 476
4.2. Escala temporal y geográfica 477
4.3. Los procesos endógenos 478
4.4. Los efectos indirectos 479
4.5. Traducción de los escenarios al estado ecológico de los ríos 481
4.6. Traducción de los escenarios al futuro en el ámbito social y económico 481
4.7. Inundaciones 481
4.8. ¿Hablamos de sequías o de escasez de agua? 482
4.9. Impactos socioeconómicos de las sequías 484
4.10. Grandes cambios en la agricultura de regadío en España en los últimos 18 años 488
5. Estrategias de adaptación al cambio climático 492
6. Conclusiones 500
Bibliografía 504
Anexo I. Nivel de confianza sobre las proyecciones de cambio climático y sus impactos 507
Anexo II. Literal del Art. 19 del Título V de la Ley 7/2021 508

Capítulo 6
LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO: LOS RECURSOS HÍDRICOS EN ESPAÑA. UN RETO SOCIAL, ECONÓMICO Y TERRITORIAL ANTE UN ESCENARIO ACELERADO DE CAMBIO

Alberto Garrido
Luis Garrote
Universidad Politécnica de Madrid

1. Introducción al problema y objetivos del capítulo

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), "se estima que las actividades humanas han causado aproximadamente 1,0 °C de calentamiento global por encima de los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8 °C a 1,2 °C. Es probable que el calentamiento global alcance los 1,5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual. Como reflejo de la tendencia de calentamiento a largo plazo desde la época preindustrial, la temperatura media global en superficie observada para la década 2006-2015 fue de 0,87 °C (probablemente entre 0,75 °C y 0,99 °C) más alto que el promedio durante el período 1850-1900 (confianza muy alta). El calentamiento global antropogénico estimado coincide con el nivel de calentamiento observado dentro de ±20% (rango probable). El calentamiento global antropógeno estimado está aumentando actualmente al ritmo de 0,2 °C (probablemente entre 0,1 °C y 0,3 °C) por década debido a las emisiones pasadas y actuales (nivel de confianza alto). Se está experimentando un calentamiento mayor que el promedio anual mundial en muchas regiones terrestres y estaciones, incluso dos o tres veces más alto en el Ártico. El calentamiento es generalmente mayor sobre la tierra que sobre el océano (confianza alta)" (IPCC, 2018)[1].

La variación del clima en el futuro, y todas sus consecuencias en todos los ámbitos, depende del escenario que se contemple. Se suelen considerar dos escenarios climáticos: uno extremo, el RCP8.5, que se asocia con *"business as usual"*, es decir, proyectar un futuro de aumento de concentración de CO_2 continuista, y otro más moderado, el RCP4.5, que tendría en cuenta el objetivo del Acuerdo de París de 2015, estabilizando el incremento medio de temperatura por debajo de 2 ºC respecto de la época preindustrial, siendo recomendable situarlo en 1,5 ºC.

El cambio climático lo podemos definir de acuerdo con muchas variables. No todas cambian con la misma intensidad o dirección en las mismas zonas; el clima es un sistema muy complejo. Además, algunas variables

[1] https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/

tienen un impacto muy fuerte en un sector económico, ecosistema o actividad, mientras que otras apenas tienen consecuencias.

En lo que respecta a este trabajo, es importante señalar que: "Los modelos climáticos proyectan diferencias sólidas en las características climáticas regionales entre el calentamiento global actual y el de 1,5 °C, y entre 1,5 °C y 2 °C. Estas diferencias incluyen aumentos en: temperatura media en la mayoría de las regiones terrestres y oceánicas (nivel de confianza alto), temperaturas extremas en la mayoría de las regiones habitadas (nivel de confianza alto), fuertes precipitaciones en varias regiones (nivel de confianza medio) y la probabilidad de sequía y déficit de precipitación en algunas regiones (nivel de confianza medio)" (IPCC, 2018).

Al leer los textos del IPCC, toda afirmación sobre la evolución futura de una variable o sobre el impacto social, económico o ambiental viene acompañada de una gradación de confianza. El nivel de confianza se expresa utilizando cinco niveles: "muy bajo", "bajo", "medio", "alto" y "muy alto". El equipo de autores del IPCC sintetiza los juicios de los equipos de autores sobre la validez de los hallazgos determinados a través de la evaluación de la evidencia y el acuerdo (ver Anexo I).

El portal Visor de Escenarios de Cambio Climático[2] contempla 27 variables (cuadro 1). Muchas especies agrícolas dependen de las temperaturas mínimas, pero no a lo largo de todo el año sino en los momentos de floración; a las estaciones de esquí les preocupan las precipitaciones en forma de nieve y el comportamiento de las temperaturas mínimas y máximas de invierno. Las plagas y enfermedades de los cultivos, el grado alcohólico o cualquier otro parámetro de calidad de la uva, el régimen de deshielo y fusión de la nieve en las montañas son fenómenos que obedecen a variaciones del clima muy específicas que resultan del conjunto de variables, no de una sola.

El comportamiento del ciclo del agua es consecuencia directa del sistema climático y del ciclo meteorológico. Volviendo al Informe de síntesis del IPCC (2018): "Se prevé que los riesgos de las sequías y los déficits de precipitaciones sean mayores con 2 °C en comparación con los 1,5 °C del calentamiento global en algunas regiones (nivel de confianza medio). Se prevé que los riesgos de episodios de precipitaciones intensas sean mayores a 2 °C en comparación con los 1,5 °C del calentamiento global en varias regiones de latitudes altas y/o elevaciones altas del hemisferio norte, el este de Asia y el este de América del Norte (nivel de confianza medio). Se prevé que las fuertes precipitaciones asociadas con los ciclones tropicales sean mayores a 2 °C en comparación con los 1,5 °C del calentamiento global (nivel de confianza medio). En general, hay poca confianza en los cambios proyectados en las precipitaciones intensas a 2 °C en comparación con 1,5 °C en otras

[2] https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/s

regiones. Se prevé que las precipitaciones intensas agregadas a escala global sean mayores a 2 °C que a 1,5 °C de calentamiento global (nivel de confianza medio). Como consecuencia de las fuertes precipitaciones, se prevé que la fracción de la superficie terrestre mundial afectada por los peligros de inundación sea mayor a 2 °C en comparación con los 1,5 °C del calentamiento global (nivel de confianza medio)".

Cuadro 1 – Variables climáticas contempladas en el Visor de Escenarios de Cambio Climático

Temperatura	Precipitación
1. Temperatura mínima 2. Temperatura máxima 3. N° de días con temperatura mínima < 0grados 4. N° de días con temperatura mínima > 20grados 5. N° noches cálidas 6. N° días cálidos 7. Duración máxima de olas de calor 8. Grados-días de refrigeración (Cooling Degree Days) 9. Grados-días de calefacción (Heating Degree Days) 10. Amplitud térmica en grados	20. Nº de días con precipitación < 1mm 21. Percentil 95 de la precipitación diaria 22. Precipitación máxima en 24h 23. Máximo nª de días consecutivos con precipitación < 1mm 24. Nª de días de lluvia 25. Nª máximo de días húmedos consecutivos 26. Precipitación máxima acumulada en 5 días
11. Percentil 99 de la amplitud térmica diaria 12. Temperatura máxima extrema 13. Temperatura mínima extrema 14. Percentil 1 de la temperatura mínima diaria 15. Percentil 5 de la temperatura mínima diaria 16. Percentil 95 de la temperatura mínima diaria 17. Percentil 5 de la temperatura máxima diaria 18. Percentil 95 de la temperatura máxima diaria 19. Percentil 99 de la temperatura máxima diaria	**Otras** 27. Evapotranspiración potencial

Fuente: https://escenarios.adaptecca.es/

En España, el incremento de temperatura es ya superior a la media en 0,5 ºC, afirma el legislador en la Exposición de Motivos de la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.

Es importante resaltar que, mientras que sobre los aumentos de temperatura la confianza es alta, con respecto a las precipitaciones la confianza es media. Si bien los modelos utilizados por los científicos del clima generalmente coinciden en cómo se calentarán las diferentes partes de la Tierra, hay mucho menos acuerdo sobre dónde y cómo cambiarán las precipitaciones, tanto en términos de tendencia como de variabilidad. Pero hay bastante acuerdo en que en las zonas áridas la precipitación disminuirá; lo

que, sumado al aumento de las temperaturas, hace muy probable que las aportaciones de los ríos y las recargas de los acuíferos disminuyan, especialmente en la región mediterránea.

Debemos aceptar, pues, como una certeza que en la Península Ibérica dispondremos de menos agua. Ya está ocurriendo, confirmando lo que los modelos que se desarrollaron hace más de dos décadas ya sugerían, como explicamos en la sección 3 de este trabajo. Sin ir más lejos, y anticipando lo que se detalla a continuación, en la cuenca alta del Tajo las precipitaciones han disminuido un 13,2% entre los periodos 1940-1979 y 1980-2018, lo que se ha traducido en una disminución de las aportaciones de cabecera de este río del 42% (Oliva Cañizares et al., 2022). Otros autores obtienen resultados parecidos en cuencas de menor tamaño, y curiosamente la reducción de aportes de las cuencas (o caudales) disminuyen proporcionalmente más que las precipitaciones. Sánchez-Gómez et al. (2023) lo demuestran para el río Salado y el río Ompólveda. La sección 3 proporciona escenarios más precisos para todas las cuencas ibéricas.

Con este telón de fondo, las preguntas que se plantean en este capítulo son: ¿qué implicaciones tiene para nuestro país esta menor disponibilidad de agua?, ¿cómo podremos mitigar los efectos de esta menor disponibilidad?, ¿para qué escenarios nos tenemos que preparar?

A tenor de la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, y lo establecido en su artículo 19 sobre "Consideración del cambio climático en la planificación y gestión del agua" (Anexo II), el foco se pone en disminuir los riesgos asociados a los cambios en el régimen de caudales de los ríos y recarga de los acuíferos, dando por hecho, con buen criterio, que esos cambios son insoslayables. Y estos riesgos son:

> "a) Los riesgos derivados de los impactos previsibles sobre los regímenes de caudales hidrológicos, los recursos disponibles de los acuíferos, relacionados a su vez con cambios en factores como las temperaturas, las precipitaciones, la acumulación de la nieve o riesgos derivados de los previsibles cambios de vegetación de la cuenca.
>
> b) Los riesgos derivados de los cambios en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos asociados al cambio climático en relación con la ocurrencia de episodios de avenidas y sequías.
>
> c) Los riesgos asociados al incremento de la temperatura del agua y a sus impactos sobre el régimen hidrológico y los requerimientos de agua por parte de las actividades económicas.
>
> d) Los riesgos derivados de los impactos posibles del ascenso del nivel del mar sobre las masas de agua subterránea, las zonas húmedas y los sistemas costeros".

Y la ley obliga, en el mismo artículo, a abordar los riesgos señalados en la planificación y la gestión hidrológicas. De alguna forma, esta es la primera capa de adaptación que nos hemos dado; y es tal vez la de mayor calado e impacto, porque orienta efectivamente y de manera práctica las 1.803 páginas del Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro. Pero no es la única. En efecto, la adaptación a esa menor y más incierta o inestable disponibilidad de agua ofrece innumerables campos de actuación y estrategias que será necesario impulsar, tanto por el sector público como por las empresas y los particulares.

El capítulo se organiza en las siguientes secciones: en la segunda repasamos los balances hídricos de las cuencas; en la tercera se resumen las proyecciones de cambio climático sobre los balances hídricos; en la cuarta se presentan los impactos sociales, ambientales y económicos derivados de los escenarios de menor disponibilidad y mayor variabilidad; en la quinta repasamos las estrategias con mayor impacto y potencial de adaptación; y en la sexta resumimos las conclusiones del capítulo.

2. Balances hídricos: recursos disponibles y demandas

2.1. Análisis de los recursos hídricos

El balance entre recursos y demandas de agua en España se ha realizado en numerosas ocasiones. El Libro Blanco del Agua (MMA, 2000) presentaba un cuadro comparativo de la estimación de recursos realizada en distintas épocas, desde el II Plan de Desarrollo Económico y Social en 1967 hasta los planes hidrológicos de cuenca de 1998, entonces de reciente aprobación. Las cifras resultaban globalmente coincidentes, proporcionando una escorrentía global en España sobre los 100 km^3/a, aunque existían discrepancias locales en algunos ámbitos de análisis, que se podían atribuir a la diferente metodología de estimación seguida en cada plan hidrológico. Por este motivo, se inició una línea de trabajo encaminada a disponer de una herramienta de análisis de los recursos hídricos que aplicara una metodología uniforme en todo el territorio nacional. La tarea se encomendó al Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, que eligió el modelo SIMPA, acrónimo de Sistema Integrado de Modelización Precipitación-Aportación (Estrela y Quintas, 1996; Estrela et al., 1999; Álvarez et al., 2005) como herramienta de cálculo y realizó una primera estimación de los recursos a escala nacional para el propio Libro Blanco del Agua. Se trata de un modelo hidrológico conceptual basado en el modelo agregado de Témez (1977) y distribuido que simula los

flujos medios mensuales en régimen natural en cualquier punto de la red hidrográfica de España. Inicialmente trabajaba en cuadrículas de 1 km de lado y analizaba el periodo comprendido entre el año hidrológico 1940-41 y el año hidrológico 1995-96. El CEDEX ha continuado trabajando en el modelo y ha ido proporcionando series de aportaciones en régimen natural para los distintos ciclos de planificación. En la actualidad, la última versión disponible es la descrita en el informe de CEDEX de 2020. La resolución espacial se ha mejorado, trabajando en cuadrículas de 500 metros de lado. El periodo de análisis en el informe finalizaba en el año hidrológico 2017-18, aunque ya se han hecho públicos los resultados hasta el año 2019-20.

Las variables que maneja el modelo SIMPA sirven para analizar el comportamiento hidrológico individual de cada celda o de conjuntos de celdas contiguas que tengan un comportamiento coordinado. El esquema básico de SIMPA está basado en dos zonas de almacenamiento: el almacenamiento de agua en la zona no saturada del suelo (*H*) y el almacenamiento de agua en la zona saturada o acuífero (*V*). En el modelo se aplica balance hídrico, estudiando los flujos de agua entre las distintas zonas de almacenamiento. El punto de partida son las variables de entrada: temperatura (*TEM*), y precipitación (*PRE*). La precipitación constituye el aporte bruto de agua a la celda y la temperatura determina el potencial para evapotranspirar o fundir la nieve. La precipitación líquida se emplea para determinar el excedente (*T*), que es la parte de la precipitación que no queda almacenada en el suelo. El excedente se descompone en dos flujos: la escorrentía superficial (*ESCd*) y la infiltración hacia el acuífero (*REC*). El modelo emplea una ecuación conceptual para calcular el excedente en función del contenido de humedad del suelo (*H*) y de dos parámetros: H_{max}, que representa la máxima capacidad de almacenamiento del suelo, y *C*, que se emplea para determinar el umbral de la escorrentía. Una vez obtenido el excedente, se determina el agua disponible en el suelo. La evapotranspiración real (*ETR*) se obtiene al comparar el agua disponible con la evapotranspiración potencial (*ETP*), que se determina a partir de la temperatura. La infiltración hacia el acuífero (*REC*) se determina a partir del excedente (*T*) mediante otra ecuación conceptual, que depende de otro parámetro: la infiltración máxima ($I_{max)}$. El resto del excedente constituye la escorrentía superficial (*ESCd*). La escorrentía subterránea (*ESCsb*) se determina a partir del análisis del acuífero. En este caso, se emplea el modelo de tanque unicelular, en el que se analizan conjuntamente todas las celdas que contribuyen al mismo acuífero. Se utiliza un modelo en el que la descarga es proporcional al volumen de agua almacenado en el acuífero (*V*) controlado por el parámetro *a*. El balance de masas en el acuífero permite obtener la escorrentía subterránea (*ESCsb*).

Los resultados del modelo SIMPA constituyen la fuente de información más fiable sobre los recursos hídricos en régimen natural a escala nacional. En la tabla 1 se muestran los valores medios de las nueve variables básicas

del modelo SIMPA en las demarcaciones hidrográficas del territorio nacional en el periodo de 1980-81 a 2018-19, que es el empleado en los análisis de los planes hidrológicos. La precipitación media en España en ese periodo fue de 635 mm, lo que dio lugar a una escorrentía media de 199 mm[3]. Estos valores medios ocultan una gran diversidad territorial. La precipitación oscila entre los 1.515 mm de Galicia Costa y los 293 mm de las Islas Canarias. La mínima escorrentía se produce en la demarcación hidrográfica del Segura, con 44 mm, que es 21 veces menor que la escorrentía que se produce en Galicia Costa, 922 mm. En el modelo SIMPA, la media de la precipitación a largo plazo es aproximadamente igual a la suma de las medias de la escorrentía y la evapotranspiración potencial. La escorrentía es igual a la suma de la escorrentía directa y la escorrentía subterránea y la recarga es aproximadamente igual a la escorrentía subterránea.

Tabla 1 – Valores medios de las variables del modelo SIMPA en las demarcaciones hidrográficas en el periodo 1980-81 a 2018-19

	TEM °C	PRE mm	ESC mm	REC mm	H mm	ETP mm	ETR mm	ESCd mm	ESCsb mm
Miño-Sil	11,4	1.159	671	277	72	731	489	394	277
Galicia Costa	12,9	1.515	922	351	120	685	592	572	349
Cantábrico Oriental	12,8	1.455	864	469	72	733	591	395	470
Cantábrico Occidental	11,7	1.264	762	317	54	702	502	445	316
Duero	11,2	573	144	81	39	886	429	63	81
Tajo	14,1	584	147	35	37	1.071	437	112	35
Guadiana	15,7	496	69	11	35	1.144	428	58	11
Guadalquivir	16,2	558	120	53	36	1.189	439	67	53
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	16,2	521	154	47	31	1.083	367	107	47
Guadalete-Barbate	17,8	720	183	45	67	1.217	538	138	45
Tinto, Odiel y Piedras	18,0	668	164	23	59	1.161	504	141	23
Segura	15,8	369	44	32	12	1.112	324	12	31
Júcar	14,0	499	73	56	28	976	426	17	55
Ebro	12,3	607	182	93	27	881	425	88	93
Cuencas Internas de Cataluña	13,9	695	161	69	46	859	534	92	68
Baleares	17,0	567	118	86	49	936	451	31	86
Canarias	18,3	293	99	69	4	1.213	193	31	68
Media España	**13,8**	**635**	**199**	**87**	**38**	**983**	**437**	**112**	**87**

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados del modelo SIMPA.

[3] Un mm (milímetro) de precipitación equivale a un litro por metro cuadrado.

Desde el punto de vista de la gestión de los recursos, resulta más relevante el análisis de las variables extensivas, que se obtienen multiplicando las variables intensivas, expresadas en mm, por la superficie sobre la que actúan. En la tabla 2 se muestran los resultados para las tres variables que configuran el balance hídrico del modelo SIMPA: precipitación, escorrentía y evapotranspiración real. Los resultados se han expresado en km³/año, que equivalen a 1.000 hm³/año. En la tabla se muestran los valores medios y los valores máximo y mínimo en el periodo, para dar una idea de la variabilidad temporal de las series.

Tabla 2 – Valores máximo, medio y mínimo de tres variables del modelo SIMPA en las demarcaciones hidrográficas en el periodo 1980-81 a 2018-19. En km³/año

	PRE (Precipitación)			ESC (Escorrentía)			ETR (Evapotranspiración)		
	Max km³/año	Med km³/año	Min km³/año	Max km³/año	Med km³/año	Min km³/año	Max km³/año	Med km³/año	Min km³/año
Miño-Sil	37,2	20,38	12,63	28,12	11,79	5,32	9,59	8,59	7,27
Galicia Costa	33,8	19,91	11,57	26,00	12,11	5,05	8,65	7,78	6,52
Cantábrico Oriental	11,8	8,35	5,50	7,83	4,96	2,69	3,79	3,39	3,10
Cantábrico Occidental	30,4	21,92	14,60	21,41	13,21	6,82	9,80	8,70	7,54
Duero	67,9	45,19	27,84	30,66	11,38	4,44	43,25	33,82	22,99
Tajo	49,7	33,04	19,50	20,82	8,31	2,33	31,33	24,75	16,41
Guadiana	44,4	27,06	14,24	14,15	3,75	0,20	30,56	23,31	13,61
Guadalquivir	56,6	32,03	15,48	26,16	6,86	0,55	32,13	25,17	14,88
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	18,5	9,53	4,33	9,71	2,81	0,42	9,20	6,72	4,04
Guadalete-Barbate	7,8	4,29	2,11	3,70	1,09	0,13	3,97	3,20	2,02
Tinto, Odiel y Piedras	5,4	3,10	1,63	2,70	0,76	0,05	2,90	2,34	1,50
Segura	11,8	6,87	3,94	1,62	0,82	0,32	9,54	6,04	3,77
Júcar	33,3	21,44	13,37	7,52	3,13	1,22	25,14	18,28	12,56
Ebro	75,6	51,99	35,10	30,05	15,55	7,83	46,77	36,45	27,33
Cuencas Internas de Cataluña	16,8	11,39	7,73	5,91	2,63	1,07	11,00	8,76	6,80
Baleares	4,6	2,84	1,56	1,73	0,59	0,12	3,14	2,26	1,46
Canarias	4,0	2,18	0,73	1,83	0,74	0,09	2,18	1,43	0,64
Total España	**509,74**	**321,53**	**191,87**	**239,92**	**100,48**	**38,63**	**282,93**	**220,99**	**152,44**

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados del modelo SIMPA.

