

Adaptación al cambio climático



**Identificación de
medidas de adaptación
a partir de los impactos
sobre los recursos
hídricos en la
Comunidad de Madrid**



FUNDACIÓN CANAL
Canal de Isabel II



Las afirmaciones recogidas en esta publicación reflejan la opinión de los autores y no necesariamente la de la Fundación Canal.

© De la edición, Fundación Canal. Junio 2012

© De los textos, los autores

© Fotografías de portada y contraportada: Miguel Ángel Gómez, FEMA News Photo.

© De las fotografías, sus autores

DISEÑO Y MAQUETACIÓN: Net Imagin

IMPRESIÓN: Equipo Gráfico Dedalus S.L.

ISBN: 978-84-938691-4-4

DEPÓSITO LEGAL: M-19602-2012

Adaptación al cambio climático

Identificación de medidas de adaptación a partir de los impactos sobre los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid

Luis Garrote de Marcos

Ana Iglesias Picazo

Grupo de Investigación en Hidroinformática y Gestión del Agua de la Universidad Politécnica de Madrid



FUNDACIÓN CANAL
Canal de Isabel II



PRESENTACIÓN

Entre los cometidos estatutarios que tiene la Fundación Canal de Isabel II está la promoción de actividades de investigación y divulgación sobre las cuestiones más relevantes que afectan al medio ambiente en general y a los recursos hídricos en particular. Consecuentemente se han definido sendos Programas de investigación relacionados con la gestión de riesgos ambientales, por una parte, y con la historia del patrimonio hidráulico del Canal de Isabel II, por otra. Como resultado de los estudios que se realicen en el contexto de cada uno de estos Programas se editarán las publicaciones correspondientes para cumplir, en fin, con otro objetivo fundacional, cual es el de la difusión y divulgación del conocimiento que se genere a lo largo de este proceso.

El estudio que ahora se presenta se ha desarrollado en el marco del Programa de gestión de riesgos ambientales y es el segundo que se edita. Los trabajos de investigación, la realización de las actividades de participación y consulta con expertos sectoriales y la producción de los textos definitivos fueron realizados por el personal del Grupo de investigación en hidroinformática y gestión del agua de la Universidad Politécnica de Madrid, bajo la dirección de Luis Garrote y Ana Iglesias, al amparo de un convenio de colaboración suscrito entre la Fundación Canal y la Universidad Politécnica de Madrid.

El trabajo realizado pretende avanzar en la consideración de posibles medidas de adaptación al cambio climático en la Comunidad de Madrid, definidas a partir del conocimiento que se tiene de los impactos que, por este fenómeno, experimentarán los recursos hídricos en la Región; se trata de un estudio novedoso, toda vez que su ámbito de estudio tiene una escala subnacional, que exige mucho mayor detalle en los análisis de datos, que no siempre están disponibles.

Éste ha sido uno de los retos que los autores han tenido que afrontar para cumplir los objetivos del estudio y avanzar en la definición de medidas de adaptación al cambio climático, que la sociedad habrá de acometer necesariamente en el corto plazo.

Con la publicación de este estudio, la Fundación Canal pretende aportar una experiencia de análisis sobre la adaptación al cambio climático en un ámbito territorial específico y de reducidas dimensiones, como es el de la Comunidad de Madrid.

PRESENTACIÓN

1 INTRODUCCIÓN	9
1.1 Contexto	9
1.2 Objetivos	9
1.3 Sectores considerados	9
1.4 Metodología de trabajo	13
2 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL CLIMA EN LA COMUNIDAD DE MADRID	17
2.1 Observaciones del clima global	17
2.2 Observaciones del clima en la Comunidad de Madrid	18
2.3 Escenarios de clima futuro	26
2.4 Acciones ante el cambio climático: mitigación y adaptación	31
3 IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS	35
3.1 Los recursos hídricos en España	35
3.2 Los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid	38
3.3 Efectos del cambio climático en los recursos hídricos superficiales	47
3.4 Efectos del cambio climático en los recursos hídricos subterráneos	58
3.5 Efectos del cambio climático en la calidad del agua	61
3.6 Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de la Comunidad de Madrid	64
3.7 Presiones e impactos sobre los sistemas de recursos hídricos	73
3.8 Presiones e impactos sobre el sistema de abastecimiento a Madrid	76
3.9 Efectos de los escenarios de cambio climático en las inundaciones	78
4 IMPACTOS INDUCIDOS EN SECTORES QUE DEPENDEN DEL AGUA	83
4.1 Introducción	83
4.2 Ecosistemas	86
4.3 Agricultura	95
4.4 Industria, energía	99
4.5 Turismo y ocio	106
4.6 Seguros	109
4.7 Urbanismo y construcción	112
4.8 Demografía y migraciones	116
4.9 Salud	116
5 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	119
5.1 Afrontar los impactos potenciales en la Comunidad de Madrid	119
5.2 El contexto Europeo y nacional	120
5.3 Necesidad de sinergias con otras medidas	124
5.4 Tipos de medidas en gestión del agua	124
5.5 Tipos de medidas en sectores dependientes del agua	133
6 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO	145
7 RECOMENDACIONES	149
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto

En este trabajo se plantea el estudio de los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid, prestando especial atención en su influencia en otros sectores que dependen del agua. Debido a la gran concentración de población en la región y a la ausencia de grandes ríos, los recursos hídricos en la región son escasos y su grado de aprovechamiento actual es ya muy alto. Las alternativas para incrementar el suministro de agua en la Comunidad deben ser cuidadosamente analizadas y valoradas, y resulta apropiado plantear el futuro aprovechando con la máxima eficiencia las fuentes de suministro actualmente disponibles e incrementando las disponibilidades en la medida en que vaya siendo necesario.

Aunque los niveles actuales de garantía del abastecimiento son satisfactorios, el cambio climático supone una amenaza para el mantenimiento de este nivel de garantía en el futuro y por tanto la adaptación al cambio climático es fundamental. En recursos hídricos, la adaptación al cambio climático necesariamente supone una mayor racionalización de los usos del agua, aumentando la eficiencia y reduciendo el consumo. En la Comunidad de Madrid la importancia relativa de los recursos hídricos sobre las actividades sociales es mayor que en otras regiones, por lo que la puesta en marcha de las medidas de adaptación afectará necesariamente a otros sectores que dependen del agua.

En la actualidad está en desarrollo el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), que fue presentado a la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático, al Consejo Nacional del Clima y a la Conferencia Sectorial de Medio Ambiente en febrero de 2006. Recientemente se ha publicado la evaluación de impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos en España. El Estudio de Adaptación parte del conocimiento generado por el PNACC para identificar adaptaciones (actuaciones de adecuación potenciales) al cambio de los recursos hídricos y de los sectores donde el agua juega un papel transversal relevante.

1.2 Objetivos

El objetivo de este trabajo es aportar el conocimiento suficiente para identificar medidas potenciales de adaptación asociadas a los sectores de actividad en los que el agua es un factor determinante. Atendiendo a las relaciones que existen entre la adecuación y la mitigación, el estudio tiene en cuenta las previsiones y resultados conseguidos en el marco de la Estrategia de Calidad del Aire y Cambio Climático de la Comunidad de Madrid (2006-2012) que, por otra parte, ya se encuentra en las postrimerías de su periodo de ejecución.

1.3 Sectores considerados

El análisis exhaustivo de los impactos del cambio climático y la propuesta de medidas de adaptación en todos los sectores está fuera del alcance del presente trabajo. Como quiera que lo que se pretende es identificar actuaciones de adaptación asociadas a sectores en los que el agua es importante, se han seleccionado entre los sectores contemplados en el PNACC, los que tienen una

relación más directa con el agua y son relevantes para la Comunidad de Madrid (MMA 2005, MMA 2006).

Se toma como punto de partida a importancia relativa de los distintos sectores productivos en la economía de la Comunidad de Madrid, que se presenta en la Figura 1.1 y en la Tabla 1.1.