La escorrentía media en el periodo considerado, según el modelo SIMPA, es de 100,48 km^3/a, aunque los valores anuales pueden oscilar entre 239,87 km^3/a y 38,63 km^3/a, lo que supone un rango entre 2,39 y 0,38 veces la aportación media. Este rango es más amplio que el de la precipitación, entre 1,59 y 0,60 veces la precipitación media. En algunas regiones, el rango de variabilidad temporal es mucho mayor que la media. Por ejemplo, la demarcación del Guadiana muestra un rango entre 3,77 y 0,05 veces la aportación media, lo que supone que la relación entre el año de mayor aportación y el de menor es de 72 a 1. En el caso de las demarcaciones del Guadalquivir y del Tinto, Odiel y Piedras esta relación es de 48 y 49 a 1, respectivamente. El valor medio para el conjunto de España es de 6,2 a 1. En conjunto, los recursos hídricos en España muestran una gran variabilidad espacial y temporal, lo que hace que las cifras medias resulten muy poco significativas para valorar las circunstancias locales.

Análisis de las demandas de agua

Las demandas de agua son objeto de análisis recurrentes en los distintos ciclos de planificación hidrológica. Recientemente, se han aprobado los planes correspondientes al tercer ciclo de planificación, que abarca el periodo 2021-2027 (BOE, 2023). En la documentación de los planes puede encontrarse información abundante relativa a los usos del agua. Se ha realizado una recopilación de toda esta información, para obtener una imagen comparada de los usos del agua a lo largo del territorio. Los análisis se han realizado con distintas metodologías y criterios, para adaptarse a las condiciones locales en las diferentes demarcaciones hidrográficas, pero pueden identificarse tres categorías comunes que figuran en todas las demarcaciones: usos urbanos, usos agropecuarios y usos industriales. En la primera categoría se incluyen los usos que se suministran desde las redes de distribución municipales: consumo doméstico, público y comercial, así como las industrias conectadas a la red. En la segunda categoría se incluyen los usos de regadío y los consumos de la ganadería. En la tercera se incluyen los consumos industriales que tienen un suministro independiente del de la red municipal. Además, se ha considerado una cuarta categoría, denominada "Otros", donde se han consignado los usos del agua que no se han clasificado en alguna de las tres categorías anteriores. Debe resaltarse que no hay homogeneidad en la clasificación entre todas las demarcaciones. Por ejemplo, algunas de ellas, como la del Júcar, han incluido en la categoría industrial los consumos de las industrias de ocio y turismo, como los campos de golf.

Los resultados del análisis realizado se muestran en la tabla 3, donde se han consignado también otros datos básicos para valorar las diferencias entre demarcaciones: la superficie, la población permanente y las hectáreas en regadío. Las demandas de agua en la España peninsular y Baleares totalizan algo más de 30 km^3, de los cuales el 15,5% corresponde a usos urbanos, el

80,5% a usos agropecuarios y el 3,4% a usos industriales. Los usos urbanos ascienden a 4,68 km³ y suponen una dotación bruta media de 288 l/pd (litros por persona y día), calculado sobre la población permanente. Esta cifra presenta gran variabilidad a escala nacional, que se explica por la diversa distribución de la población entre núcleos de tamaño diferente, el peso local de la población estacional y la actividad turística y los diferentes grados de eficiencia en el uso del agua. Las demarcaciones que presentan una mejor ratio son la de las Cuencas Internas de Cataluña y la del Tajo, con 223 y 241 l/pd respectivamente, posiblemente debido al peso relativo de las grandes aglomeraciones metropolitanas. En el extremo opuesto se encuentran la demarcación del Ebro, con 422 l/pd, y las Islas Baleares, con 426 l/pd, en este último caso probablemente por el elevado peso de la población no residente.

Tabla 3 – Valores de demanda considerados en la situación actual en los planes hidrológicos del ciclo 2021-2027

	Superficie km²	Población Millones	Regadío Miles ha	Abastecimiento hm³/año	Agrario hm³/año	Industrial hm³/año	Otros hm³/año	Total hm³/año
Miño-Sil	17.578	0,80	23,60	99,7	323,6	16,3	3,9	443,5
Galicia Costa	13.136	2,03	7,17	216,0	41,5	90,1	0,0	347,5
Cantábrico Oriental	5.741	1,93	0,54	196,4	3,8	31,7	0,6	232,5
Cantábrico Occidental	17.339	1,62	3,27	205,3	7,0	143,5	0,6	356,4
Duero	78.864	2,13	416,82	261,1	3.108,1	38,8	0,0	3.408,0
Tajo	56.609	8,02	272,87	707,0	1.992,6	52,0	26,8	2.778,3
Guadiana	54.507	1,42	510,69	188,8	1.759,4	55,1	19,3	2.022,6
Guadalquivir	57.370	4,35	881,90	404,6	3.212,6	49,9	53,5	3.720,5
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	18.294	2,67	171,10	337,3	912,7	25,2	30,1	1.305,3
Guadalete-Barbate	5.961	0,92	56,62	104,9	284,6	17,2	6,5	413,2
Tinto, Odiel y Piedras	4.641	0,38	40,60	48,3	182,5	33,7	3,0	267,4
Segura	18.606	1,98	248,74	200,9	1.476,3	8,5	11,2	1.696,9
Júcar	42.937	5,05	374,43	489,5	2.439,0	134,0	0,8	3.063,2
Ebro	85.670	3,13	924,42	483,0	8.141,4	208,0	0,0	8.832,3
Cuencas Internas de Cataluña	16.388	6,96	65,95	566,9	379,5	95,9	0,0	1042,3
Baleares	5.005	1,13	11,50	175,5	54,7	7,4	9,5	247,0
Total Península y Baleares	**498.644**	**44,51**	**4.010,21**	**4.684,8**	**24.319,3**	**1.007,0**	**165,7**	**30.176,8**

Fuente: elaboración propia a partir de los planes hidrológicos de tercer ciclo (2021-2027).

La demanda de riego asciende a 24,3 km^3, que deben atender algo más de 4 millones de hectáreas en regadío. La dotación media es de 6.064 m^3/ha/año. Las cifras que se obtienen en los distintos territorios no son comparables, por la gran diversidad de climas, cultivos y prácticas agrícolas que existen en España. Entre las demarcaciones en las que la agricultura supone más del 70% de los usos totales, las menores dotaciones brutas se encuentran en las cuencas del Guadiana y del Guadalquivir, con 3.450 m^3/ha/año y 3.640 m^3/ha/año respectivamente. El consumo industrial supera ligeramente 1 km^3, lo que supone una dotación media de 22,6 m^3/h. Las mayores dotaciones se obtienen en las demarcaciones del Cantábrico Oriental y Tinto, Odiel y Piedras, donde se superan los 88 m^3/h. La menor dotación industrial corresponde a la demarcación del Segura, con 4,3 m^3/h.

Estas cifras de demanda reflejan las estimaciones de los equipos de trabajo de las oficinas de planificación hidrológica de las distintas demarcaciones de cara a la asignación de recursos que se debe realizar en los planes hidrológicos. Resulta interesante analizar la dimensión temporal de estas cifras. Para ello se ha recopilado la información correspondiente a cuatro momentos temporales: las estimaciones de demanda que se realizaron en el ciclo de planificación anterior en la situación actual de entonces (2015), la proyección que se realizó entonces para el año 2021 y las proyecciones del presente ciclo de planificación hacia el futuro, en los años 2027 y 2039. En la tabla 4 se ha consignado la variación porcentual con relación al valor estimado en la situación actual del recién aprobado ciclo de planificación (2021), marcando en verde las situaciones favorables y en rojo las desfavorables. En la comparación con el ciclo de planificación 2015-2021, se han marcado en rojo los casos en los que la estimación realizada entonces era inferior a la demanda que realmente se ha materializado en 2021 y en verde en caso contrario. En la comparación correspondiente al ciclo de planificación 2021-2027, se han marcado en rojo los crecimientos previstos de demanda y en verde las reducciones. El cuadro de valores totales está dominado por el color verde, lo que sugiere una dinámica positiva. En el conjunto del territorio, la demanda de agua en 2021 es un 1% inferior a la de 2015 y un 4,5% inferior a lo estimado para este año en el ciclo anterior de planificación. De cara al futuro, está previsto un crecimiento del 0,9% para el horizonte 2027 y del 1% para el horizonte 2039. La demarcación que tiene previstos unos crecimientos más fuertes es la del Tinto, Odiel y Piedras, seguida del Guadiana. En el conjunto de la tabla 4 se aprecia que hay una importante dinámica, con fuertes variaciones de la demanda entre los distintos horizontes. Estas variaciones pueden deberse al crecimiento (positivo o negativo) de la población o de la actividad económica en algún sector, a las medidas adoptadas para mejorar la eficiencia o, simplemente, a cambios en los datos o el criterio de evaluación de las demandas.

Tabla 4 – Variaciones de las estimaciones de demanda en distintos horizontes temporales de la planificación con relación a la demanda de la situación actual en los planes hidrológicos del ciclo 2021-2027

	Abastecimiento				Agrario				Industrial				Total			
	2015	2021	2027	2039	2015	2021	2027	2039	2015	2021	2027	2039	2015	2021	2027	2039
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Miño-Sil	-1,7	-5,6	-5,1	-5,1	-1,2	-5,2	-0,6	-0,6	5,9	26,5	10,7	10,7	-1,7	-5,0	-1,2	-1,2
Galicia Costa	4,5	-2,7	-1,9	-5,2	-24,8	-26,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,9	-1,2	-3,3
Cantábrico Oriental	19,1	-2,8	-12,9	-15,6	-26,0	-29,4	0,0	0,0	12,4	12,4	0,0	0,0	17,4	14,7	-10,9	-13,1
Cantábrico Occidental	24,7	3,4	-0,4	-0,7	968,2	949,6	0,0	0,0	-10,7	-10,7	1,7	3,3	29,5	31,6	0,5	0,9
Duero	10,0	-8,3	-4,0	-11,8	10,2	12,1	3,3	7,5	18,0	18,0	6,4	14,7	10,5	11,6	2,8	6,1
Tajo	4,8	16,6	5,4	18,4	-3,2	-1,0	-3,5	-3,1	-18,1	16,7	14,0	36,5	-0,9	5,7	-0,8	3,2
Guadiana	-12,0	0,3	0,5	1,6	8,9	14,8	10,1	10,1	-11,8	49,4	118,4	118,4	5,5	12,3	12,0	12,1
Guadalquivir	-6,2	5,4	4,6	-5,6	4,5	3,6	-4,3	-13,7	-12,9	-12,9	0,0	-9,5	1,6	1,4	-3,2	-12,7
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	2,2	6,4	-0,2	4,0	8,4	1,5	-6,3	-7,7	14,5	14,5	8,4	12,7	6,7	3,9	-3,5	-3,3
Guadalete-Barbate	2,9	8,7	3,7	6,1	7,8	1,1	-3,6	-3,6	0,0	-29,9	34,9	34,9	6,1	3,1	0,4	1,0
Tinto, Odiel y Piedras	2,4	13,3	3,8	8,1	-6,1	96,8	100,8	129,9	23,8	49,7	59,3	70,8	-1,0	75,0	76,9	99,0
Segura	-7,7	4,7	3,1	8,6	0,7	0,7	0,3	0,3	5,9	11,8	1,2	1,2	1,5	2,1	0,6	1,2
Júcar	7,2	-8,1	3,5	4,8	5,8	-2,2	-5,0	-5,0	-7,9	14,6	29,0	78,1	5,8	-0,9	-2,2	0,2
Ebro	-26,0	7,0	2,9	15,0	-5,7	2,9	-0,3	-1,1	-29,2	4,3	3,6	8,8	-7,3	1,7	0,0	0,0
Cuencas Internas de Cataluña	0,8	-7,2	1,7	4,9	-0,2	-0,6	-75,1	-75,0	0,1	4,3	291,7	295,1	0,4	-3,3	0,4	2,5
Baleares	-6,5	-15,5	0,0	0,0	25,4	89,0	0,0	0,0	-63,1	-63,1	0,0	0,0	-1,4	2,4	0,0	0,0
Total Península y Baleares	**0,2**	**1,6**	**1,3**	**4,2**	**1,6**	**5,0**	**-1,0**	**-1,8**	**-8,9**	**7,3**	**43,0**	**52,7**	**1,0**	**4,5**	**0,9**	**1,0**

Nota: 2015: situación actual del ciclo 2015-2021. 2021: previsto para 2021 en el ciclo 2015-2021. 2027: previsto para 2027 en el ciclo 2021-2027. 2029: previsto para 2039 en el ciclo 2021-2027.

Fuente: elaboración propia a partir de los planes hidrológicos de segundo ciclo (2015-2021) y tercer ciclo (2021-2027).

El equilibrio entre recursos y demandas

Si se comparan las aportaciones estimadas mediante el modelo SIMPA con las demandas de las demarcaciones hidrográficas, se puede apreciar que hay una gran variabilidad en cuanto a su situación. En las demarcaciones de la Cornisa Cantábrica, la demanda es una pequeña fracción de la aportación del año mínimo. En estos casos, las demandas pueden atenderse prácticamente con los recursos fluyentes y no son necesarias obras hidráulicas de gran entidad[4]. Hay otras demarcaciones, como Duero, Tajo, Ebro o Cuencas Internas de Cataluña, en las que la demanda es comparable a la aportación del año mínimo. En estas cuencas es necesario disponer de regulación anual, ya que la secuencia temporal de presentación de las aportaciones no coincide, en general, con las épocas del año en las que se produce una mayor demanda. En el resto de las demarcaciones, la demanda supera ampliamente la aportación del año mínimo, destacando los casos de Guadiana, Guadalquivir y Segura, en los que la demanda es más de cinco veces superior a la aportación del año mínimo. En algunas de estas demarcaciones, como Júcar o Segura, la demanda llega a igualar o superar el valor de la aportación media. En estos casos ha sido necesario recurrir a obras hidráulicas de gran entidad, como embalses de regulación hiperanual y grandes conducciones de transporte, para poder atender las necesidades. Debe tenerse en cuenta que las aportaciones del modelo SIMPA corresponden a la totalidad de los recursos disponibles, puesto que describe una situación de régimen natural en la que la recarga de los acuíferos vuelve a los cauces como aportación subterránea. Si se realiza una explotación de aguas subterráneas, esta irá en detrimento del flujo base de los ríos y se producirá una reducción de los recursos superficiales comparable a los valores medios de los volúmenes extraídos anualmente.

Para analizar cómo se consigue el equilibrio entre necesidades y disponibilidades de agua resulta imprescindible entender el papel que juega la infraestructura hidráulica y su gestión. El desarrollo de los usos de agua se fue produciendo de manera progresiva a lo largo del siglo XX, bajo el impulso del Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1933. Junto a la necesidad básica de abastecimiento de la población, en la segunda mitad del siglo XX se establecieron como prioridades la producción energética, en respuesta al aislamiento internacional, y el desarrollo de la agricultura de regadío, como instrumento de la política territorial para la redistribución de la riqueza. Estas políticas dieron lugar a las grandes obras de regulación que han permitido incrementar de manera sustancial la disponibilidad de agua. En el último cuarto del siglo XX la atención se centró en el saneamiento de

[4] Hay algunas excepciones: por ejemplo, la conurbación de Bilbao se nutre en parte de un trasvase del Ebro y la de Santander ha requerido la construcción de un trasvase de 5 hm^3/año.

poblaciones y la depuración de aguas residuales, para evitar el deterioro de la calidad del agua que se había producido como consecuencia del desarrollo económico. Posteriormente, el énfasis se puso en la movilización de recursos no convencionales: el aprovechamiento conjunto de aguas superficiales y subterráneas, la reutilización de aguas regeneradas o la desalinización de agua de mar y salobre.

Tabla 5 – Procedencia de los recursos que atienden la demanda de la situación actual en los planes hidrológicos del ciclo 2021-2027

	Superficial	Subterránea	Reutilización	Desalación	Transferencias	Total
	hm³/a	hm³/a	hm³/a	hm³/a	hm³/a	hm³/a
Miño-Sil	353,3	90,2	-	-	-	443,5
Galicia Costa	316,4	31,2	-	-	-	347,5
Cantábrico Oriental	232,5	-	-	-	-	232,5
Cantábrico Occidental	278,0	78,4	-	-	-	356,4
Duero	2.586,2	821,9	-	-	-	3.408,0
Tajo	2.492,2	286,1	-	-	-	2.778,3
Guadiana	1.561,6	448,0	-	-	13,0	2.022,6
Guadalquivir	2.798,9	887,1	34,5	-	-	3.720,5
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	635,5	567,4	23,6	46,8	32,0	1.305,3
Guadalete-Barbate	351,8	56,8	4,6	-	-	413,2
Tinto, Odiel y Piedras	231,8	32,7	3,0	-	-	267,4
Segura	496,4	542,5	155,6	235,0	267,4	1.696,9
Júcar	1.542,1	1.365,2	89,8	5,0	61,1	3.063,2
Ebro	8.255,4	576,9	-	-	-	8.832,3
Cuencas Internas de Cataluña	550,4	415,9	-	-	76,1	1.042,3
Baleares	7,8	188,1	33,3	17,9	-	247,0
Total Península y Baleares	**22.690,2**	**6.388,2**	**344,3**	**304,6**	**449,5**	**30.176,8**

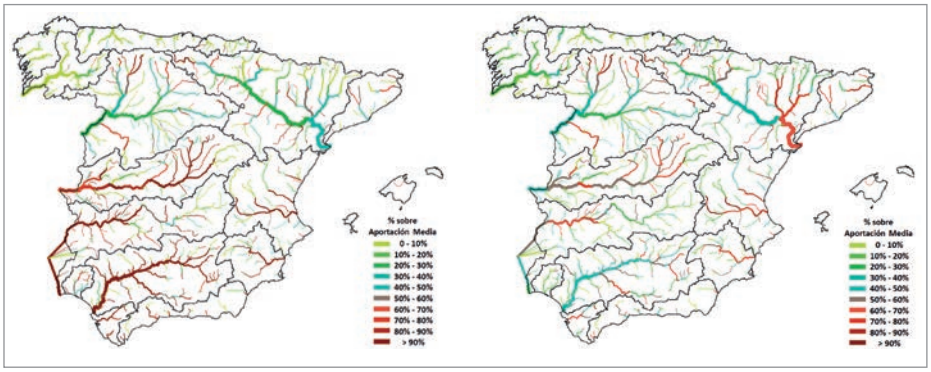
Fuente: elaboración propia.

Se ha recopilado información de la procedencia de los recursos con los que se atienden las demandas para comprender cómo se puede llegar al equilibrio en las cuencas con mayor grado de aprovechamiento. En este caso, no todas las demarcaciones ofrecen información precisa, pero resulta suficiente para hacer una primera aproximación. Los valores se presentan en la tabla 5, que contiene el reparto de la demanda total entre las cinco fuentes principales de suministro: aguas superficiales, aguas subterráneas, reutilización de aguas regeneradas, aguas desaladas y transferencias entre cuencas. En algunos casos la información recopilada a partir de la documentación del anejo de usos de agua de los planes hidrológicos no es completamente precisa. Por ejemplo, en la cuenca del Tajo se utilizan unos 24 hm^3/a de aguas regeneradas para distintos usos en Madrid. La demarcación del Cantábrico Oriental recibe unos 200 hm^3/a de la del Ebro a través de los trasvases Zadorra-Arratia, Cerneja-Ordunte y Alzania-Oria, que no figuran en la tabla. A pesar de estas imprecisiones, la tabla 5 ilustra sobre el balance de recursos global en España. Los 30,2 km^3/a de demanda se atienden fundamentalmente con agua superficial (un 75,2%) y mediante la explotación de agua subterránea (un 21,2%). El 3,6 % restante se atiende mediante recursos no convencionales: reutilización, desalinización y transferencias entre cuencas. Esta última cifra puede parecer globalmente baja, pero tiene una importancia fundamental en las demarcaciones donde la escasez de recursos es más acusada. Por ejemplo, en la demarcación del Segura, los recursos superficiales regulados en los embalses y los bombeos desde acuíferos satisfacen el 29,2% y el 32% de la demanda, respectivamente; la reutilización aporta un 9,2%, la desalinización un 13,8% y las transferencias un 15,8%.

Situaciones de estrés y riesgo en las demarcaciones

Para ilustrar sobre las situaciones de estrés y riesgo en las demarcaciones, se emplean los resultados del modelo WAAPA (acrónimo de Water Availability and Adaptation Policy Assessment), desarrollado en el marco del proyecto de investigación SECA-SRH. El modelo elaborado está descrito en Paredes-Beltrán et al. (2021) y representa la red fluvial de la España peninsular, incluyendo los embalses de regulación con capacidad superior a 1 hm^3 que no están destinados exclusivamente a uso hidroeléctrico, lo que supone el 74% de la capacidad total de embalse en la España peninsular. El modelo realiza un análisis de la disponibilidad de agua para atender una demanda potencial en cada nudo de la red fluvial. Se ha considerado una demanda mixta abastecimiento-regadío que se atiende satisfactoriamente si el déficit en uno, dos o diez años consecutivos no supera el 50%, el 75% o el 100% de la demanda anual, respectivamente. Los resultados se presentan en el gráfico 1, que muestra el volumen de regulación disponible y el resultado de disponibilidad potencial de agua a lo largo de la red fluvial, ambos expresados como porcentaje de la aportación media en cada punto.

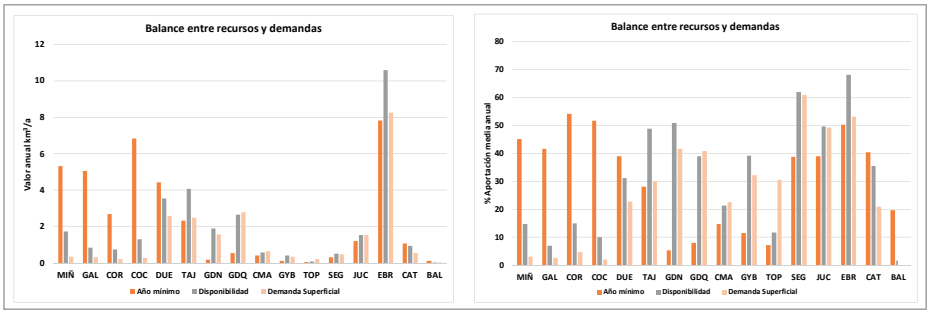
Gráfico 1 – Distribución espacial de la capacidad de embalse útil (izquierda) y la disponibilidad potencial de agua (derecha), expresados ambos como porcentaje de la aportación media anual



Fuente: elaboración propia.

Los resultados se resumen en el gráfico 2, donde se comparan los valores de la aportación en el año mínimo, la disponibilidad y la demanda atendida con agua superficial. Los valores se muestran tanto en valor absoluto como en porcentaje respecto de la aportación media. En el gráfico se aprecia que hay muchas demarcaciones en las que la disponibilidad es superior a la aportación en el año mínimo. En las demarcaciones con mayor irregularidad, como Guadiana o Guadalquivir, la regulación hiperanual permite que la disponibilidad sea muy superior a la aportación del año mínimo. Hay un número importante de demarcaciones en las que el grado de aprovechamiento de los recursos es muy alto, porque la disponibilidad potencial es muy similar a la demanda atendida con agua superficial. Esto ocurre en la totalidad de las demarcaciones situadas en la mitad meridional de la península, que además cuentan ya con una capacidad de embalse muy significativa, por lo que han llegado prácticamente al límite de la regulación.

Gráfico 2 – Comparación entre la aportación del año mínimo, la disponibilidad potencial de agua superficial y la demanda de agua superficial



Nota: Izquierda: valores en km^3/año. Derecha: valores en porcentaje de la aportación media anual.

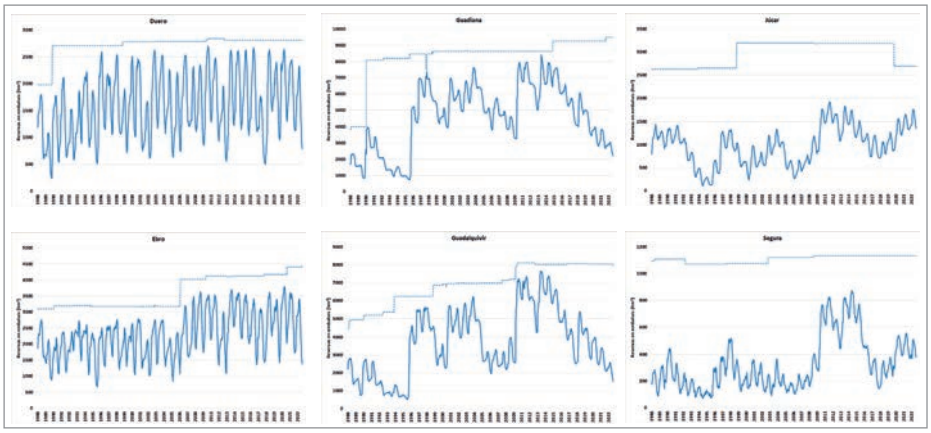
Fuente: elaboración propia.

Los valores del gráfico corresponden al total de la demarcación, por lo que pueden existir también sistemas de explotación en situación de equilibrio incluso en las demarcaciones globalmente excedentarias, como Duero, Tajo o Ebro. El caso de la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras es llamativo: la disponibilidad de recursos propios es mucho menor que la demanda, porque esta se atiende parcialmente con recursos procedentes de la demarcación del Guadiana.

Las cuencas con un mayor grado de aprovechamiento presentan una exposición al riesgo muy significativa. Los actores que participan en la gestión del agua, tanto usuarios como técnicos o gestores de la Administración Hidráulica, tienen un profundo conocimiento de las características singulares de la gestión de los recursos y colaboran eficazmente en las situaciones de crisis. Esta gran capacidad de gestión permite obtener rentabilidades muy significativas de los usos del agua, a pesar de que las garantías de suministro son muy inferiores a las disponibles en otras regiones donde los recursos son más abundantes. Este proceso tiene como consecuencia una gran presión para el crecimiento de la actividad, pero se encuentra con el límite físico de la disponibilidad de recursos y el límite económico que supone el coste de desalinización. En estas regiones se ha alcanzado una situación de equilibrio inestable que es muy sensible a cualquier modificación de las circunstancias y puede dar lugar a conflictos potencialmente muy severos.

Para ilustrar este aspecto se ha preparado el gráfico 3, en el que se muestra la evolución del volumen embalsado en seis cuencas, tomado a partir de los datos publicados en el Boletín Hidrológico. Se han incluido dos cuencas con regulación anual: Duero y Ebro, dos con regulación hiperanual: Guadiana y Guadalquivir y dos con una escasez extrema que ha dado lugar a una gran diversidad de fuentes de suministro: Júcar y Segura.

Gráfico 3 – Evolución histórica de las reservas de agua en seis cuencas españolas, según datos del Boletín Hidrológico

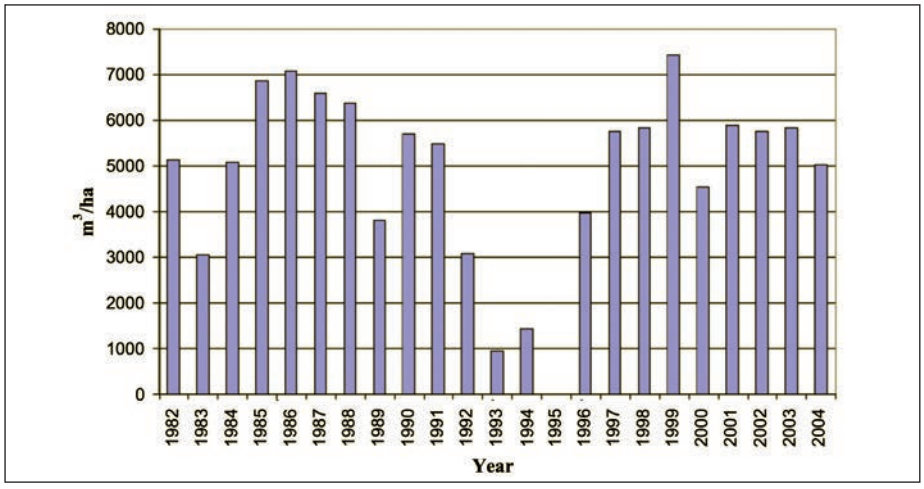


Nota: La línea continua representa el volumen de reservas y la discontinua la capacidad de almacenamiento.
Fuente: elaboración propia a partir de datos del Boletín Hidrológico.

En las cuencas de regulación anual, las demandas son comparables a la aportación del año mínimo y todos los años se produce un llenado y vaciado de los embalses de la cuenca, dando lugar a un funcionamiento estable y repetible. En el caso de las cuencas de regulación hiperanual, el sistema depende de la ocurrencia de años hidrológicos excepcionalmente húmedos para llenar los embalses, que se van vaciando progresivamente en los años hidrológicos más habituales, en los que se atiende una demanda que es superior a la aportación. Puede apreciarse que ambas cuencas llevan casi una década desembalsando volúmenes superiores a las aportaciones para atender las demandas. La vulnerabilidad de estos sistemas es considerable, puesto que no se dispone de fuentes alternativas de suministro en el caso de que los embalses lleguen a vaciarse completamente. Las cuencas del Júcar y Segura presentan un grado de llenado que históricamente ha estado por debajo de los de Guadiana y Guadalquivir, pero disponen de mecanismos de gestión que dotan de una cierta estabilidad al sistema: los regantes adaptan los consumos a las disponibilidades y existe capacidad de movilizar recursos no convencionales, como la desalación, si resulta necesario.

El gráfico 4, tomado de Rodríguez Díaz et al. (2007), muestra este proceso de vaciado en la cuenca del Guadalquivir, incidiendo directamente en las asignaciones de los regantes durante la sequía más extrema que ha padecido España en los últimos 30 años. Estos resultados de usos del agua en el período 1990-1995 contrastan con el nulo impacto económico en el sector agrario de la sequía del Guadalquivir, que se muestran en la sección 4 del capítulo.

Gráfico 4 – Volúmenes medios de las dotaciones de los regantes en 30 zonas regables de la cuenca del Guadalquivir en el periodo 1982-2004



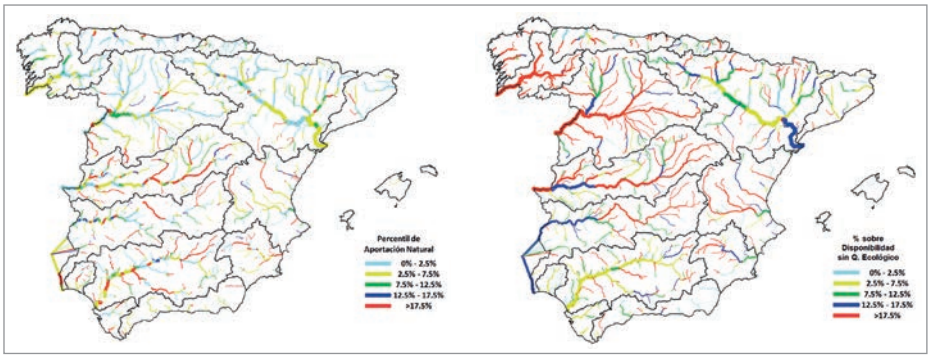
Fuente: Camacho 2005, citado por Rodríguez Díaz (2007).

Los caudales ecológicos

La atención a las demandas actuales de agua se logra por medio de una capacidad de embalse de 58,5 km³, el desarrollo de una extensa red de transporte y distribución de agua, la explotación intensiva de muchos acuíferos, una creciente movilización de recursos no convencionales y la aplicación de complejas normas de gestión. Todo ello ha originado una profunda alteración del régimen hidrológico y las condiciones fisicoquímicas de los ríos españoles, con fuertes impactos sobre los ecosistemas acuáticos. Por este motivo, la mejora del estado ecológico es, junto con la atención a las demandas, el objetivo fundamental de la planificación hidrológica. La imposición de un régimen de caudales ecológicos es una de las medidas que ha adoptado la Administración Hidráulica para la protección de los ecosistemas fluviales. El caudal ecológico se define en el Reglamento de Planificación Hidrológica (BOE, 2007) como "el caudal que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera". Se trata de una definición muy imprecisa, que se desarrolla en la Instrucción de Planificación Hidrológica (BOE, 2008) mediante un conjunto de métodos de cálculo para su cuantificación. Los métodos de cálculo son de dos tipos: hidrológicos –basados en el análisis de la serie temporal de caudales circulantes en régimen natural– e hidrobiológicos –basados en el análisis del hábitat disponible para determinadas especies objetivo mediante técnicas de modelación hidráulica–.

Los planes hidrológicos recientemente aprobados han empleado estos métodos de cálculo para fijar caudales ecológicos mínimos en la práctica totalidad de las masas de agua superficiales de España. Los resultados son difíciles de analizar desde el punto de vista global, porque el régimen de caudales ecológicos cambia a lo largo del año y está relacionado con las características hidrológicas de cada masa de agua. En la parte izquierda del gráfico 5 se muestra un mapa que permite realizar una comparación entre los caudales ecológicos establecidos en los distintos ríos. Se ha representado el valor del caudal medio anual que corresponde al caudal ecológico mínimo, expresado como percentil de la serie mensual de caudales en régimen natural proporcionada por el modelo SIMPA para ese punto. En el gráfico se han representado cinco rangos de valores: los centrados en los percentiles 5%, 10% y 15%, más los dos rangos extremos. Como se puede apreciar en el gráfico, los resultados obtenidos han sido muy dispares, incluso entre diferentes zonas dentro de la misma demarcación. Esto es debido a que los métodos de cálculo de caudales ecológicos mínimos que propone la Instrucción de Planificación Hidrológica están sujetos a un gran número de fuentes de incertidumbre e incorporan amplias horquillas de aplicación que se dejan a criterio del analista. Esto hace que su aplicación proporcione una gran diversidad de resultados, todos ellos compatibles con la Instrucción de Planificación Hidrológica.

Gráfico 5 – Distribución espacial de los caudales ecológicos, expresados en percentil de la distribución mensual (izquierda), y los cambios que producen en disponibilidad potencial de agua frente a la situación sin caudal ecológico (derecha)



Fuente: elaboración propia.

Los caudales ecológicos tienen una influencia directa sobre la disponibilidad de agua, ya que se consideran una restricción previa al sistema de explotación. Esta influencia se ha evaluado con ayuda del modelo WAAPA, que se ha empleado para obtener la disponibilidad potencial de agua respetando los caudales ecológicos especificados para la masa de agua correspondiente a cada nudo de cálculo. Esta disponibilidad se ha comparado con la que resulta sin aplicar caudales ecológicos. La disponibilidad en las demarcaciones de la España peninsular desciende de 31,57 km^3/a a 26,42 km^3/a, lo que supone una la merma media de disponibilidad del 16,32%. Las reducciones locales de disponibilidad se muestran en la parte de la derecha del gráfico 5, donde puede apreciarse que los caudales ecológicos supondrían una importante reducción de disponibilidad en las cabeceras de las cuencas, que resulta atenuada de forma significativa por la regulación que proporcionan los embalses.

Las cifras obtenidas muestran que la repercusión de los caudales ecológicos sobre la disponibilidad de agua puede llegar a ser muy importante, especialmente en las cuencas que no disponen de regulación. En la práctica, las reducciones de disponibilidad debidas a la implantación de los caudales ecológicos son inferiores a las calculadas mediante el modelo, puesto que ya se respetaba un régimen de caudales mínimos en muchos embalses antes de la implantación de los caudales ecológicos.

Puede concluirse que la aplicación de los métodos de cálculo de caudales ecológicos, por sí sola, puede no ser suficiente para encontrar una solución óptima para resolver el conflicto entre protección del medio ambiente y disponibilidad de agua. Las incertidumbres de los métodos de cálculo de caudal ecológico deben resolverse mediante estudios complementarios, en

los que se pondere la repercusión de los caudales ecológicos no sólo sobre la integridad ambiental de la masa de agua, sino también sobre los niveles de garantía de las unidades de demanda afectadas y la repercusión económica y social, tanto positiva como negativa, de su implantación.

3. Proyecciones climáticas e impactos sobre los balances hídricos

3.1. Análisis de los cambios observados

Tradicionalmente, los análisis de disponibilidad de agua en planificación hidrológica se basaban en la hipótesis de estacionariedad de las series de aportaciones en régimen natural. Siempre se ha sabido que esta hipótesis no es correcta, puesto que las series hidrológicas experimentan fluctuaciones cíclicas, pero se consideraba que la modelación con la serie histórica era más fiable que la que pudiera incorporar una variabilidad que es muy difícil de modelar, especialmente en el largo plazo. A pesar de que en el último ciclo de planificación también se han hecho las simulaciones con la serie histórica, este enfoque está cambiando, puesto que ya se ha experimentado un cambio muy significativo en los recursos hídricos naturales en nuestro territorio.

Las series hidrológicas que proporciona el modelo SIMPA permiten hacer un seguimiento de la evolución de los recursos hídricos en régimen natural desde el año hidrológico 1940-41. Para ilustrar el cambio que se está produciendo, se han comparado los valores medios de las variables hidrológicas que figuran en la tabla 1 en los periodos de 1940-41 a 1979-80 y de 1980-81 a 2018-19. Los resultados se presentan en la tabla 6, que muestra el cambio en los valores medios del periodo más reciente con relación a los valores medios del periodo más antiguo. Como suele ser habitual en estudios de cambio climático, las variaciones de temperatura se han expresado en ˚C y las variaciones de las variables hidrológicas se han expresado en porcentaje. Se ha empleado un código de colores para marcar en verde los cambios favorables (reducción de temperatura o incremento de variables hidrológicas) y en rojo los cambios desfavorables. En el periodo analizado, la temperatura media en España ha subido 0,6 ˚C. Todas las variables hidrológicas han disminuido, excepto la evapotranspiración potencial, que está vinculada a la temperatura. El descenso de la precipitación ha sido del 6,7%, que se ha traducido en una reducción de la escorrentía del 11,8% y una reducción de la evapotranspiración real del 4,2%. La precipitación y la escorrentía se han reducido en todas las demarcaciones. La única demarcación con un descenso observado inferior al 5% es la de Galicia Costa. Las demarcaciones que han experimentado una mayor reducción de la escorrentía son las del Guadiana y Tajo, con un 23,5% y 22,8% respectivamente.

Tabla 6 – Cambios de los valores medios de las variables del modelo SIMPA en las demarcaciones hidrográficas en el periodo 1980-81 a 2018-19 con relación al periodo 1940-41 a 1979-80

	TEM °C	PRE %	ESC %	REC %	H %	ETP %	ETR %	ESCd %	ESCsb %
Miño-Sil	0,5	-9,3	-13,9	-6,9	-2,8	1,0	-2,2	-18,2	-6,9
Galicia Costa	0,5	-1,1	-2,6	-0,6	-0,4	1,6	1,3	-3,8	-0,6
Cantábrico Oriental	0,6	-4,5	-5,9	-6,4	-5,4	0,1	-2,5	-5,3	-6,4
Cantábrico Occidental	0,5	-5,3	-7,2	-4,8	-3,4	-1,2	-2,5	-8,8	-5,0
Duero	0,5	-6,6	-15,1	-12,5	-6,4	2,6	-3,3	-18,1	-12,5
Tajo	0,7	-12,0	-22,8	-25,5	-14,5	1,4	-7,7	-22,1	-25,1
Guadiana	0,7	-9,4	-23,5	-20,2	-13,5	1,5	-6,6	-24,1	-19,8
Guadalquivir	0,5	-7,0	-16,1	-15,6	-10,0	2,0	-4,2	-16,3	-15,7
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	0,6	-6,9	-10,9	-11,6	-10,6	2,6	-5,1	-10,6	-11,5
Guadalete-Barbate	0,7	-9,7	-20,3	-20,3	-13,4	1,7	-5,4	-20,4	-19,9
Tinto, Odiel y Piedras	0,1	-3,5	-9,0	-10,2	-4,4	-1,5	-1,5	-8,8	-10,4
Segura	0,6	-5,1	-12,6	-10,1	-10,4	1,6	-4,2	-18,0	-10,3
Júcar	0,6	-4,2	-6,8	-6,7	-6,1	1,6	-3,8	-6,2	-7,0
Ebro	0,5	-4,5	-6,2	-4,9	-6,9	1,8	-3,7	-7,7	-4,8
Cuencas Internas de Cataluña	0,7	-6,4	-17,0	-14,5	-12,4	4,1	-2,7	-18,7	-14,5
Baleares	0,7	-6,3	-17,4	-15,1	-12,6	4,6	-3,1	-22,6	-15,3
Canarias	0,6	-10,9	-16,1	-15,1	-11,4	-3,0	-7,8	-18,4	-15,0
Media España	**0,6**	**-6,7**	**-11,8**	**-9,0**	**-8,3**	**1,7**	**-4,2**	**-13,8**	**-9,0**

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados del modelo SIMPA.

El análisis de las aportaciones se muestra en la tabla 7, que tiene una estructura similar a la tabla 2, pero muestra la diferencia en porcentaje entre los dos periodos de referencia. La media de aportaciones anuales en España en el periodo de 1940-41 a 2018-19 es de 107,17 km^3/a. Si dividimos los 78 años disponibles en dos periodos, la media durante el primer periodo, de 1940-41 a 1979-80, fue de 113,86 km^3/a, mientras que la media del segundo periodo, de 1980-81 a 2018-19, ha sido de 100,48 hm^3/a, lo que ha supuesto un descenso del 11,8%. Los valores máximos, sin embargo, han experimentado un aumento del 5%, mientras que los mínimos han disminuido en un 5,1%. Los valores máximos han experimentado un aumento en la mayoría de las demarcaciones, mientras que los mínimos presentan un comportamiento irregular, con variaciones muy fuertes en valor absoluto. Esto sugiere un incremento de la variabilidad interanual, lo que resulta desfavorable para la regulación.