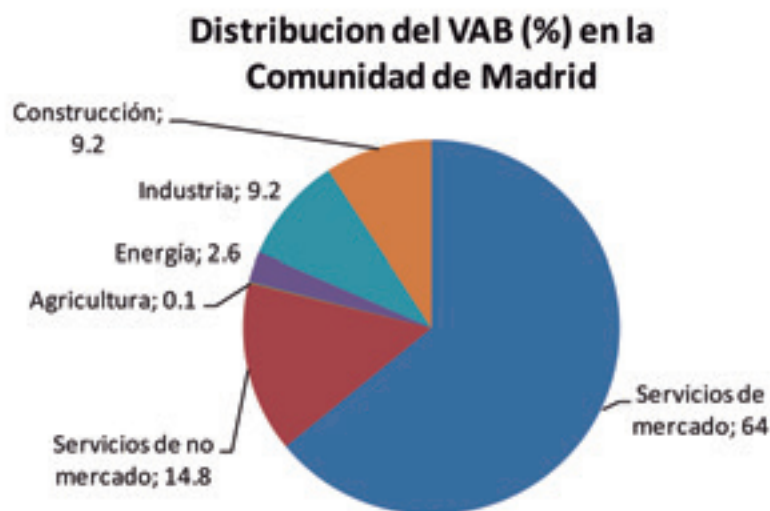


Figura 1.1: Distribución del VAB madrileño 2009

SECTORES	VALOR AÑADIDO BRUTO				
	COMUNIDAD DE MADRID		ESPAÑA		MADRID RESPECTO A ESPAÑA
	Miles de €	%	Miles de €	%	%
Agricultura, ganadería y pesca	236.145	0,1	23.877.000	2,4	1,0
Energía	4.529.771	2,6	24.613.000	2,5	18,4
Industria	16.193.579	9,2	123.191.000	12,6	13,1
Construcción	16.217.211	9,2	104.828.000	10,7	15,5
Servicios de mercado	112.343.964	64,0	541.852.000	55,5	20,7
Servicios de no mercado	26.049.289	14,8	157.789.000	16,2	16,5
Valor Añadido Bruto Total	175.569.959	100,0	976.150.000	100,0	18,0

Tabla 1.1: Distribución del VAB de la Comunidad de Madrid y España, 2009 (Miles de € a precios corrientes) (Fuente de datos: CES 2009)

En la economía de la Comunidad de Madrid el sector de servicios de mercado tiene el mayor peso -el 64%-, seguido del correspondiente a los servicios de no mercado, vinculado con las Administraciones Públicas. La construcción también es relevante -el 9,2%-, aunque en mucho menor medida que a nivel nacional -15,5%-, circunstancia parecida al sector industrial. Finalmente, la energía sólo

aporta el 2,6% en Madrid, en contraposición con su importancia nacional que llega al 13,1%, mientras que la agricultura tiene un peso testimonial del 0,1%.

Estas actividades se ven afectadas en distinta medida por la disponibilidad de agua. En algunas, como la agricultura o la industria, el agua puede ser un factor productivo significativo y la falta de agua podría alterar su estructura de costes e incluso motivar su desplazamiento a otras áreas geográficas más favorables. En otras, como la construcción, el peso del agua en los costes de producción es irrelevante, pero las medidas encaminadas al ahorro de agua o a la protección contra inundaciones pueden afectar tanto la ordenación del territorio como las instalaciones de los edificios. Igualmente pueden verse afectadas algunas actividades del sector servicios, como el turismo o los seguros, en los que los factores climáticos son significativos. Junto a la economía productiva, deben considerarse también otros sectores que no tienen representación clara en la actividad económica directa, pero están vinculados al bienestar de la población, como los espacios naturales.

En el PNACC se contemplan los sectores recogidos en la Tabla 1.2.

Biodiversidad	Caza y Pesca Continental	Salud Humana
Recursos Hídricos	Zonas de Montaña	Industria y Energía
Bosques	Suelos	Turismo
Sector Agrícola	Pesca y Ecosistemas Marinos	Finanzas-Seguros
Zonas Costeras	Transporte	Urbanismo y Construcción

Tabla 1.2: Sectores contemplados en el PNACC

A partir del análisis del PNACC, y teniendo en cuenta la importancia de la actividad en la Comunidad de Madrid, se han seleccionado los siguientes sectores:

ECOSISTEMAS

Un gran número de espacios naturales protegidos en la Comunidad de Madrid ocupan las riberas de los ríos. El cambio climático alterará los ecosistemas acuáticos españoles: la biodiversidad de muchos de ellos se reducirá y sus ciclos biogeoquímicos se verán alterados. El PNACC advierte que las posibilidades de adaptación de los ecosistemas acuáticos españoles al cambio climático son limitadas. Además de los efectos directos del cambio climático sobre los espacios naturales, la presión adicional sobre los recursos hídricos puede afectar el estado de estos ecosistemas a través de la gestión que se realice de los caudales ecológicos.

RECURSOS HÍDRICOS

El impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos constituye el eje central del análisis. El aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación causarán una reducción de las aportaciones y una modificación de la demanda de agua. El análisis realizado se centra en el estudio del efecto del cambio climático en la disponibilidad de recursos regulados para los usos del agua. También se ha contemplado la alteración de los riesgos de inundación.

SECTOR AGRÍCOLA

El incremento de la temperatura y de la concentración de CO₂ y los cambios en las pautas de precipitación estacional afectará a la agricultura, aunque los efectos no serán uniformes en las distintas regiones españolas. Aunque la importancia cuantitativa de la agricultura en la actividad económica de la Comunidad de Madrid es testimonial, la agricultura de regadío es uno de los sectores que están más directamente expuestos como consecuencia de la reducción de disponibilidad de agua debida al cambio climático, hasta el punto que, si no se adoptan medidas de adaptación apropiadas, su viabilidad a largo plazo puede verse seriamente comprometida.