Tabla 7 – Cambios de los valores máximo, medio y mínimo de tres variables del modelo SIMPA en las demarcaciones hidrográficas en el periodo 1980-81 a 2018-19 con relación al periodo 1940-41 a 1979-80

	PRE			ESC			ETR		
	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Miño-Sil	6,5	-9,3	-4,2	9,8	-13,9	0,4	-5,8	-2,2	-0,9
Galicia Costa	9,4	-1,1	-8,4	13,2	-2,6	-4,9	-0,2	1,3	0,1
Cantábrico Oriental	2,2	-4,5	-5,9	2,9	-5,9	-13,7	-0,8	-2,5	-0,2
Cantábrico Occidental	-4,1	-5,3	-10,6	-3,7	-7,2	-16,6	-2,7	-2,5	0,4
Duero	-1,8	-6,6	-1,9	6,5	-15,1	1,6	-1,6	-3,3	-2,0
Tajo	-7,4	-12,0	-1,5	-6,0	-22,8	-4,2	-4,5	-7,7	-10,9
Guadiana	3,2	-9,4	-2,7	12,1	-23,5	-35,5	-4,6	-6,6	-5,9
Guadalquivir	-0,6	-7,0	-0,6	16,6	-16,1	-35,2	-8,0	-4,2	0,3
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	4,2	-6,9	-16,2	14,8	-10,9	-48,3	-4,5	-5,1	-10,5
Guadalete-Barbate	-8,0	-9,7	-17,3	-11,1	-20,3	-51,5	-7,1	-5,4	-11,9
Tinto, Odiel y Piedras	2,7	-3,5	16,4	8,8	-9,0	49,5	2,4	-1,5	9,3
Segura	5,6	-5,1	-9,9	2,3	-12,6	-10,6	0,8	-4,2	-4,4
Júcar	-7,0	-4,2	7,3	5,0	-6,8	6,2	-2,8	-3,8	5,9
Ebro	-2,1	-4,5	-0,4	7,5	-6,2	16,0	-4,1	-3,7	-1,7
Cuencas Internas de Cataluña	-11,2	-6,4	6,7	-22,7	-17,0	-5,6	-0,7	-2,7	-0,3
Baleares	-4,5	-6,3	-18,9	-7,4	-17,4	-37,8	4,4	-3,1	-12,7
Canarias	-20,5	-10,9	-27,4	-31,3	-16,1	-49,1	-11,1	-7,8	-23,2
Total España	-1,3	**-6,7**	**-3,0**	**5,0**	**-11,8**	**-5,1**	**-3,7**	**-4,2**	**-2,8**

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados del modelo SIMPA.

3.2. Escenarios de cambio climático

El descenso observado en las aportaciones puede continuar en el futuro, según indican las previsiones de los escenarios de cambio climático. El CEDEX ha publicado dos informes sobre proyecciones de cambio climático en recursos hídricos. En el primer informe (CEDEX, 2010), se tomó como periodo de referencia 1960-1990 y se simularon doce proyecciones climáticas en el periodo 2011-2100, de las que seis correspondían al escenario de emisiones B2 y otras seis al escenario A2. En el segundo informe (CEDEX, 2017), el periodo de referencia fue 1960-2000 y se simularon seis proyecciones del escenario de emisiones RCP4.5 y otras seis del escenario RCP8.5 en el periodo 2006-2100. RCP es el acrónimo en inglés de las denominadas

Tabla 8 – Proyecciones de cambio de la variable escorrentía en las demarcaciones hidrográficas según los informes del CEDEX (2010, 2017)

	2010-2040				2040-2070				2070-2100			
	RCP	SRES	RCP	SRES	RCP	SRES	RCP	SRES	RCP	SRES	RCP	SRES
	4,5	B2	8,5	A2	4,5	B2	8,5	A2	4,5	B2	8,5	A2
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Miño-Sil	-3	-3	-6	-6	-11	-7	-11	-12	-10	-6	-19	-21
Galicia Costa	-3	-3	-6	-6	-11	-8	-11	-12	-10	-5	-19	-19
Cantábrico Oriental	-3	-10	-7	-12	-12	-16	-13	-16	-10	-20	-26	-30
Cantábrico Occidental	-2	-10	-6	-13	-10	-16	-12	-16	-10	-17	-23	-29
Duero	-3	-7	-9	-8	-13	-9	-15	-17	-14	-13	-25	-31
Tajo	-3	-8	-8	-8	-11	-9	-15	-19	-14	-15	-25	-35
Guadiana	-3	-9	-9	-12	-12	-11	-18	-27	-17	-20	-30	-42
Guadalquivir	-2	-13	-10	-11	-10	-12	-18	-28	-19	-24	-32	-43
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	-3	-16	-11	-12	-8	-15	-20	-30	-20	-27	-31	-41
Guadalete-Barbate	-2	-13	-10	-11	-10	-12	-18	-28	-19	-24	-32	-43
Tinto, Odiel y Piedras	-3	-9	-9	-12	-12	-11	-18	-27	-17	-20	-30	-42
Segura	-7	-13	-9	-10	-11	-14	-23	-21	-20	-21	-38	-33
Júcar	-4	-12	-11	-5	-12	-13	-24	-18	-21	-24	-36	-32
Ebro	-2	-9	-7	-9	-11	-13	-13	-14	-12	-16	-26	-28
CCII de Cataluña	6	-7	-4	0	-4	-9	-8	-4	-8	-16	-19	-21
Islas Baleares	-7	-15	-16	-4	-13	-20	-31	-15	-24	-23	-42	-31
Canarias	-6	-25	-14	-18	-10	-28	-25	-32	-26	-34	-34	-41
Total España	**-3**	**-8**	**-7**	**-8**	**-11**	**-11**	**-14**	**-16**	**-13**	**-14**	**-24**	**-28**

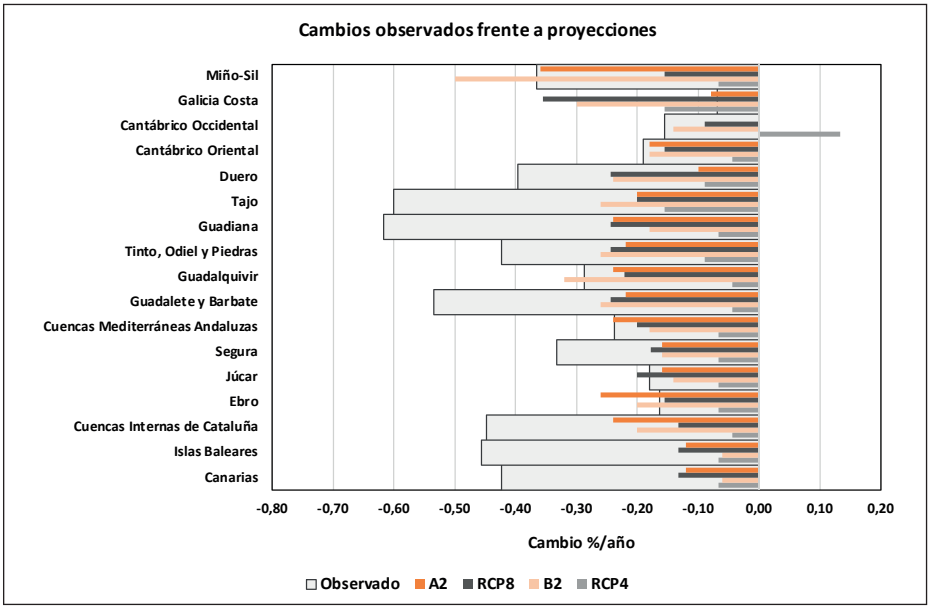
Fuente: elaboración propia.

Sendas Representativas de Concentración. Los escenarios de emisiones A2 y RCP8.5 describen un mundo con mayor crecimiento y actividad económica que los escenarios B2 y RCP4.5, donde se aplican soluciones locales. En ambos informes, los análisis de las proyecciones se centraron en tres ventanas: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100. Se estimaron las previsiones de evolución de las variables hidrológicas básicas en las distintas ventanas temporales, en función del escenario de emisiones considerado.

Las principales conclusiones de los informes de cambio climático se muestran en la tabla 8. En la tabla se aprecian los cambios porcentuales esperados en la variable escorrentía en las distintas ventanas temporales y en los distintos escenarios de emisiones. Se muestran los valores medios de los seis escenarios analizados en cada caso, para cada demarcación hidrográfica y para el conjunto de España. En líneas generales, los resultados de los dos informes son coincidentes entre sí. Los resultados en el escenario B2 son similares a los obtenidos con el escenario RCP4.5 y los resultados en el escenario A2 son similares a los del escenario RCP8.5. Para la primera ventana temporal se esperaban reducciones globales en España entre el 3% y el 8%. Las reducciones proyectadas están comprendidas entre el 11% y el 16% para la segunda ventana y entre el 13% y el 28% para la tercera, al final de siglo. La incidencia es variable en las distintas regiones, con las mayores reducciones proyectadas para las islas y para las demarcaciones del sur de la península: Guadalquivir, Guadalete-Barbate y Cuencas Mediterráneas Andaluzas, donde se esperan reducciones próximas al 10%, 20% y 30% en las tres ventanas de análisis.

Las reducciones proyectadas son preocupantes, especialmente si se considera el equilibrio actual entre recursos disponibles y demandas en muchas demarcaciones. Las proyecciones climáticas se realizan mediante metodologías que están sujetas a múltiples fuentes de incertidumbre, por lo que resulta conveniente contrastarlas con observaciones antes de comprometer políticas que pueden resultar muy costosas. Por ello, se han contrastado las proyecciones con las observaciones del cambio que ya se ha registrado. Se ha calculado la tasa de cambio, expresada en porcentaje de variación con relación al periodo de referencia, representando conjuntamente los valores de cambio observado (en el periodo 1940-79 a 1980-2019) y cambio proyectado (en los periodos 1960-90 a 2010-2040 y 1960-2000 a 2010-2040). Los resultados se presentan en el gráfico 6, donde se puede apreciar que las tasas de cambio observadas están por encima de las tasas de cambio proyectadas en muchas demarcaciones. Aunque las estimaciones corresponden a periodos diferentes, puede concluirse que los cambios proyectados no son exagerados y deben considerarse conservadores a la vista de la tendencia reciente.

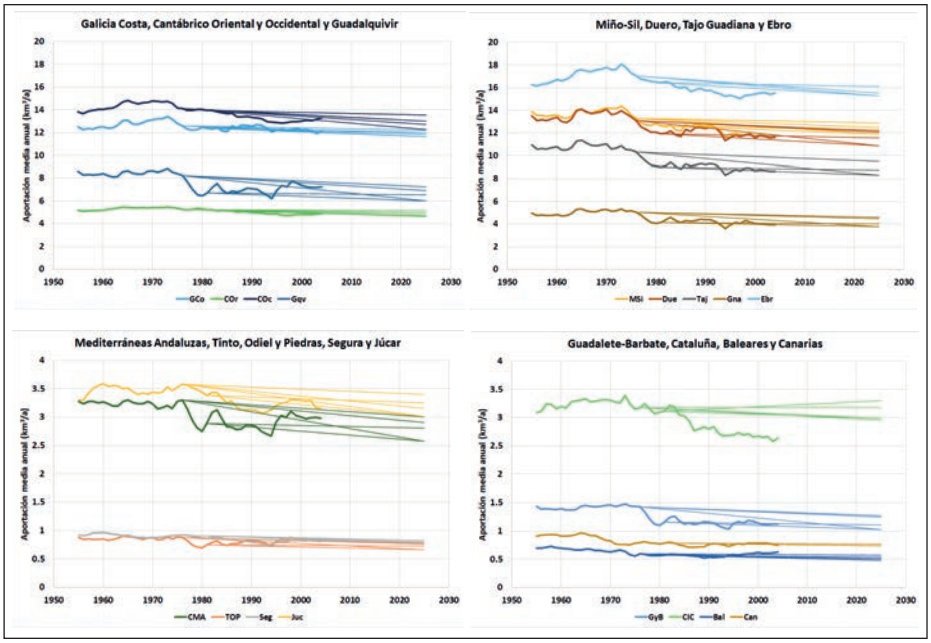
Gráfico 6 – Comparación de las proyecciones de cambio de la variable escorrentía en las demarcaciones hidrográficas según los informes del CEDEX (2010, 2017) con las variaciones observadas entre 1940-79 y 1980-2019



Fuente: elaboración propia.

La comparación realizada tiene el inconveniente de que las tasas de cambio corresponden a periodos diferentes. Para ajustar mejor la comparación, se ha preparado el gráfico 7, en el que se han representado las medias móviles de 30 años de las aportaciones en las distintas demarcaciones, lo que permite apreciar la tendencia de su evolución reciente, junto con las proyecciones para la primera ventana de análisis. Se han representado las proyecciones medias en los cuatro escenarios de emisiones analizados en los dos estudios del CEDEX. Tanto la media móvil como las proyecciones se han representado en el año central de la ventana correspondiente. El gráfico se ha dividido en cuatro grupos de demarcaciones para evitar un solape excesivo. El ajuste colectivo es satisfactorio, puesto que la media móvil más reciente de la mayor parte de las demarcaciones se encuentra en el rango de las proyecciones realizadas para ese periodo. Algunas demarcaciones, como Galicia Costa, Cantábrico Oriental, Guadiana, Segura o Canarias muestran una gran concordancia entre la evolución de las aportaciones y las proyecciones en los escenarios considerados. Otras demarcaciones, como Miño-Sil o Cuencas Internas de Cataluña muestran una disminución más acusada de lo previsto, mientras que algunas, como Baleares, han evolucionado más favorablemente de lo previsto en la proyección. Es muy posible que, si se continúa desagregando en sistemas de explotación o subcuencas, el ajuste deje de ser bueno, puesto que los modelos climáticos no pueden capturar los detalles de las circunstancias locales.

Gráfico 7 – Evolución de las aportaciones en demarcaciones y proyecciones de los informes del CEDEX (2010, 2017) en los cuatro escenarios de emisiones



Nota: Arriba: Demarcaciones con aportación anual superior a 4 km³/año. Abajo: Demarcaciones con aportación anual inferior a 4 km³/año

Fuente: elaboración propia.

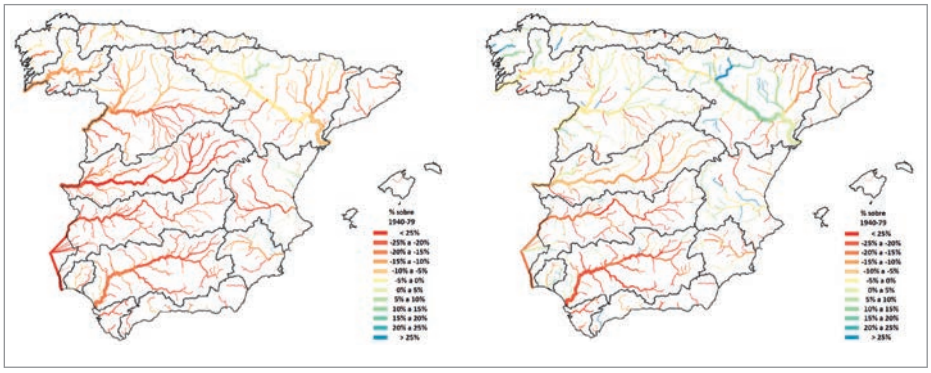
En conjunto, el buen ajuste obtenido refuerza la confianza en las proyecciones y sugiere la conveniencia de tener en cuenta que el descenso de aportaciones puede continuar en el futuro. Esto planteará retos importantes, puesto que ya se ha visto que hay varias demarcaciones que se encuentran muy próximas al límite teórico de aprovechamiento.

3.3. Impacto sobre los balances hídricos

El efecto que los cambios en las aportaciones puedan tener sobre los balances hídricos es motivo de preocupación. Para ilustrar sobre este aspecto, se ha obtenido la disponibilidad potencial de agua correspondiente al periodo 1940-79, comparándola con la obtenida en el periodo 1980-2019. En el gráfico 8 se muestran los resultados. En el gráfico de la izquierda se representa la variación de la aportación media anual, expresada en tanto por ciento de la aportación media anual en el periodo 1940-79. En el gráfico de la derecha se presenta la variación de la disponibilidad potencial de agua, utilizando la misma escala de referencia. Se puede apreciar que las

reducciones de disponibilidad son, en general, menores que las reducciones de aportación. En algunas cuencas, como en el Ebro, llega incluso a invertirse el signo de la variación, obteniendo en el segundo periodo una disponibilidad mayor que en el primero, aunque se haya producido una reducción de la aportación. Este efecto es atribuible a la regulación que proporcionan los embalses, aunque el fenómeno es muy complejo y depende de múltiples variables.

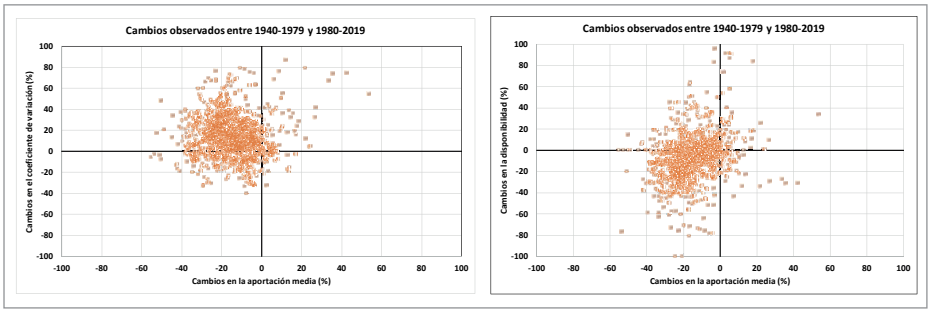
Gráfico 8 – Distribución espacial de los cambios de aportación media anual (izquierda) y los cambios en disponibilidad potencial de agua (derecha) entre los periodos 1940-79 y 1980-2019



Fuente: elaboración propia.

Uno de los factores que influye en la disponibilidad de agua es el cambio de la variabilidad interanual, puesto que su incremento dificulta la regulación. La variabilidad puede estimarse mediante el coeficiente de variación de la serie anual, que es la relación entre la desviación típica y la media. En el gráfico 9 se muestran las relaciones que existen entre los cambios de aportación, coeficiente de variación anual y disponibilidad para todos los puntos del modelo. Puede verse que la mayor parte de las reducciones de aportación han venido acompañadas de un incremento en el coeficiente de variación, lo que indica un incremento de la variabilidad. A pesar de ello, la relación entre los cambios de aportación y los cambios de disponibilidad muestra que las reducciones de aportación no se traducen directamente en reducciones de disponibilidad, puesto que se ven atenuadas gracias al efecto amortiguador de los embalses.

Gráfico 9 – Comparación entre los cambios en la aportación media anual y los cambios en el coeficiente de variación de la serie anual (izquierda) y entre los cambios de aportación media anual y los cambios en disponibilidad potencial de agua (derecha) entre los periodos 1940-79 y 1980-2019 para todos los puntos del modelo



Fuente: elaboración propia.

3.4. Consecuencias y escenarios de futuro

Los escenarios climáticos plantean una reducción de las aportaciones naturales, que puede interpretarse como la continuación de un proceso que ya ha producido efectos importantes. Es de esperar que se produzca una adaptación progresiva a la creciente escasez motivada por el cambio climático, como ya ha sucedido. El proceso de reducción de las aportaciones no es nada nuevo; lleva produciéndose desde la última parte del siglo pasado y ha motivado ya medidas de adaptación muy importantes. Resulta muy ilustrativo analizar la visión de los recursos hídricos que se planteaba en el Libro Blanco del Agua (MMA, 2000) y compararla con la evolución real que se ha producido. En el Libro Blanco del Agua se utilizaron datos de los planes hidrológicos que se acababan de elaborar. La situación de referencia corresponde aproximadamente a 1995 y las proyecciones de futuro se hacían para el año 2015. En la tabla 9 se compara esta situación con las demandas que realmente se identificaron en el año 2015 en el ciclo de planificación 2015-2021. Como referencia, se han incluido las aportaciones estimadas mediante el modelo SIMPA en los años 2005 y 2015. También se ha añadido el valor de demanda adoptado para la situación actual en el ciclo 2021-2027. Los datos correspondientes al año 1995 figuran con su valor real. Los valores en otros horizontes temporales se han consignado como variación porcentual con relación a los adoptados para 1995, indicando con un código de colores el signo de la variación.

Tabla 9 – Comparación de las demandas que realmente se identificaron en el año 2015 en el ciclo de planificación 2015-2021

	Aportación		Demanda urbana				Demanda agraria			
	1995	2015	LBA1995	LBA2015	PH2015	PH2021	LBA1995	LBA2015	PH2015	PH2021
	km3/a	%	hm3/a	%	%	%	hm3/a	%	%	%
Norte I/Miño-Sil	13,37	-11,7	77	14,3	27,3	29,4	475	-24,8	-32,7	-31,9
Norte II/Can. Oriental	5,24	-5,0	214	7,5	19,6	-4,1	55	0,0	35,8	-87,3
Norte III/Can. Occidental	14,11	-5,8	269	0,4	-13,1	-27,0	2	50,0	42,0	92,0
Galicia Costa	12,76	-5,3	210	51,0	7,5	2,8	532	-47,9	-94,1	-92,2
Duero	13,02	-12,6	214	57,5	34,2	22,0	3.603	39,4	-4,9	-13,7
Tajo	10,05	-17,6	768	22,3	-3,5	-7,9	1.875	9,2	2,9	6,3
Guadiana I	4,66	-19,9	119	15,1	39,6	58,6	2.157	22,6	-11,2	-18,4
Guadiana II/T.O.P	0,81	-7,4	38	44,7	30,1	27,0	128	228,9	33,8	42,6
Guadalquivir/ Gqv+GyB	8,92	-11,8	532	20,3	-8,4	-4,2	3.140	16,5	16,7	11,4
Sur	3,06	-8,7	248	27,8	39,1	36,0	1.070	9,5	-7,5	-14,7
Segura	0,87	-6,3	172	7,0	7,8	16,8	1.639	0,0	-9,3	-9,9
Júcar	3,53	-11,7	563	21,8	-6,8	-13,1	2.284	13,0	13,0	6,8
Ebro	16,85	-7,8	313	14,4	14,2	54,3	6.310	56,6	21,7	29,0
C.I. Cataluña	3,21	-18,1	682	38,1	-16,2	-16,9	371	33,2	2,1	2,3
Baleares	0,62	-3,6	95	29,5	72,7	84,7	189	0,0	-63,7	-71,1
Canarias	0,14	-13,9	153	351,0	37,8	37,8	264	0,0	-11,9	-11,9
España	**111,19**	**-10,3**	**4.667**	**35,3**	**5,1**	**4,9**	**24.094**	**27,4**	**3,6**	**1,9**

Notas: Como referencia, se incluyen las aportaciones estimadas mediante el modelo SIMPA en los años 1995 y 2015. Se añade el valor de demanda adoptado para la situación actual en el ciclo 2021-2027.

Fuente: elaboración propia.

Las previsiones a 20 años realizadas en 1995 por el Libro Blanco del Agua eran que la demanda urbana crecería un 35,3% y la demanda agraria un 27,4%. Las previsiones se habían basado en las circunstancias de aquel entonces. La población en 1995 era de 39,1 millones de habitantes, lo que suponía una dotación de 327 l/hab.día. El Libro Blanco del Agua no contemplaba un incremento significativo de la población, pero había previsto un incremento de la dotación hasta 438 l/hab.día. La superficie en regadío en 1995 era de 3,437 millones de hectáreas y la dotación media era de 7.010 m^3/ha.año. El crecimiento previsto hasta 2015 alcanzaba los 4,609 millones de hectáreas (el 34%). Se esperaba que la dotación se redujera hasta 6.661 m^3/ha.año.

En realidad, según el plan hidrológico de 2015, en el periodo comprendido entre 1995 y 2015, la demanda urbana total en España creció un 5,1% y la demanda agraria únicamente un 3,6%. Si se toma como referencia el plan de 2021, la demanda urbana ha crecido un 4,9% y la agraria un 1,9%. En este periodo, la población ha crecido desde 1995 muy por encima de lo previsto en el Libro Blanco del Agua, pero la dotación ha disminuido notablemente. La población de España en 2021 era de 47,1 millones de habitantes y la dotación media actual es de 286 l/hab.día. Un crecimiento de población del 20,4% se ha transformado en un aumento de demanda de únicamente un 4,9% gracias a la mejora de la eficiencia. En el uso agrario la transformación ha sido aún mayor. La superficie regada identificada en los planes hidrológicos de 2021 es de 4 millones de hectáreas (un crecimiento del 16,4%), pero la dotación media ha bajado hasta 6.060 m^3/ha.año, lo que supone una reducción del 13,5%. El resultado es que, habiendo crecido la superficie regada un 16,4%, el consumo de agua sólo ha crecido un 1,9%.

Estas cifras dan una idea de la capacidad de adaptación al cambio climático que ya se ha puesto de manifiesto, y que ha permitido ir adaptando los consumos de agua a las disponibilidades. Evidentemente, el resultado ha sido diferente en las distintas cuencas, dependiendo de las condiciones locales y de los planes de crecimiento. Es previsible que esta tendencia continúe en el futuro, impulsada por las reducciones en las aportaciones naturales y por el necesario incremento de la protección medioambiental, de manera que las prácticas de gestión más avanzadas, que actualmente se aplican únicamente en las zonas de mayor escasez, se irán extendiendo progresivamente a una buena parte del territorio nacional.

4. Implicaciones sociales, económicas y ambientales

Es indudable que el aumento de la escasez del agua, sumado a una mayor inestabilidad de las aportaciones y a la necesidad de mantener el régimen de caudales, va a encarecer el agua o al menos va a reducir la disponibilidad. Además, la aprobación de una nueva Directiva de Aguas Residuales orientada a elevar su nivel de tratamiento para abordar la contaminación de microcontaminantes o fósforo va a incrementar el coste del tratamiento para la utilización de aguas regeneradas. Antes de abordar los impactos sociales, económicos y ambientales asociados al cambio climático, procede hacer algunas matizaciones que nos ayudarán a resumir el conocimiento disponible sobre la materia.

4.1. El concepto de escenario[5]

El desarrollo futuro de la mayoría de los factores que afectan al clima es profundamente incierto, pero está condicionado por los factores antrópicos. Por lo tanto, es inútil preguntar "¿Qué pasará?" y tratar de predecir el cambio climático futuro. Pero el futuro, aunque intrínsecamente incierto, no es del todo incognoscible. Los escenarios se pueden usar para explorar "¿Qué puede pasar?" e incluso "¿Qué debería pasar?" dado el hecho de que somos capaces de dar forma a nuestro futuro.

Los escenarios de cambio climático no son una excepción. No son predicciones del futuro, sino proyecciones de lo que puede suceder al crear descripciones plausibles, coherentes e internamente consistentes de los posibles futuros del cambio climático. También pueden constituir descripciones plausibles, coherentes e internamente consistentes de caminos hacia ciertas metas. Entonces, los escenarios de cambio climático pueden presentarse en dos formas diferentes, las proyecciones "¿Qué puede pasar?" y caminos orientados a objetivos "¿Qué debería pasar?", dependiendo del tipo de pregunta que pretenden responder, aunque a menudo se confunden las respuestas a estas preguntas.

Como los escenarios no tratan de predecir el futuro, un solo escenario prácticamente no tiene sentido. Los escenarios se utilizan más bien en pares o conjuntos más grandes para contrastar diferentes futuros y opciones. Por ejemplo, el análisis de políticas climáticas basado en escenarios compara una proyección sin intervención de políticas (generalmente llamado escenario de referencia) con un camino hacia una meta deseada (por ejemplo, la meta de 2 °C). Por lo tanto, los escenarios dependen fundamentalmente del contexto. Comprender un solo escenario requiere comprender el conjunto de escenarios en los que está integrado. Debido a la naturaleza del cambio climático, el análisis de escenarios es una herramienta común en la investigación del cambio climático y sus diversos subcampos. A grandes rasgos, se pueden identificar siete tipos diferentes de escenarios:

- Escenarios socioeconómicos que describen el desarrollo de impulsores sociales de la interferencia humana con el sistema climático.

- Escenarios de emisiones, concentración y forzamiento climático que surgen de estos desarrollos.

- Escenarios de cambio climático que resultan del forzamiento del clima humano.

[5] https://climatescenarios.org/primer-legacy/what-are-climate-change-scenarios/

- Escenarios de impacto climático como consecuencia de estos cambios climáticos.

- Escenarios de mitigación que limitan el cambio climático provocado por el hombre.

- Escenarios de adaptación que limitan el impacto del cambio climático en las sociedades.

- Escenarios integrados que capturan varios de los componentes anteriores del cambio climático futuro.

El modo como se definen todos estos escenarios requiere de potentes modelos que reproducen la interacción de todas las variables relevantes.

4.2. Escala temporal y geográfica

En el caso de los recursos hídricos, como en tantos otros, la escala temporal es fundamental. Las reducciones de aportaciones se producen gradualmente, a un ritmo anual de entre el 0,2% y el 0,6% (gráfico 6). En dos o más décadas la disminución de recursos disponibles alcanza cotas que sólo se pueden gestionar mediante cambios estructurales y en el reparto de los derechos del agua. El análisis de los datos hidrológicos no da lugar a dudas, y la adaptación de los marcos de gestión y la planificación hidrológica es inexcusable.

Existen más dudas sobre los cambios de la variabilidad en el tiempo: ¿aumentarán la duración y severidad de las sequías? Las proyecciones en este sentido van matizadas con un "nivel de confianza medio". Evidentemente, si los aportes tendenciales disminuyen, los impactos de la variabilidad se multiplican, aun cuando esta no varíe. El gráfico 9 muestra que la disminución de las aportaciones va acompañada de un aumento de variabilidad de las mismas, pero no necesariamente de una disminución de la disponibilidad.

La escala geográfica es el otro factor que complica el análisis de los impactos. Podemos afirmar que es mucho más fácil predecir o proyectar una tendencia (valor medio) que su varianza; es mucho más difícil predecir un suceso extremo que uno más frecuente; es mucho más difícil proyectar los cambios en el régimen pluviométrico que los cambios de las temperaturas, como también lo es proyectar el cambio de clima en zonas geográficas de menor extensión; y, por último, es mucho, mucho más difícil proyectar la varianza de la precipitación debida al cambio climático en una zona geográfica de tamaño medio, por ejemplo, una región del tamaño de la Península Ibérica.

Lo que quedó claro en los gráficos 3, 8 y 9 es que la relación entre aportación natural y disponibilidad de agua es compleja y depende de múltiples factores, como la variabilidad interanual y la capacidad de regulación disponible. La disminución de aportaciones supone una disminución de la disponibilidad de agua, pero su cuantía está matizada por el cambio en la variabilidad de las aportaciones. Por este motivo, los gráficos muestran que la variabilidad espacial es notable; cada nodo de la red tiene un comportamiento diferente. Máxime si contemplamos la variabilidad de las asignaciones a cada usuario de la red, especialmente los usos agrarios.

En la tabla 10 se aprecia la importancia del regadío en las principales cuencas españolas. Es fácil relacionar la vulnerabilidad creciente que tienen y tendrán los usuarios agrícolas de las Cuencas del Guadalquivir y Guadiana, como consecuencia de su sistema de regulación hiperanual, la disminución probable de las aportaciones y el aumento de la superficie regable en dichas cuencas.

Tabla 10 – Los usos agrarios del agua en las principales cuencas españolas. Demandas en el ciclo de planificación 2021-2027

Demarcación hidrográfica	Usos agrarios (hm^3)	Usos consuntivos totales (hm^3)	% Usos agrarios
Duero	3.484	3.801	91,7%
Tajo	1.973	2.937	67,2%
Guadiana	2.019	2.271	88,9%
Guadalquivir	3.327	3.771	88,2%
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	926	1.356	68,3%
Segura	1.487	1.731	85,9%
Júcar	2.384	3.034	78,6%
Ebro	8.379	8.978	93,3%
Total España	**25.749**	**32.023**	**80,4%**

Nota: Los datos no coinciden exactamente con las tablas anteriores porque se toman de fuentes diversas.

Fuente: *Informe de seguimiento de los planes hidrológicos de cuenca y de los recursos hídricos en España*. Año 2020.

4.3. Los procesos endógenos

Muchos autores han demostrado que la traducción de los cambios en el clima –temperaturas y precipitaciones– a cambios en las variables hidrológicas viene determinada por factores de origen antrópico. López Moreno et al. (2011) demuestran que la disminución de caudales fluviales y los cambios en su estacionalidad viene determinada por las intervenciones estructurales

como las presas y los cambios del uso del suelo, normalmente asociados a un aumento de las tasas de evapotranspiración debido al aumento de la vegetación que se produce con el abandono de las tierras. Clavera-Gispert et al. (2023) no encuentran tendencias claras en cuanto a las aportaciones de los ríos pirenaicos en el periodo 1980-2013, pero donde sí las encuentran las atribuyen a cambios en los usos del suelo.

Mezger et al. (2022) hallaron una tendencia general decreciente en el caudal y un aumento tendencial en la temperatura del aire, mientras que las tendencias en la precipitación son menos claras en el Tajo. El análisis sugiere que es probable que la evolución de varios factores no climáticos haya influido en la disminución en flujo de corriente: la combinación de la expansión de áreas boscosas (un 60% aumento de 1950 a 2010) y de la tierra de regadío (un aumento del 400% desde 1950) podría haber jugado un papel importante en la reducción del caudal en la cuenca del Tajo.

En el caso de la cuenca del Ebro, los modelos climáticos regionales (RCM) proyectan una tendencia de calentamiento y sequía en la cuenca para el periodo 2021-2050, lo que provocará una disminución del caudal anual del 13,8% con respecto al periodo 1970-2000, principalmente a finales de la primavera y el verano. Se espera que los efectos combinados de la regeneración forestal y el cambio climático reduzcan los caudales anuales un 29,6%, con descensos marcados que afectan a todos los meses a excepción de enero y febrero, cuando el descenso será moderado. Bajo estos escenarios de reducción de caudales, se espera, según López-Moreno et al. (2014), que sea difícil para el embalse de Yesa atender la demanda actual de agua, en base a su actual capacidad de almacenamiento (476 hm^3).

4.4. Los efectos indirectos

Los impactos del cambio climático desbordan las fronteras, existiendo al menos dos canales por los que estos efectos se trasladan de unos países y regiones a otros. El primero es la inmigración: existe evidencia de que las sequías y los fenómenos adversos climáticos aumentan el estímulo a emigrar de muchas personas que huyen de la pobreza y las crisis alimentarias de origen climático.

De acuerdo con el análisis del Índice de Escasez de Agua (WSI) definido como la relación entre la demanda y la disponibilidad, se estima que 4.000 millones de personas sufren grave escasez de agua durante al menos un mes al año. Casi la mitad de estas personas viven en India y China. Aunque las regiones con escasez aguda de agua ya son naturalmente secas, la influencia humana en el clima está provocando una reducción de la disponibilidad natural de agua en muchas regiones. Es muy probable que los patrones

globales de humedad del suelo estén siendo afectados por la influencia humana en el clima, y una disminución global general en la humedad del suelo es atribuible al efecto invernadero. La migración y los desplazamientos son fenómenos multicausales y el clima puede exacerbar los problemas ambientales, políticos, sociales, económicos o de otro tipo.

En el caso de España, las crisis alimentarias globales y regionales tienen un impacto indirecto en nuestra agricultura y especialmente en la de regadío. Los impactos en la agricultura tienen una traducción en la volatilidad de precios que se extiende a todos los mercados agrarios, incluido el español.

En otras situaciones, la escasez de agua puede no tener un impacto en los usuarios urbanos (familias, comercio, servicios o industria conectada a la red). Este es, por ejemplo, el caso estudiado por Rubio-Martin et al. (2023) de la ciudad de Valencia y su área metropolitana. Al tratarse de un sistema de explotación interconectado, la agricultura absorbe la mayor parte de los efectos de las sequías sobre la disponibilidad de agua. La agricultura tiene menor prioridad que el abastecimiento urbano, siendo reducido o interrumpido su suministro durante los episodios de escasez de agua. La reducción de los recursos hídricos prevista por escenarios de cambio climático está por debajo del umbral que impulsaría restricciones de suministro urbano. Sin embargo, la reducción de la disponibilidad de agua requerirá una mejor gestión y monitoreo de los principales embalses del sistema, para evitar riesgos extremos durante períodos prolongados de sequía. Los resultados de estos autores muestran una disminución esperada en la calidad del agua en el embalse de Tous ligada a la disminución de las entradas y almacenamiento de agua en el embalse, y al aumento de las temperaturas. Según las proyecciones, los eventos de anoxia en el embalse podrían durar más, comenzando temprano a fines del verano y terminando a mediados del invierno. También se pronostica un fuerte aumento en las floraciones de fitoplancton, multiplicándose casi por diez en comparación con los valores máximos estimados por los modelos para el período de control. Los florecimientos de fitoplancton podrían empeorar el estado trófico del embalse, que muestra una baja producción biológica (estado oligotrófico) durante el período de control y una productividad moderada (mesotrófica) a alta (eutrófica) en los escenarios de cambio climático. Estos problemas pueden afectar a la calidad del agua cruda (no ha recibido ningún tratamiento y no ha sido aún introducida en la red de distribución), obligando a las plantas de tratamiento de agua a adaptar o cambiar algunos de sus procesos para garantizar un suministro de agua segura en las zonas urbanas. Las opciones iniciales de adaptación identificadas en esta contribución incluyen cambios en las reglas de operación del sistema y diferentes procesos de tratamiento de agua.

4.5. Traducción de los escenarios al estado ecológico de los ríos

Son numerosos los estudios que demuestran cómo una reducción de los caudales impacta en el estado ecológico de los ríos y altera los ecosistemas que sustentan de manera irreversible. Valerio et al. (2023, 2022) lo demuestran con la calidad ecológica de los ríos de Castilla-La Mancha y en la cuenca del Tajo: las disminuciones de caudal y la regulación tienen impactos apreciables. Mezger et al. (2022) hacen lo propio con el régimen de caudales ambientales, pero concluyen que los cambios de usos del suelo son un factor que agrava la escasez.

4.6. Traducción de los escenarios al futuro en el ámbito social y económico

Una visión moderna y con futuro exige analizar los impactos distinguiendo entre la seguridad hídrica y la escasez de agua. La discrepancia entre la escasez física de agua y la inseguridad general del agua es una función de las vulnerabilidades socioeconómicas y la gobernanza. Por lo tanto, mejorar los aspectos sociales de la gestión del agua será clave para adaptarse a los aumentos de escasez de agua provocados por el cambio climático.

Embid Irujo (2021) nos proporciona una visión rica y profunda sobre las implicaciones que tiene esta diferenciación en el Derecho. El artículo 19 de la Ley 7/2021 establece que "1. La planificación y la gestión hidrológica, a efectos de su adaptación al cambio climático, tendrán como objetivos conseguir la seguridad hídrica para las personas, para la protección de la biodiversidad y para las actividades socioeconómicas, de acuerdo con la jerarquía de usos, reduciendo la exposición y vulnerabilidad al cambio climático e incrementando la resiliencia". Pero el mismo autor nos dice, con respecto a la seguridad hídrica, que "Se ha creado entre nosotros un concepto jurídico (¿indeterminado?), lo que debe resaltarse en todo caso, pues sus orígenes no se encuentran en el ámbito del Derecho sino en el de otras ciencias como la ingeniería o la sociología y con una impronta de dirección política presente ya en sus mismos rudimentos" (p. 61-62). Veremos a continuación algunos análisis socio-económicos que arrojan luz sobre el impacto de la escasez, si bien están orientados al estudio de los impactos de las sequías, no de la disminución tendencial de la disponibilidad.

4.7. Inundaciones

Fernández-Nóvoa et al. (2022) sugieren que "los regímenes del ciclo hidrológico en la Península Ibérica están condicionados por varios modos de variabilidad atmosférica (Castro et al., 2006), pero el momento y

la posición de las tormentas invernales dependen en gran medida de la fase de Oscilación del Atlántico Norte (NAO), cuya fase negativa favorece que el oeste de la Península Ibérica pueda estar sometido a precipitaciones continuas intensas y de gran magnitud durante los meses de invierno, principal causa de las crecidas desarrolladas en los principales ríos de esta zona (Lavers et al., 2011; Trigo et al., 2004) . En este sentido, algunos estudios que analizan la evolución futura de las precipitaciones en España han mostrado un aumento de los eventos extremos de precipitación (Lorenzo y Álvarez, 2020; Des et al., 2021), lo que refuerza la necesidad de analizar y comprender cómo condicionará este aumento la crecida de ríos en zonas vulnerables" (p. 3958).

Estos autores aplican el análisis multiescala al caso de la cuenca del Miño-Sil (NO de España), concretamente a la ciudad de Ourense. Los resultados muestran un retraso en la temporada de inundaciones y un aumento en la frecuencia e intensidad de caudales extremos en la cuenca del Miño-Sil, lo que provocará más situaciones de inundación en muchas zonas frecuentadas por peatones y en importantes infraestructuras de la ciudad de Ourense. Además, también se detectó un aumento en la profundidad del agua asociado con futuras inundaciones, lo que confirma la tendencia de que las futuras inundaciones sean no sólo más frecuentes sino también más intensas.

4.8. ¿Hablamos de sequías o de escasez de agua?