INDUSTRIA Y ENERGÍA

El principal efecto del cambio climático en la industria se producirá a través de las medidas de mitigación, fundamentalmente el control de emisiones de CO₂. Además, se espera una disminución de la producción de energía de origen hidroeléctrico, y pueden producirse efectos negativos en la disponibilidad de agua para la refrigeración de las centrales térmicas. En este trabajo, se analiza el efecto que producirán las medidas de adaptación en la gestión de recursos hídricos sobre la disponibilidad de agua para la industria.

TURISMO

La sensibilidad del turismo al clima es muy elevada en España. En la Comunidad de Madrid los impactos del cambio climático afectarán tanto al turismo de ciudad como al de espacios naturales. En el primer caso, las condiciones climáticas afectan al calendario de actividad y a las condiciones de disfrute de los turistas, mientras que en el segundo caso la afección se produce a través de la alteración de los ecosistemas, que pueden reducir los beneficios sociales, económicos y ambientales disfrutados hasta el momento. Las zonas más vulnerables son las de montaña, sobre todo en el turismo de nieve.

SEGUROS

Se verán afectados por el cambio en el riesgo de exposición a fenómenos extremos originado por alteraciones en el clima. El efecto más inmediato es la modificación del riesgo de inundación originada por la alteración de los fenómenos extremos. El Consorcio de Compensación de Seguros, que en España asume la cobertura aseguradora de inundación en el marco del sistema de Seguro de Riesgos Extraordinarios, habrá de dedicar especial atención a la evolución de la siniestralidad por este riesgo y al impacto que en ello tengan los diferentes escenarios del cambio climático en el tiempo y en el espacio.

URBANISMO Y CONSTRUCCIÓN

Las medidas de adaptación en la gestión de los recursos hídricos afectarán la ordenación del territorio, el urbanismo y la vivienda. La ordenación del territorio deberá contemplar los efectos del cambio climático, ordenando la distribución en el territorio de las actividades económicas. El urbanismo deberá procurar reducir el uso de recursos por vivienda, incluyendo agua, energía y transporte. En el entorno urbano de la Comunidad de Madrid el incremento de la eficiencia en el uso del agua condicionará las zonas verdes, los usos públicos del agua, las condiciones de habitabilidad de las viviendas, etc.

DEMOGRAFÍA Y MIGRACIÓN

El cambio climático puede originar movimientos migratorios de importancia, tanto a escala nacional (buscando un clima más agradable) como a escala internacional (motivado por el endurecimiento de las condiciones locales por causas climáticas). Además de afectar a sectores como el empleo o el urbanismo, el crecimiento de la población afectará a la demanda de agua y requerirá medidas de adaptación específicas.

SALUD

Las alteraciones del clima pueden tener repercusión en la salud de la población de distintas maneras: por la intensificación de los fenómenos extremos (olas de calor o frío), por el incremento de la tasa de transmisión de determinado tipo de enfermedades, por la aparición de enfermedades exóticas, etc. La alteración del régimen hidrológico de los ríos puede igualmente afectar a la salud a través de la alteración de los vectores de transmisión de enfermedades infecciosas.

1.4 Metodología de trabajo

Con el fin de identificar las necesidades de adaptación, el estudio analiza en detalle los impactos sobre los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid teniendo en cuenta varias componentes (Figura 1.2). Primero se presenta una breve descripción del clima y sus tendencias globales y en distintas localidades urbanas, periurbanas y de montaña de la Comunidad de Madrid (Capítulo 2). A continuación se realiza una evaluación detallada de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos de España y de la Comunidad de Madrid (Capítulo 3). Esta evaluación es la base para la discusión sobre las presiones sobre los sistemas (también en el Capítulo 3) y para los efectos inducidos en otros sectores (Capítulo 4). Todos estos resultados se sintetizan para poner de manifiesto las necesidades de adaptación (Capítulo 5).