Algunos autores concluyen que el cambio climático hará las sequías más intensas y frecuentes en la mayoría del territorio español (Jiménez-Donaire et al., 2020): "La evolución a lo largo del tiempo de los índices de estrés por sequía tanto estáticos como dinámicos muestran claramente cómo la frecuencia, la duración y la intensidad de las sequías aumentan con el tiempo. Los valores de los índices de sequía estáticos y dinámicos aumentan con el tiempo, con ocurrencias más frecuentes de valores máximos del índice igual a 1, especialmente hacia finales de siglo (2071-2100)".

La creciente escasez de agua, derivada de la reducción de aportaciones de los ríos y una menor recarga de los acuíferos, debe integrarse en la planificación hidrológica. Ya hemos indicado que los Planes de Cuenca aprobados en el Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los planes hidrológicos, dan un primer paso para integrar esas reducciones, puesto que incluyen análisis de escenarios de cambio climático. La reducción de aportes indudablemente va a elevar el riesgo de escasez, puesto que casi siempre va acompañada de un aumento de la variabilidad de aportaciones, aunque esta se vea amortiguada por los embalses de regulación.

Veamos el caso del Acueducto Tajo-Segura (ATS). El establecimiento de un caudal ecológico en la cuenca del Tajo supondrá la gradual reducción del volumen de agua que anualmente se puede trasvasar a las cuencas del Segura, Mediterráneas Andaluzas y Guadiana, lo que ha propiciado declaraciones de los presidentes autonómicos de Murcia, Castilla-La Mancha y Comunidad Valenciana y de la ministra para el Reto Demográfico y la Transición Ecológica, responsable de estas medidas.

Pero, ¿por qué el aumento de los caudales ecológicos del Tajo modificará el funcionamiento del ATS? La regla de explotación de esta infraestructura inaugurada en 1979 fue modificada en julio de 2021, fijando el volumen que se puede trasvasar cada mes (un máximo de 60 hm^3/mes, que es raramente trasvasado por falta de agua) en función de las condiciones en los dos embalses en la cabecera del Tajo (Entrepeñas y Buendía). Mensualmente, se elabora un documento de situación y se fijan los volúmenes a trasvasar. Esas condiciones, a su vez, quedan en parte determinadas por los desembalses que es necesario realizar para satisfacer las demandas en la cuenca del Tajo, lo que incluye los distintos usos socioeconómicos y los caudales mínimos que tienen que circular por el río a su paso por Aranjuez, uno de los más de 40 puntos de control de caudal del río. Hasta hace poco, ese caudal era de 6 m^3/s. En el Plan del Tajo recién aprobado se elevó a 7,9 m^3/s en octubre-diciembre, 10,4 m^3/s en enero-marzo, 9,1 m^3/s en abril-junio y 7,2 m^3/s en julio-septiembre. El ministerio competente ha indicado que, en el peor de los escenarios, la reducción máxima del agua del trasvase podría estar entre 70 y 110 hectómetros cúbicos al año, mientras que las medidas para compensarla en los próximos años mediante agua desalada, reutilizada y, en su caso, el ahorro en eficiencia de regadíos garantizará una oferta de como mínimo 140 hectómetros cúbicos. Según los técnicos del ministerio, es un volumen superior al agua que se dejaría de poder trasvasar como consecuencia de aplicar el caudal ecológico incluso en las situaciones más extremas. Los usuarios afectados alegan, sin embargo, que el Plan Hidrológico del Segura para el ciclo 2021-2027 no contempla la reducción de los recursos procedentes del ATS y no ha incluido en su programa de medidas las acciones que describen los técnicos del ministerio, por lo que su implantación deberá esperar hasta el siguiente ciclo de planificación, a partir del año 2027.

En las zonas del litoral, la sustitución de aguas del trasvase por aguas desaladas supone un coste al menos cuatro veces superior a la tarifa del trasvase (0,10 €/m^3 para riego y 0,14 €/m^3 para abastecimiento). Por ello, el Gobierno acaba de aprobar los precios regulados que los regantes del sudeste deberán pagar por los volúmenes disponibles de las diferentes desaladoras, a precios que oscilan entre 0,327€/m^3 y 0,475€/m^3, en los puntos de entrega para regadío de la red de distribución de la desaladora.

Calatrava (2022) muestra, en primer lugar, que el uso de agua desalada aumenta los costes de producción de tomate en el sudeste español, pero también el rendimiento de los cultivos, ya que se reduce la salinidad del agua, lo que se traduce en una mayor rentabilidad de los cultivos. El uso exclusivo de agua desalada para la producción de tomate aumenta los costes de fertilización en un 20% en los sistemas sin suelo y en un 34% en el cultivo en suelo, y los costes de agua en un 30% en los sistemas sin suelo y en un 48% en el cultivo tradicional en suelo. Esto se traduce en un incremento de los costes de producción del 5% en los cultivos sin suelo y del 3% en los cultivos en suelo, incrementos que son menores cuando el agua desalada se mezcla con aguas subterráneas salinas. A pesar de ello, el uso de agua desalada en la producción de tomate de la zona es rentable, porque la productividad de todos los insumos aumenta con el uso de agua de mejor calidad.

Nuestro país está acostumbrado a que el reparto de agua entre usos y entre territorios haga inevitable el debate político y que las decisiones al final se tomen también con un criterio político. Este es también el caso de los caudales ecológicos del Tajo y el ATS, que ha dejado insatisfechos tanto a los sectores ecologistas por considerar que los caudales fijados en el Tajo son insuficientes, como a los Gobiernos de las regiones receptoras del agua del trasvase, que han manifestado su total disconformidad con la decisión tomada por el Gobierno central. En este caso, sin embargo, los datos hidrológicos apuntan a que no es suficiente tener voluntad política para asegurar que haya agua para todos los usos en el interior de España en las próximas décadas. El agua que generan las aportaciones de lluvia y nieve en el interior está disminuyendo. En concreto, en la cuenca alta del Tajo las precipitaciones han disminuido un 13,2% entre el periodo 1940-1979 y el 1980-2018, lo que se ha traducido en una disminución de las aportaciones de cabecera del 42% (Oliva Cañizares et al., 2022), superior al 23% de disminución de toda la cuenca, mencionado en la sección 3.

4.9. Impactos socioeconómicos de las sequías

En 2012 se publicó un estudio que trató de evaluar los impactos de la sequía de 2004-2007 en la cuenca del Ebro. Los resultados obtenidos por Hernández-Mora et al. 2012 se reproducen en la tabla 11.

Tabla 11 – Resumen de los impactos socioeconómicos estimados de la sequía 2004-2008 en la cuenca del Ebro

	Sector	Tipo de impacto	Metodología	Confiabilidad de los resultados	Valor (Millones €)	% de importancia
Impactos directos tangibles	Sector urbano	Medidas de mitigación	A partir de fuentes oficiales	Alta	136,34	13,63
		Empresas de agua	–	Alta	0	
		Costes en particulares	Estimado por los autores	Baja	15,89	1,59
	Sector agrícola y ganadero	Medidas de mitigación	A partir de fuentes oficiales	Alta	29,03	2,90
		Indemnizaciones de los seguros agrarios	Estimado a partir de datos ENESA	Razonable	22,81	2,28
		Impactos en el reaseguro público	Estimado a partir de datos del Consorcio de Compensación de Seguros	Razonable	23,80	2,38
		Valor de la producción agraria perdida	Modelado en la UPM	Alta	384,84	38,48
		Impacto en ganadería	Estimado a partir de fuentes diversas	Alta	0	
	Hidroelectricidad	Coste de energía de sustitución	Estimaciones de los autores	Alta	385,00	38,50
	Industria	Acuicultura	Datos y estadísticas	Alta	0	
		Flor cortada e invernadero		Alta	0	
		Producciones forestales	Estimaciones del Gobierno	Alta	2,34	0,23
	Usos recreativos	Navegación	Estimado a partir de estudios sectoriales y datos oficiales		Desconocido	
		Deportes acuáticos y pesca		Razonable	0	
		Ski			Desconocido	
				Total costes directos tangibles	***1.000,05***	***100***
Costes indirectos tangibles	Agro-industria		Modelado de la UPM	Alta	589,04	98,93
	Empleo			Alta	Insignificante	
	Turismo		Estimado a partir de fuentes oficiales	Baja	6,36	1,07
				Total costes indirectos tangibles	***595,4***	***100***
Impactos directos intangibles (no financieros)	Usos sociales del agua		Transferencia de beneficios	Razonable	0,23	0,01
				Razonable	0,55	0,02
				Razonable	1,16	0,04
	Percepción de riesgo			Bajo /dudoso	2.861,19	99,62
	Medio ambiente			Razonable	8,86	0,31
				Total costes directos intangibles	***2.871,99***	***100***

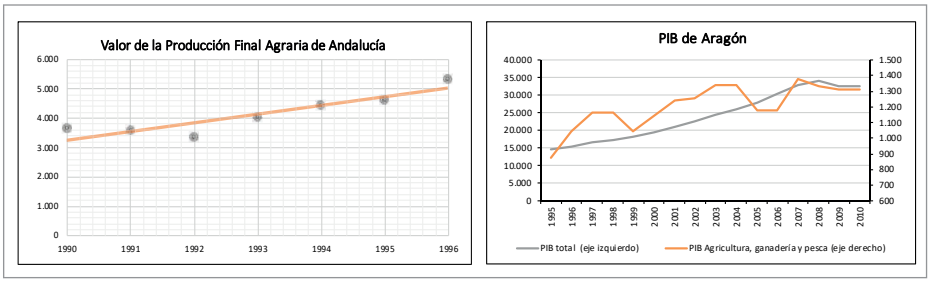
Fuente: Hernández-Mora et al. (2012).

El estudio muestra que el impacto más fuerte es el directo e intangible, derivado de la percepción del riesgo de la población, pero también es el que más dudas arroja en cuanto a su evaluación. Se observa que el impacto en el sector agrario se traslada a la industria agroalimentaria, aunque no tanto al empleo agrícola, que en ese caso concreto no se vio afectado o reflejado en las estadísticas de empleo.

Las sequías son un fenómeno recurrente en nuestro país, por lo que estamos habituados a convivir con ellas. Si estudiamos el último siglo (más exactamente el período comprendido entre 1910 y 2011), constatamos que más de 60 años, de un modo u otro, han estado afectados por la sequía, si por ella entendemos una precipitación inferior a la media: se vivió un período seco de siete años consecutivos (1920-26), otro de seis (1990-1995), y cuatro de cuatro años (1911-1914; 1943-46; 1980-83; 2004-2007). Con mayor severidad, son 36 los años en los que las precipitaciones han sido inferiores al percentil 30, con ocho períodos de dos años secos consecutivos y dos de tres años secos consecutivos. El período más extremo tal vez fue el de 1990-1995, porque en esos seis años, los dos primeros fueron secos, el tercero no lo fue, pero los tres siguientes (1993-95) fueron secos.

Aun con la gravedad que estos períodos secos acarrean, los gráficos del gráfico 10, al igual que otros estudios que han evaluado el impacto de las sequías, muestran que, si bien la economía se resiente por ello, no es golpeada significativamente.

Gráfico 10 – Valor de la producción final agraria en Andalucía expresada en millones de euros (al cambio de 1 euro = 166 pesetas), 1990-95 y PIB Agrario de Aragón, 1995-2010, en millones de euros



Fuente: INE.

En el gráfico de la izquierda se representa el valor de la Producción Final Agraria de Andalucía durante el período más seco y de más aguda sequía hidrológica que se recuerda. El gráfico refleja alguna variación con una disminución apreciable en 1992, pero muy próxima a la tendencia creciente en esos años. Por tanto, en términos económicos el impacto no fue muy acentuado. Y lo mismo se puede decir para el gráfico de la derecha, referido al PIB del sector primario de Aragón, que sufrió años secos entre 2004 y 2006. Se aprecia sin duda una disminución de unos 150 millones de euros, un impacto superior al 12%, pero que no se tradujo, por ejemplo, en una reducción de la contratación de trabajo por cuenta ajena en el sector primario (Hernández-Mora et al. 2012).

Los resultados presentados para Andalucía son consistentes con los de Espinosa-Tasón et al. 2023, quienes evaluaron el impacto económico de la sequía en esta comunidad autónoma en 2004-2008. Se aprecia en su análisis el retardo que la sequía hidrológica experimenta con respecto a la sequía meteorológica, y el hecho de que se necesitan al menos dos años de alta pluviometría para recuperar los niveles. En el Segura el retardo es mucho más corto, transcurriendo sólo cuatro meses entre la sequía meteorológica y la operacional (Gómez-Gómez et al. 2022). Pero lo que es paradójico es que la sequía tuvo en la cuenca del Guadalquivir un impacto positivo en los resultados agrícolas (productores), como se ve en tabla 12, si bien con notables diferencias entre cultivos y entre secano y regadío.

Tabla 12 – Repercusiones para los productores y consumidores de los cultivos de secano y regadío durante la sequía de 2005-2008 en la cuenca del Guadalquivir. En millones de euros constantes de 2015

	Impacto sobre productores (millones de €)	Impacto sobre consumidores (millones de €)
Cultivos de secano	416,5	-32,2
Cultivos de regadío	395,4	-481,9

Fuente: Espinosa-Tasón et al. (2022).

Esta notable resiliencia económica y social a la sequía del sector primario no esconde sin duda otros impactos fuertes y agudos en la calidad de las aguas o en el sector hidroeléctrico, entre otros. Pero no difiere de otros países avanzados y con poderosas agriculturas de regadío. El periódico *Los Angeles Times*, por ejemplo, publicaba en octubre de 2022 que California había tenido una sequía muy aguda en 2022, pero el impacto global fue dejar en barbecho 300.000 de unas 4 millones de hectáreas que se riegan con un impacto económico de 1.700 millones de dólares, sobre un total de unos 50.000 millones.

4.10. Grandes cambios en la agricultura de regadío en España en los últimos 18 años[6]

En la sección 3 se revisaron los documentos de planificación recién aprobados para el período 2021-2027. En ellos se contempla alcanzar una superficie regable de más de 4 millones de hectáreas, si bien con un consumo de agua estabilizado en torno a 24.000 hm^3/año y reducciones del 1% y el 1,8% en 2027 y 2039, respectivamente (tabla 4).

Es interesante revisar los principales cambios en el regadío en los últimos 15-20 años, pues en buena medida determinan y condicionan los balances de agua en las cuencas y los riesgos de sufrir desabastecimiento en los núcleos urbanos o no poder cumplir el régimen de caudales.

Cambios en los usos del suelo

La tabla 13 muestra la pérdida de superficie de cultivo en España entre 2004 y 2021, causada por una reducción de la superficie de secano de 1,33 millones de hectáreas (lo que representa el 2,6% de la superficie total del país), compensada en parte por un incremento de la superficie agrícola de regadío de casi un 20%.

Tabla 13 – Cambios en los usos del suelo agrario

	2004 (millones de ha)	2021 (millones de ha)	Acumulado %
Superficie agrícola de secano	14,35	13,02	-9,22
Superficie agrícola de regadío	3,22	3,86	19,8
Superficie TOTAL de cultivo	**17,57**	**16,88**	**-3,9**

Fuente: MAPA.

La agricultura de regadío en España, aun contestada por diferentes aspectos conflictivos (la política agraria, la conservación del medio ambiente, el cambio climático, la sobreproducción de alimentos, etc.), continúa creciendo y aumentando su diferencia con el secano (Berbel y Espinosa-Tasón, 2020). Ello es así porque aumenta la rentabilidad de la tierra y los factores, multiplica el valor de la tierra con respecto a la de secano –tanto más cuanto más árida y meridional sea esta– y permite un mayor control de los factores productivos y, por tanto, de la estabilidad de las cosechas y la calidad de los productos. Todo ello contribuye a dotar al empresario agrícola de una

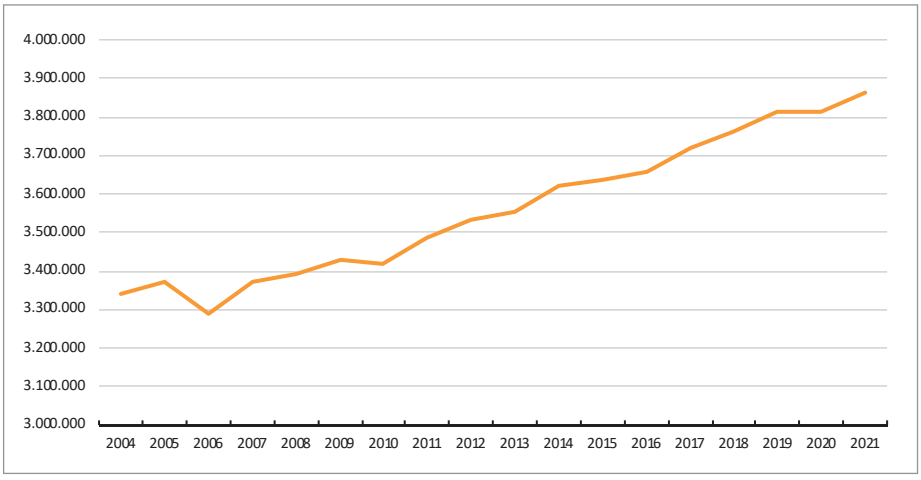
[6] Esta sección referida al sector agrario reproduce ideas y datos publicados en Garrido y Blanco (2023).

notable resiliencia frente a las sequías, al permitirle adoptar estrategias de gestión que reducen el impacto de la falta coyuntural de disponibilidad de agua y hacer que la actividad sea económicamente rentable a largo plazo a pesar de la falta de garantía de suministro en determinadas épocas. De hecho, se da la paradoja de que las zonas donde existe una mayor presión para el crecimiento del regadío son precisamente las zonas donde las garantías de suministro son menores.

La superficie regada en España ha aumentado significativamente en los últimos 15 años (gráfico 11). En el año 2021, la superficie de regadío alcanzó las 3.862.811 hectáreas. Realizando el promedio de los años 2004-2006 y 2019-2021, el aumento de la superficie regada ha sido de 497.417 hectáreas (15%). La comunidad autónoma que mayor aumento de superficie regada ha registrado en el período 2004-2021 (considerando los valores promedios) es Andalucía, con 183.240 hectáreas. Le siguen Castilla-La Mancha (119.132), Extremadura (80.810), Castilla y León (32.221), Aragón (32.999) y Cataluña (26.538). Navarra, La Rioja, Murcia, Canarias, Baleares y Cantabria también han experimentado variaciones positivas, aumentando su superficie regada en menos de 20.000 hectáreas.

Atendiendo a los consumos de agua, y según los datos del INE (2020), en España el consumo total de agua destinado al regadío disminuyó en un 12,1% entre 2008 y 2018, con reducciones del 16% en Andalucía, del 21,6% en Castilla-La Mancha y del 40% en Cataluña. Veremos que estas disminuciones se deben fundamentalmente al cambio en las técnicas de riego y de los cultivos regados.

Gráfico 11 – Evolución de la superficie regada. En hectáreas. 2004-2021



Fuente: elaboración propia a partir de datos de ESYRCE (MAPA, 2022).

En cuanto a los cultivos regados, y comparando las medias del trienio 2004-06 y del trienio 2019-21, se aprecian notables transformaciones, como muestra la tabla 14. El casi medio millón de hectáreas regadas de aumento se nutre de incrementos en frutales no cítricos (de hueso y secos), de viñedo y, sobre todo, de olivar, con leves disminuciones en leguminosas, tubérculos, frutales cítricos y forrajeras.

Y en cuanto a tecnología de riego, y desde la misma fuente (Encuesta de Superficies y Rendimiento, ESYRCE, del MAPA), los sistemas de riego localizado han seguido un proceso de crecimiento lento pero gradual y ocupan en la actualidad 2,04 millones de hectáreas, a costa del riego por gravedad, que ha perdido entre 2004 y 2021 unas 350.000 hectáreas. El riego automotriz y por aspersión se ha mantenido entre las 700.000 y las 900.000 hectáreas.

Tabla 14 – Diferencias de superficies de grupos de cultivos regados entre promedio de 2004-2006 y promedio de 2019-2021

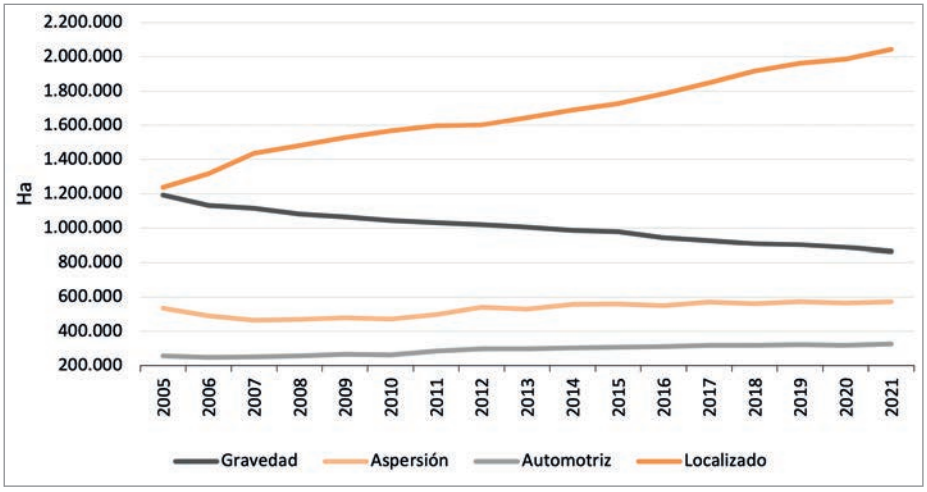
Grupo de cultivos	Incremento superficie (ha)	Incremento porcentual (%)
01 Cereales grano	28.353	3,12%
02 Leguminosas	-10.090	-36,83%
03 Tubérculos	-10.480	-20,04%
04 Industriales	-6.515	-3,00%
05 Forrajeras	-25.384	-9,04%
06 Hortalizas y flores	884	0,47%
08 Barbechos y posíos	12.341	11,95%
0a Frutales cítricos	-14.299	-4,74%
0b Frutales no cítricos	130.604	51,09%
0c Viñedo	103.949	35,37%
0d Olivar	338.330	65,47%
0e Otros cultivos leñosos	-1.755	-56,03%
0f Viveros	3.318	27,02%
0h Otras superficies de cultivadas	-6.721	-9,77%
0i Prados y pastizales	-33.158	-52,52%
0k Superficie forestal	-11.857	-30,45%
Total general	**497.418**	**14,92%**

Fuente: MAPA (varios años).

Los resultados expuestos se prestan a una interpretación clara y sintética: la transformación del regadío de los últimos 18 años tiene que ver con la implantación acelerada de olivar, viñedo y frutales (sobre todo, almendro y pistacho), regados mediante riego localizado fundamentalmente en Andalucía, Castilla-La Mancha y Extremadura. La conjunción de estos tres factores –el geográfico, tecnológico y de mercado (un mercado de exportación esencialmente)– está detrás de esta transformación. Y en el resto de comunidades autónomas y de orientaciones productivas se aprecia estabilidad y consolidación, con pequeños aumentos de superficie de riego localizado.

Los sistemas de riego en España han experimentado una fuerte modernización en los últimos 15 años. La superficie regada mediante sistemas de riego tecnificados (localizado, aspersión, automotriz) ha aumentado (gráfico 12), pasando de ocupar 2.029.668 hectáreas en 2005 (63% del total) a 2.940.650 hectáreas en 2021 (77% del total). Dicha evolución responde a las políticas de regadíos desarrolladas en los últimos años y a la financiación pública y privada destinada a la modernización de las infraestructuras y a la tecnificación de los regadíos con el fin de lograr una agricultura más sostenible y eficiente.

Gráfico 12 – Evolución de la superficie regada en España según el tipo de riego. 2005-2021



Fuente: elaboración propia.

No cabe duda de que el hecho de que las exportaciones agroalimentarias de España alcanzaran en 2021 un valor de 60.118 millones de euros[7] y que el saldo favorable de la balanza comercial en este sector se haya triplicado entre 2012 y 2021 hasta alcanzar casi 19.000 millones, con nuestros suelos, clima y orografía, obedece a la conjunción de tres factores. Primero, disponer de infraestructuras hidráulicas y poder almacenar superficialmente más de la mitad del agua de escorrentía, lo que, sumado al uso de aguas subterráneas, permite regar 3,86 millones de hectáreas, de manera cada vez más eficiente y con mejores técnicas de riego y de cultivo. Segundo, disponer de amplias regiones con un período libre de heladas prolongado, sumado a muchas horas de insolación. Y tercero, disponer de zonas relativamente despobladas, lo que ha dado lugar a un fuerte crecimiento de la ganadería intensiva (con unas exportaciones de 8.819 millones de euros). Las dos primeras razones, a las que añadimos la adopción de tecnología y el conocimiento aplicado, sitúan a España como una potencia hortofrutícola, olivarera y vitivinícola, con unas exportaciones netas conjuntas de casi 20.000 millones de euros. Ilustramos esta potencialidad con los datos de exportación agroalimentaria porque, en una economía abierta, tales magnitudes y su crecimiento evidencian una capacidad productiva extraordinariamente competitiva, y la base física y estructural de ello es el trinomio agua-clima-suelo.

5. Estrategias de adaptación al cambio climático

La adaptación al cambio climático en España es una realidad innegable; viene ocurriendo en mucho de lo que hemos presentado en los apartados anteriores. Repasemos algunos hechos que lo demuestran:

- La mayoría de las cuencas amortiguan bien la variabilidad de las aportaciones. Las peninsulares más estresadas –Segura y Júcar– suelen soportar mejor los períodos secos porque disponen de sistemas de gestión muy complejos, cuentan con fuentes de recursos más diversas y aplican sistemas avanzados de control y explotación. Indudablemente, a la cuenca del Segura le va a afectar mucho el cambio en el régimen de caudales ecológicos del Tajo y deberá asumir un aumento del coste del agua derivado de la sustitución de unos 60 a 80 hm^3 por año de aguas trasvasables del Acueducto Tajo-Segura con agua desalinizada, que deberá ser sufragado con recursos públicos y privados. El coste económico anual podría rondar de 24 a 32 millones de euros.

[7] Todos los datos de exportaciones se encuentran en el *Avance Anual de Comercio Exterior 2021* del MAPA. https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/Informe_anual.aspx.

- El estado ecológico de las masas de agua, lejos de empeorar, ha mejorado ligeramente desde la entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua, y se espera que mejore aún más con las medidas de los Planes de Cuenca (Real Decreto 35/2023, de 24 de enero) y con la aprobación de una nueva Directiva Europea de tratamiento de aguas residuales urbanas[8].

- El régimen de caudales ecológicos se está implementando cada vez con mayor rigor, aunque deberá ser revisado a la luz de los resultados alcanzados desde la aprobación de la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.

- Los consumos unitarios por persona han disminuido significativamente, en buena medida por la mejora en la eficiencia en el equipamiento de los hogares, de los electrodomésticos y de la conciencia social adquirida sobre el valor del agua[9], y las tarifas modulares sobre el consumo que la encarecen progresivamente[10].

- La agricultura de regadío ha registrado aumentos extraordinarios de productividad económica, manteniendo el consumo de agua a niveles parecidos a los de hace 15 años. Se ha incrementado la superficie regable y se han implantado los cultivos mejor adaptados a nuestra climatología, como el olivar, los frutales y el viñedo, con fuerte vocación exportadora.

- Son precisamente los cultivos que más han crecido –las plantaciones de olivar, viñedo y frutales no cítricos (especialmente almendro y pistacho)– los que mejor resisten el riego deficitario controlado, con reducciones del 70% de las necesidades de riego sin mermar la calidad y cantidad de cosecha (ver García-Garví et al. 2022 en el caso de plantaciones de olivar hiperintensivas), o que resisten un año simplemente con riegos de mantenimiento de la plantación, perdiéndose la cosecha en este caso.

- Ha aumentado la capacidad de regeneración y reutilización del agua, así como la capacidad de desalinización, al calor de un sector del agua que es competitivo en el mundo y es capaz de implantar y desarrollar las tecnologías más avanzadas.

- Se han revisado y actualizado los planes de sequía, adecuándolos a los nuevos escenarios y cambiando aspectos metodológicos y técnicos de

---

[8] Actualmente el texto revisado está siendo negociado entre los Estados miembros con contribuciones de distintos sectores públicos y privados que se verán involucrados de manera directa o indirecta en la implementación de la Directiva.

[9] Ver el III Barómetro de Aqualia, https://www.ciudadsostenible.eu/barometro-aqualia-costumbres-sostenibles/ o el Barómetro del CIS de Mayo de 2023 https://www.cis.es/cis/opencms/EU/9_Prensa/Noticias/2023/prensa0614NI.html

[10] En casi toda España, y especialmente en las zonas donde el agua es más escasa, las tarifas por bloques están plenamente aplicadas. Ver https://www.ocu.org/alimentacion/agua/noticias/precios-agua-grifo-2020

calado. Dichos planes son los que amparan legalmente y guían, en el momento de la redacción de este capítulo, las actuaciones en las demarcaciones del Guadalquivir, del Ebro y de las Cuencas Internas de Cataluña, en estado de alerta por sequía.

- El uso conjunto de aguas subterráneas y superficiales es una práctica común en muchas cuencas, así como la aplicación de recarga artificial de acuíferos, de la que se tiene experiencia desde hace décadas en el Prat del Llobregat[11], en los arenales en la cuenca del Duero y en muchos otros lugares.

- El uso combinado de diversas fuentes de agua, de diferentes calidades y valor económico, es también una práctica común en todo el arco mediterráneo, habiendo casos como el de la Comunidad de Regantes de Lorca con seis tipos de fuentes de agua para el riego[12], en función de la procedencia, el coste y la calidad.

- Se contempla en la Ley de Aguas la capacidad de crear bancos de agua públicos y de celebrar contratos de cesión de concesiones de agua, introduciendo elementos de flexibilidad en la asignación de recursos escasos basados en el intercambio voluntario a cambio de una compensación económica[13]. Aunque las experiencias más recientes datan de 2004-2005, es una opción que puede activarse en cualquier momento y que ha dado lugar a transacciones de derechos de aguas superficiales por aguas regeneradas en la cuenca del Guadalquivir.

- El comercio de agua virtual, o importar productos baratos que han requerido mucha agua para ser producidos, es también una forma indirecta de producir agua. Por ejemplo, producir 1 kg de trigo requiere unos 1.000 litros de agua, 1 kg de maíz unos 600 litros. En 2021 dedicamos 932.000 hectáreas de riego a cereales, el 24% de la superficie regada. En cultivos herbáceos el consumo de agua supuso en 2018 8.466 hm^3, que es dos veces superior al consumo urbano de toda España. Nuestro país importa cantidades muy variables de granos cada año, adaptando las necesidades de consumo humano y animal a las cosechas; el déficit neto en este capítulo ascendió a 2.952 millones de euros en 2020 y a 2.212 en 2021, pero en una balanza agroalimentaria que arrojó superávits en esos años de 18.800 y 18.980 millones de euros, respectivamente. En síntesis, el comercio agrícola es posiblemente el segundo efecto amortiguador de las variaciones climáticas

[11] https://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20230504/8943098/agua-barcelona-mayor-parte-desalada-reutilizada.html

[12] https://cr-lorca.com/recursos

[13] Artículos 67 a 72 de la Sección 2ª, del Capítulo III, Título IV, del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA), en concordancia con lo dispuesto en los artículos 343 a 355, del Capítulo I, Título VI, del Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH).

más fuerte y eficaz, por detrás sólo de la gestión del agua en las cuencas y la regulación, y cada vez tendrá más importancia debido al cambio climático.

Sin embargo, sabemos que todo este fuerte desarrollo agrícola tiene una contrapartida que puede convertir el éxito en factores multiplicadores de unos niveles de riesgo que en la actualidad no son despreciables. Ello es así por dos razones: la primera ha sido ampliamente expuesta en el epígrafe 3, en el que se han revisado las previsiones sobre los recursos disponibles; y la segunda surge de la fuerte dependencia del sector alimentario de la producción de materias primas agrícolas obtenidas en un régimen de regadío cada vez más intensificado y orientado a plantaciones de frutales. La combinación de ambos factores puede convertir una sequía que se prolongue durante dos o más años en una crisis del agua con fuertes repercusiones en la economía y el empleo e incluso afectar a los abastecimientos urbanos.

Se van a acentuar los usos en conflicto, en particular los de riego y los ambientales, quedando estos subordinados a garantizar las demandas urbanas e industriales.

Los problemas que se anticipan como consecuencia del cambio climático son una intensificación de problemas estructurales debidos a la escasez de agua que ya se están gestionando en muchas regiones de España. Las medidas de adaptación al cambio climático tratan de prevenir y corregir estos problemas, por lo que resultan igualmente efectivas para abordar los problemas de gestión que existen en la actualidad. En consecuencia, la implantación decidida de estas estrategias de adaptación producirá resultados beneficiosos en un amplio rango de escenarios de evolución del clima. Sin embargo, teniendo en cuenta el alto grado de aprovechamiento actual de los recursos hídricos, la necesaria reserva para usos de naturaleza medioambiental y el escaso margen para incrementar la disponibilidad en un escenario de reducción de recursos naturales, es muy posible que no puedan mantenerse a medio y largo plazo todos los consumos actuales de agua. El futuro dictará el margen que existe para intensificar la reducción de las dotaciones de los distintos usos, pero es muy previsible que la reducción de aportaciones obligue a reasignar las disponibilidades futuras a los usos que socialmente se estimen más adecuados.

Para hacer frente a este proceso, es necesario actuar en distintas líneas, que se desarrollan a continuación.

La planificación hidrológica debe establecerse en coordinación con otras políticas sectoriales (medio ambiente, energía, agricultura, etc.) en un marco adecuado de planificación territorial. La planificación territorial debe fijar la distribución espacial de las actividades de acuerdo con unos objetivos globales de desarrollo sostenible, de manera que las políticas sectoriales puedan establecerse en función de dichos objetivos, siguiendo un plan

coordinado de actuación. Deben identificarse y priorizarse las demandas que deben atenderse a medio y largo plazo en el marco de la política territorial y adoptar las medidas adecuadas para la reducción o el cese de la actividad económica vinculada a las demandas que no se consideren sostenibles. En particular, debe tomarse una decisión sobre la evolución de la superficie regable, congelando el desarrollo de nuevos regadíos en las zonas donde no exista disponibilidad de agua para atenderlo en el futuro.

La implementación de los nuevos Planes Hidrológicos, aprobados por el Real Decreto 35/2023, fija la política hidráulica en el próximo ciclo de seis años. Los programas de medidas de los nuevos planes incluyen un conjunto diverso de actuaciones con una dotación presupuestaria muy importante, que supera los 20.000 millones de euros en seis años, distribuidos de la siguiente manera:

1. Planificación, control y gestión: 1.162,80 millones de euros.
2. Objetivos ambientales: 10.546,47 millones de euros.
3. Gestión de inundaciones y seguridad de presas: 1.174,30 millones de euros.
4. Desalinización y reutilización: 1.002,17 millones de euros.
5. Atención de usos: abastecimiento y regadío: 5.141,85 millones de euros.
6. Infraestructuras grises: 1.101,12 millones de euros.
7. Otras inversiones: 89,90 millones de euros.

El análisis del reparto de la dotación presupuestaria entre los distintos tipos de medidas permite intuir las prioridades actuales en política hidráulica. Aproximadamente la mitad del presupuesto comprometido en el programa se destina a objetivos ambientales y una cuarta parte a la satisfacción de las demandas. El resto del presupuesto se distribuye aproximadamente a partes iguales entre control y gestión, gestión del riesgo de inundaciones, recursos no convencionales e infraestructura.

Desde el punto de vista de la asignación de disponibilidades a los usos más adecuados, es importante conseguir que los precios del agua reflejen el valor económico real de la seguridad hídrica, a pesar de que eso suponga incremento de los precios y tasas del agua. La digitalización juega un papel esencial en este proceso. En escenarios de escasez como los que se anticipan, donde se exigirán importantes sacrificios a todos los usuarios, resulta esencial que se pueda garantizar desde la Administración un conocimiento detallado de los sistemas gestionados, un seguimiento de la efectividad de las medidas que se apliquen y una supervisión objetiva del grado de cumplimiento de los compromisos que se establezcan, con la finalidad de conseguir

una adecuada reasignación de usos respetando los derechos existentes y eliminando los usuarios de agua que no dispongan de un título concesional, sea cual sea el uso y el lugar.

Es necesario tomar conciencia de la importancia del cambio climático en el proceso de toma de decisiones en la planificación hidrológica. Hasta la fecha, los análisis técnicos de los sistemas de explotación se han realizado con la serie histórica de aportaciones, lo que limita su capacidad predictiva en un escenario de reducción de aportaciones. Es necesario incorporar plenamente los escenarios climáticos de futuro en los análisis técnicos que se realicen para la asignación y reserva de recursos. Desde el punto de vista metodológico, esto exige la revisión de las técnicas de análisis de sistemas hidráulicos, tradicionalmente basadas en la hipótesis de estacionariedad, y la modificación de los criterios de evaluación y selección de alternativas. Para ello pueden establecerse dos principios básicos: el primero de ellos es verificar la efectividad de las estrategias de gestión propuestas bajo distintos escenarios posibles de cambio; el segundo es seleccionar la estrategia que responda correctamente en todos los escenarios de cambio, o que se pueda adaptar de manera progresiva a medida que la situación vaya evolucionando.

En cuanto a la evaluación de alternativas, posiblemente sea necesario revisar el concepto tradicional de garantía. La idea de garantía de suministro de una demanda hídrica surge en un contexto de asignación de los recursos disponibles a los distintos usos[14]. Es un mecanismo para el reparto y asignación progresiva de los recursos en un escenario de crecimiento de las disponibilidades y las demandas posibilitado por la ejecución de obras de infraestructura. Mediante el análisis de la garantía se decide si una demanda estará adecuadamente satisfecha en el futuro y si compensará la inversión necesaria para su desarrollo. En un escenario de reducción de disponibilidades, es posible que no todas las demandas puedan atenderse cumpliendo los criterios de garantía previamente establecidos, pero esto no quiere decir que estas explotaciones de regadío no sean económicamente rentables y deban ser eliminadas. En función de la rentabilidad potencial de las explotaciones y, sobre todo, de las estrategias de adaptación de los agricultores al riesgo de escasez, las demandas agrarias pueden tolerar déficits de garantía que en la

[14] Tal es así que las palabras "garantía" y "garantizar" aparecen 39 veces en la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. Es ilustrativo mostrar como en la planificación hidrológica se deben garantizar los usos de agua para riego (capítulo "Usos, presiones e incidencias antrópicas significativas"):

A efectos de la asignación y reserva de recursos, se considerará satisfecha la demanda agraria cuando:

a) El déficit en un año no sea superior al 50% de la correspondiente demanda.
b) En dos años consecutivos, la suma de déficit no sea superior al 75% de la demanda anual.
c) En diez años consecutivos, la suma de déficit no sea superior al 100% de la demanda anual.

planificación hidrológica tradicional se consideran inadmisibles. Esto es así porque la infraestructura está construida desde hace décadas, la inversión inicial en la puesta en riego del terreno ya se ha amortizado y el agricultor puede compensar los años de déficit hídrico con la producción de los años con suministro adecuado, bien sea mediante sus propios recursos o mediante sistemas de aseguramiento. Por este motivo, será necesario desarrollar nuevos criterios de evaluación del comportamiento de los sistemas que permitan mejorar la selección de alternativas y optimizar la toma de decisiones.

Desde el punto de vista de la elaboración de programas concretos de actuación, deben intensificarse las políticas ya en marcha de gestión de la demanda de agua e incremento de oferta de recursos, como camino hacia una gestión más eficiente. En primer lugar, deben intensificarse las actuaciones de gestión de la demanda para reducir su presión sobre las fuentes de suministro, especialmente en épocas de escasez. Como se ha visto, estas políticas han producido resultados muy beneficiosos y deben continuarse en el futuro. El mayor margen de actuación está en las demandas de riego, que cuantitativamente suponen el mayor peso en el total nacional. Para este tipo de demandas existen tecnologías de ahorro que permiten disminuir sustancialmente los consumos netos en las zonas regables, especialmente el riego deficitario controlado, de cuyo funcionamiento y resultados existe en España mucho conocimiento. En el caso del consumo de agua en medio urbano, las actuaciones deben basarse, entre otras, en la información y educación de los ciudadanos para fomentar o imponer el uso de dispositivos domésticos de ahorro de agua, acompañados de una política de tarifas que penalice el consumo excesivo mediante la instalación de contadores individuales. Desde las entidades locales debe acometerse una mejora en el rendimiento hidráulico de las redes de distribución[15] –que todavía registran porcentajes relativamente altos de caudales no registrados y de fugas[16]– y una disminución de la demanda pública mediante el empleo de especies vegetales de bajo consumo y el fomento del agua regenerada para los usos compatibles.

Desde el punto de vista de la oferta de recursos, es conveniente potenciar los recursos no convencionales, en especial la reutilización de las aguas residuales regeneradas. Mediante esta técnica pueden atenderse demandas de regadío, usos recreativos —como el riego de campos de golf–, usos municipales –como el baldeo de calles o riego de parques y jardines– o recarga

[15] Medidas que se contemplan en la Primera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua, en el marco del PRTR (PERTE digitalización del ciclo del agua) https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/PERTE-ciclo-agua-Primera-convocatoria-subvenciones-2022.aspx

[16] En Cataluña, con el 11,5% de consumos no registrados y el 10% de fugas, el rendimiento medio de las redes es del 78,5%, una cifra mejor que la media española (76,5% según datos de AEAS[1]) y mejor que la europea (75% según EUREAU[2]). https://www.lavanguardia.com/vida/20230418/8902104/redes-urbanas-agua-cataluna-eficiencia-encima-medias-espanola-europea-brl.html

de acuíferos. La utilización combinada de diversas fuentes de suministro puede también incrementar las disponibilidades de manera efectiva, como en el caso del aprovechamiento conjunto de agua superficial y subterránea. En las zonas que se encuentran ya en la actualidad con graves problemas de escasez, se debe contemplar el desarrollo de nuevas tecnologías para la mejora del rendimiento energético de la desalinización de agua de mar o salobre como última alternativa para el incremento de la disponibilidad de recursos.

En un escenario de creciente escasez, la oferta y demanda de recursos deben gestionarse eficazmente, procurando la integración de fuentes de suministro y demanda en sistemas únicos, adecuadamente gestionados. Las fuentes de suministro de recursos hídricos de distinta procedencia pueden tener características muy diferentes entre sí. Recursos de distinta naturaleza (por ejemplo, aguas superficiales y subterráneas) presentan diferencias muy significativas en cuanto a variabilidad y fiabilidad. Los sistemas que integran un número importante de fuentes de suministro y de demandas pueden responder mejor a situaciones de escasez, ya que en ellos es posible el aprovechamiento conjunto de los recursos hídricos, utilizando cada fuente de recursos para los fines que son más apropiados, en función de su cuantía, regularidad y fiabilidad. De esta forma, es posible superar la falta coyuntural de recursos superficiales mediante el uso conjunto con las aguas subterráneas o corregir situaciones desfavorables por sobreexplotación de acuíferos mediante el aporte de agua superficial o la recarga artificial.

De igual modo, la integración de demandas de distinta naturaleza en sistemas únicos permite la atención preferente a las demandas prioritarias mediante la reserva de usos o el intercambio de derechos. En la gestión integrada de los sistemas en situación de escasez, la garantía o fiabilidad de suministro es la variable de decisión fundamental. El objetivo de la gestión en un escenario de abundancia es poder atender los usos planteados con la garantía suficiente. Se fija, en primer lugar, la garantía aceptable para los distintos usos y, en segundo término, se definen las actuaciones para poder suministrar los volúmenes demandados con dicha garantía, entendiendo que habrá excedentes (recursos no utilizados) la mayor parte de los años. Sin embargo, en un sistema en situación de escasez los volúmenes disponibles son dados, sin posibilidad de actuar sobre ellos, e insuficientes para atender completamente todas las demandas del sistema. Estos volúmenes deben repartirse cada año entre los distintos usos en función de su importancia relativa. En estos casos juegan un papel muy importante los Planes Especiales de Sequía, que establecen las medidas a adoptar en situación de escasez. La asignación puede hacerse mediante reglas de explotación de los sistemas, que establezcan prioridades de los usos y criterios de asignación, mediante la participación de usuarios en los órganos encargados de la toma de decisiones o mediante la creación de un entorno en el que los distintos

usuarios puedan negociar con sus derechos en función de sus necesidades y sus expectativas de beneficio. En cualquiera de esos casos, la integración de un gran número de demandas en una unidad de gestión supondrá un avance significativo para mejorar la robustez del sistema, ya que se conseguirá la mejor asignación posible de los recursos disponibles.

A pesar de que los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos pueden ser muy significativos, los efectos de medidas de adaptación pueden ser similares o incluso mayores. Existe un gran potencial para orientar a largo plazo una adaptación racional al escenario de cambio climático en el sector de los recursos hídricos que, además de compensar sus efectos, pueda incluso mejorar sustancialmente la realidad actual.

6. Conclusiones

Como se ha mostrado en este capítulo, el cambio climático va a reducir las aportaciones de los ríos y la recarga de los acuíferos –de esto hay pocas dudas–, pero va a aumentar también la incidencia y frecuencia de las sequías. Sobre el incremento de la variabilidad –aumentando la probabilidad de inundaciones y sequías– podría haber más dudas, pero muchos modelos (cuyos resultados se reproducen aquí) y autores concluyen que será así. En el caso de la agricultura de regadío, además de disponer de menos recursos medios o tendenciales, la irregularidad de la disponibilidad aumentará simplemente porque su prioridad es inferior a la del abastecimiento urbano y es el uso que absorbe la mayor parte del déficit en situación de escasez.

Además, la implementación del régimen de caudales en los ríos, sumado a las necesidades de caudales para mejorar el estado ecológico, van a detraer recursos para fines consuntivos no prioritarios, debido a una disminución de la disponibilidad, que puede alcanzar el 16% con relación a una situación sin caudal ecológico. El sector agrario debe prepararse para un escenario de menor y más incierta disponibilidad en el futuro inmediato, especialmente en las cuencas del Guadiana y Guadalquivir, que contienen las cuatro provincias donde más ha crecido el regadío en España entre 2014 y 2022: Badajoz, Jaén, Córdoba y Ciudad Real.

Los datos comparativos de la evolución de las aportaciones en el conjunto de las cuencas con relación a las proyecciones climáticas revelan que las reducciones observadas han sido superiores a las proyectadas, por lo que las proyecciones se pueden considerar más bien conservadoras. Los impactos que se han sufrido como consecuencia del cambio climático son ya superiores a los impactos esperados cuando se realizan planes a futuro. Muchos autores han demostrado que los cambios de usos del suelo han potenciado el impacto negativo del calentamiento global sobre la disponibilidad

de recursos subterráneos y superficiales. Ello sugiere que la ordenación del territorio y los usos del suelo pueden mitigar el efecto negativo del calentamiento.

Los impactos y los problemas derivados de la escasez de agua se multiplican: menor disponibilidad lleva a una menor calidad del agua en las fuentes y embalses, lo que a su vez impacta en los sistemas de abastecimiento. Además, la mayor parte de las reducciones de aportación han venido acompañadas de un incremento de la variabilidad. A pesar de ello, la relación entre los cambios de aportación y los cambios de disponibilidad muestra que las reducciones de aportación no siempre se traducen directamente en reducciones de disponibilidad, puesto que se ven atenuadas gracias al efecto amortiguador de los embalses.

En muchos casos, son los impactos indirectos los que tienen mayor importancia en el ciudadano. Aunque, por fortuna, este no sufrirá cortes en el suministro de agua urbana, es posible que sufra disminuciones en su calidad, incrementos en su coste y, de manera indirecta, impactos en los servicios ambientales de recreo y culturales. No se debe desestimar el impacto moral en las personas al vivir momentos de escasez, así como el riesgo de sufrir restricciones o cortes en los suministros de sus hogares, y en los usos urbanos para fines públicos. El impacto percibido –y alimentado por los medios– es por lo general mayor que el real. Incluso en el escenario actual –en el momento de escribir estas páginas en mayo de 2023– de sequía meteorológica extrema, solo existen riesgos de desabastecimiento a la población en las Cuencas Internas de Cataluña.

En lo que concierne a la agricultura, se debe diferenciar el secano del regadío. En el primer caso, las sequías siempre se traducen en menores producciones y, por tanto, menores rentas de los productores. Sin embargo, además de los seguros agrarios, que proporcionan cobertura a coste subvencionado contra la disminución de cosechas por cualquier anomalía meteorológica, los productores están habituados a sufrir variaciones de sus producciones. La sequía es una anomalía climática frecuente en nuestra historia. En el caso del regadío los impactos pueden ser mayores, porque los productores invierten más en sus cultivos y explotaciones, están más endeudados y su explotación ha sido diseñada contando con disponer de agua de riego. Sin embargo, muchos estudios y las estadísticas publicadas, tanto en España como en otros países (por ejemplo, California) muestran que las pérdidas de producción se compensan con los aumentos de los precios de los productos, llegando incluso a obtener mejores resultados económicos en situaciones de escasez moderada de agua que en contextos de normalidad. La escasez de agua para riego tiene incidencia en el precio de alimentos básicos, como el aceite o las frutas y hortalizas, golpeando a los segmentos sociales más vulnerables.

La planificación permite integrar las previsiones y las proyecciones de los modelos. Sin embargo, como en el caso del Guadalquivir, la planificación puede pecar de optimista, dejando en el gestor la carga de la responsabilidad de gestionar situaciones de escasez cada vez más probables e insoslayables. En el caso del Guadalquivir, se aprecia el *boom* del olivar en plantaciones cada vez más intensivas, que multiplican por tres o cuatro los rendimientos, aumentando el consumo neto del agua, alimentado por el precio del aceite de oliva y los crecientes mercados de exportación. Otro tanto se puede decir de los frutos secos y el viñedo en regadío en Castilla-La Mancha y Extremadura, que junto con Andalucía son las tres comunidades autónomas que acaparan el crecimiento del regadío.

El elevado porcentaje de los usos agrarios dentro del total de los usos consuntivos en la mayoría de las cuencas puede ser interpretado como un factor multiplicador de las presiones y, por tanto, un impedimento para lograr mayor seguridad hídrica y protección del medio ambiente. Sin embargo, una adecuada gestión de las reservas de los embalses dota de un gran nivel de seguridad a los ciudadanos y otros usuarios urbanos, puesto que los déficits de suministro son soportados mayoritariamente por el regadío. Los regantes aceptan por lo general este rol y los gestores hacen uso de él al amparo de la Ley de Aguas.

Sin embargo, en las aglomeraciones urbanas el riesgo de escasez puede ser elevado, como muestra el caso de la sequía que se vive en las Cuencas Internas de Cataluña (la parte de la comunidad autónoma que no pertenece la cuenca del Ebro). En el caso de Madrid, las reservas y las aportaciones, sumadas a los pozos de sequía y las pequeñas aportaciones de algunos trasvases, dotan de gran seguridad a la comunidad autónoma, pero en un supuesto de sequía extrema y prolongada en el tiempo, como la ocurrida en 1993-1995, el sistema podría entrar en fallos requiriendo restricciones o cortes para los destinos y usos menos prioritarios.

La microgestión o el ámbito de gestión de escala menor al de la demarcación hidrográfica ofrece infinitas posibilidades para combinar actuaciones y políticas jugando con las diferentes calidades de las aguas, la reutilización de aguas regeneradas, los intercambios de derechos y la mejora técnica de los usuarios –hogares, industrias y explotaciones agropecuarias–. Estas unidades están identificadas en la planificación hidrológica como sistemas de explotación y la potenciación de su capacidad de gestión mediante la densificación de la red de distribución y las interconexiones entre sistemas se percibe como un aspecto clave para reforzar la seguridad hídrica en el futuro.

Las decisiones más relevantes en la gestión del agua tienen y tendrán una fuerte carga política, como se ha vivido con la aprobación del RD

35/2023, de 24 de enero, con los nuevos planes de cuenca, no sólo en lo que atañe al Acueducto Tajo-Segura sino en muchos otros entornos y situaciones.

Los resultados de las proyecciones de los balances de agua de las cuencas revelan un agravamiento de las condiciones de estrés, que está más vinculado a la pérdida de disponibilidad por reducción del recurso natural que al crecimiento de la demanda. En este punto, es importante mencionar que el cumplimiento pleno de los caudales ecológicos puede causar una merma en la disponibilidad del 16% con relación a una situación sin caudales ecológicos. La merma real será inferior a la calculada, puesto que ya se aplicaban caudales mínimos en muchos puntos de control, pero puede estimarse en una cuantía similar a la reducción constatada de las aportaciones, en torno al 10%, lo que repercutiría negativamente sobre los usos del agua. Son necesarios estudios complementarios, en los que se pondere la repercusión de los caudales ecológicos no sólo sobre la integridad ambiental de la masa de agua, sino también sobre los niveles de garantía de las unidades de demanda afectadas y la repercusión económica y social, tanto positiva como negativa, de su implantación. Esta información es imprescindible para que los usuarios puedan participar en el proceso de concertación adaptativo que contempla la normativa. Sólo de esta manera pueden llegar a armonizarse los dos objetivos básicos de la planificación hidrológica: conseguir el buen estado ecológico y la satisfacción de las demandas de agua.

Bibliografía

Álvarez, J., Sánchez, A., & Quintas, L. (2005). SIMPA, a GRASS based Tool for Hydrological Studies. *International Journal of Geoinformatics*, *1*(1).

BOE (2007). Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica. *Boletín Oficial del Estado*.

BOE (2008). Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica. *Boletín Oficial del Estado*.

BOE (2021). Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. *Boletín Oficial del Estado*.

BOE (2023). Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro. *Boletín Oficial del Estado*.

Calatrava, J. (2022). Economic Assessment of Irrigation with Desalinated Seawater in Greenhouse Tomato Production in SE Spain. *Agronomy*, *12*(6), 1471.

Caretta, M. A., Mukherji, A., Arfanuzzaman, M., Betts, R.A., Gelfan, A., Hirabayashi, Y., Lissner, T.K., Liu, J., López Gunn, E., Morgan, R., Mwanga, S., & Supratid S. (2022). Water. En *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, (pp. 551-712). https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter04.pdf

CEDEX (2010). *Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

CEDEX (2017). *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

CEDEX (2020). *Evaluación de recursos hídricos en régimen natural en España (1940/41-2017/18)*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

Clavera-Gispert, R., Quintana-Seguí, P., Palazón, L., Zabaleta, A., Cenobio, O., Barella-Ortiz, A., & Beguería, S. (2023). Streamflow trends of the Pyrenees using observations and multi-model approach (1980–2013). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *46,* 101322. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101322

Embid Irujo, A. (2021). El concepto de seguridad hídrica: contenido y funcionalidad. En A. Embid Irujo (dir.). *La seguridad hídrica: desafíos y contenido* (pp. 27-70). Aranzadi.

Estrela, T., Cabezas, F., & Estrada, F. (1999). La evaluación de los recursos hídricos en el Libro Blanco del Agua en España. *Ingeniería del agua*, *6*(2), 125-138.

Estrela, T., & Quintas, L. (1996). El sistema integrado de modelización precipitación-aportación SIMPA. *Ingeniería Civil*, *104*, 43-52.

Fernández-Nóvoa, D., García-Feal, O., González-Cao, J., Decastro, M., & Gómez-Gesteira, M. (2022). Multiscale flood risk assessment under climate change: The

case of the Miño river in the city of Ourense, Spain. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *22*(12), 3957-3972. doi:10.5194/nhess-22-3957-2022.

García-Garví, J. M., Sánchez-Bravo, P., Hernández, F., Sendra, E., Corell, M., Moriana, A., Burgos-Hernández, A., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2022). Effect of Regulated Deficit Irrigation on the Quality of 'Arbequina' Extra Virgin Olive Oil Produced on a Super-High-Intensive Orchard. *Agronomy*, *12*(8), 1892. https://doi.org/10.3390/agronomy12081892

Garrido, A., & Blanco, I. (2023). Papel del regadío en la mitigación y adaptación al cambio climático. En A. Embid Irujo (dir.). *Seguridad hídrica y cambio climático*. Aranzadi.

Hernández-Mora, N., Gil, M., Garrido, A., & Rodríguez-Casado, R. (2012). *La sequía 2005-2008 en la cuenca del Ebro: vulnerabilidad, impactos y medidas de gestión*. CEIGRAM-UPM.

INE (2020). *Encuesta sobre el uso del agua en el sector agrario. Año 2018*. https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176839&menu=ultiDatos&idp=1254735976602

INE (2022). *Censo Agrario 2020*. https://www.ine.es/censoagrario2020/presentacion/index.htm

IPCC (2018). Resumen para responsables de políticas. En *Calentamiento Global de 1.5°C. Un informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales y las vías de emisión de gases de efecto invernadero relacionadas, en el contexto del fortalecimiento de la respuesta global a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos para erradicar la pobreza* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, PR Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, JBR Matthews, Y. Chen, X. Zhou, MI Gomis, E Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, (pp. 3-24). doi: 10.1017/9781009157940.001

Jiménez-Donaire, M. P., Giráldez, J. V., & Vanwalleghem, T. (2020). Impact of Climate Change on Agricultural Droughts in Spain. *Water*, *12*(11), 3214. https://doi.org/10.3390/w12113214

López-Moreno, J. I.; Vicente-Serrano, S. M.; Morán-Tejeda, E.; Zabalza, J.; Lorenzo-Lacruz, J.; & García-Ruiz, J. M. (2011). Impact of climate evolution and land use changes on water yield in the Ebro basin. *Hydrology and Earth System Sciences, 15*(1). https://hess.copernicus.org/preprints/7/2651/2010/hessd-7-2651-2010.pdf

López-Moreno, J. I., Zabalza, J., Vicente-Serrano, S. M., Revuelto, J., Gilaberte, M., Azorín-Molina, C., Morán-Tejeda, E., García-Ruiz, J.M., & Tague, C. (2014). Impact of climate and land use change on water availability and reservoir management: Scenarios in the Upper Aragón River, Spanish Pyrenees. *Science of The Total Environment*, *493*, 1222-1231. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.031

MAPA (2022). *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE)*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/

Mezger, G., De Stefano, L., & González del Tánago, M. (2022). Analysis of the Evolution of Climatic and Hydrological Variables in the Tagus River Basin, Spain. *Water*, *14*(5), 818. http://dx.doi.org/10.3390/w14050818

Mezger, G., González del Tánago, M., & De Stefano, L. (2021). Environmental flows and the mitigation of hydrological alteration downstream from dams: The Spanish case. *Journal of Hydrology,* 598(3-4), 1-20. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125732

MITERD (2021): *Informe de seguimiento de los planes hidrológicos de cuenca y de los recursos hídricos en España (avance octubre 2021)*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/seguimientoplanes.aspx

MMA (2000). *Libro Blanco del Agua*, Ministerio de Medio Ambiente. https://hispagua.cedex.es/node/66958

Paredes-Beltrán, B., Sordo-Ward, A., Lama Pedrosa, B., & Garrote de Marcos, L. (2021). Capacidad de regulación de las presas españolas bajo escenarios climáticos actuales y futuros. En *Libro de comunicaciones de las XII Jornadas Españolas de Presas*, (pp. 83-95). Comité Español de Grandes Presas.

Rodríguez Díaz, J. A., Weatherhead, E. K., Knox, J. W., & Camacho, E. (2007). Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir River Basin in Spain. *Regional Environmental Change, 7*(3), 149-159. http://dx.doi.org/10.1007/s10113-007-0035-3

Rubio-Martín, A., Llario, F., García-Prats, A., Macian-Sorribes, H., Macian-Cervera, V. J., & Pulido-Velázquez, M. (2023). Climate services for water utilities: Lessons learnt from the case of the urban water supply to Valencia, Spain. *Climate Services*, *29*(3-4), 100338. http://dx.doi.org/10.1016/j.cliser.2022.100338

Sánchez-Gómez, A., Martínez-Pérez, S., Leduc, S., Sastre-Merlín, A., & Molina-Navarro, E. (2023). Streamflow components and climate change: Lessons learnt and energy implications after hydrological modeling experiences in catchments with a Mediterranean climate. *Energy Reports*, *9*(1), 277-291. http://dx.doi.org/10.1016/j.egyr.2022.11.191

Témez, J. R. (1977). *Modelo matemático de transformación precipitación-aportación*. ASINEL.

Tocados-Franco, E., Berbel, J., & Expósito, A. (2023). Water policy implications of perennial expansion in the Guadalquivir River Basin (southern Spain). *Agricultural Water Management*, *282*(3537), 108286. http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108286

Valerio, C., Baquero, R. A., Gómez Nicola, G., Garrido, A., & De Stefano, L. (2022). Shedding light on the decline of Iberian freshwater fish species over the period 1980-2020. *Freshwater Biology*, *67*(10), 1690-1707. https://doi.org/10.1111/fwb.13963

Valerio, C., De Stefano, L., Martínez-Muñoz, G., & Garrido, A. (2020). A machine learning model to assess the ecosystem response to water policy measures in the Tagus River Basin (Spain). *Science of The Total Environment*, *750*, 141252. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141252

Anexo I. Nivel de confianza sobre las proyecciones de cambio climático y sus impactos

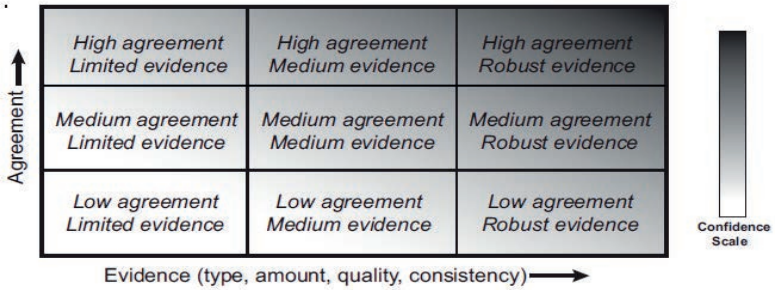


Figure 1: A depiction of evidence and agreement statements and their relationship to confidence. Confidence increases towards the top-right corner as suggested by the increasing strength of shading. Generally, evidence is most robust when there are multiple, consistent independent lines of high-quality evidence.

Table 1. Likelihood Scale

Term*	Likelihood of the Outcome
Virtually certain	99-100% probability
Very likely	90-100% probability
Likely	66-100% probability
About as likely as not	33 to 66% probability
Unlikely	0-33% probability
Very unlikely	0-10% probability
Exceptionally unlikely	0-1% probability

Fuente: Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. IPCC Cross-Working Group Meeting on Consistent Treatment of Uncertainties. Jasper Ridge, CA, USA. 6-7 July 2010

Anexo II. Literal del Art. 19 del Título V de la Ley 7/2021

Medidas de adaptación a los efectos del cambio climático. BOE. Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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