Figura 1.2: Componentes del estudio

La metodología de trabajo seguida en la elaboración del estudio se ha basado en la revisión de literatura y la consulta con expertos de los distintos sectores. En primer lugar se procedió a elaborar un documento inicial de trabajo. Este documento se circuló entre un grupo de expertos destacados en diferentes sectores relacionados con el estudio y a continuación se celebró un seminario para poner en común las opiniones de los expertos y discutir formas de mejorar el trabajo. Los objetivos del seminario fueron la evaluación del documento inicial de trabajo, el contraste de la relevancia de las proyecciones climáticas en materia de recursos hídricos y la reflexión sobre las implicaciones que tiene una posible escasez de recursos hídricos en un conjunto de sectores de la economía madrileña y sobre los aspectos de la adaptación al cambio climático con referencia a la gestión del agua y a los sectores productivos dependientes de los recursos hídricos. Los participantes en el seminario se reflejan en la Tabla 1.3:

PARTICIPANTE	LUGAR DE TRABAJO Y CARGO
Francisco Cubillo González	Canal de Isabel II. Subdirector de Investigación, Desarrollo e Innovación
Alberto Garrido Colmenero	Universidad Politécnica de Madrid y Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales, CEIGRAM. Director
Jesús Ángel López Gómez	Ayuntamiento de Madrid. Área de Gobierno de Medio Ambiente. Subdirector General de Gestión Hídrica
José María Marcos Fano	UNESA. Jefe del Departamento de Prospectiva y Renovables.
Justo Mora Alonso-Muñoyerro	Confederación Hidrográfica del Tajo. Director Técnico.
Alfonso Nájera Ibáñez	Consortio de Compensación de Seguros. Responsable del Área de Estudios y Documentación.
José Ramón Picatoste Ruggeroni	Oficina Española de Cambio Climático. Área de Estrategias de Adaptación
Javier Sánchez Martínez	Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Subdirección General de Gestión Integrada del Dominio Público Hidráulico
Marta Soriano Roncero	Canal de Isabel II. Subdirectora de Planificación Hídrica
Ricardo Vargas López	Comunidad de Madrid. D.G. de Medio Ambiente. Jefe del Área de Calidad Atmosférica.
Jesús Yagüe Córdova	Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Subdirector General de Gestión Integrada del Dominio Público Hidráulico

Tabla 1.3: Expertos participantes en el seminario

Tras el taller de trabajo los expertos presentaron contribuciones al estudio que fueron incorporadas por los autores. Igualmente, se celebraron entrevistas individualizadas con otros expertos para tratar temas específicos. Los expertos entrevistados se relacionan en la Tabla 1.4.

ENTREVISTADO	LUGAR DE TRABAJO Y CARGO
Carlos Dueñas Molina	Ministerio del Interior. Subdirector General de Planificación, Operaciones y Emergencias.
Luis Jiménez Herrero	Observatorio de la Sostenibilidad en España. Director
Guido Schmidt	Tecnomia. Responsable de Planificación Ambiental

Tabla 1.4: Expertos entrevistados en el trabajo

Los autores agradecen profundamente a los expertos consultados participación en el estudio y, especialmente, sus contribuciones, que han mejorado de manera sustancial el documento inicialmente redactado.



2 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL CLIMA EN LA COMUNIDAD DE MADRID

2.1 Observaciones del clima global

El clima se define como el patrón de las condiciones meteorológicas observadas durante un periodo de tiempo prolongado. El clima de una región se define por la media y las oscilaciones de las variables climáticas (temperatura, precipitación, viento, etc.). El término cambio climático se refiere a una alteración de las condiciones medias, mientras que la variabilidad climática se refiere a fluctuaciones de la media. Por ejemplo, pueden ocurrir anomalías de la precipitación por su duración, cantidad, intensidad, distribución espacial, y tipo (por ejemplo, lluvia vs. nieve). La variabilidad en la temperatura puede manifestarse como cambios en la duración de las olas de calor y las heladas (Kerr, 2005).

El sistema climático global cambia permanentemente. Existe un consenso científico de que la temperatura media mundial (del aire en la superficie de la tierra) ha aumentado más de 0,7°C durante los últimos 100 años, y que los cinco años más cálidos se han registrado en todo el mundo durante los últimos diez años. Por tanto el cambio climático ya es una realidad y se han publicado miles de estudios sobre la evidencia científica y los posibles escenarios futuros. Este consenso se ha visto plasmado en las publicaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC es su acrónimo en inglés) que reúnen gran parte del conocimiento científico actual sobre el cambio climático (IPCC, 2007). La investigación científica también se ha volcado en la demostración de los impactos socio-económicos del cambio climático que ya empiezan a sentirse en muchas partes del mundo (IPCC, 2007; Ciscar et al., 2009; Stern et al., 2006). Por demás en los últimos años este consenso científico se ha visto extendido a un público general y comienza a pesar en las decisiones de los gobiernos nacionales (Rosenzweig y Wilbanks, 2010).

Las publicaciones científicas recientes sugieren la posibilidad de que el cambio climático pueda afectar a la frecuencia e intensidad de los eventos extremos (Luterbacher et al., 2004), de forma que el número desproporcionadamente elevado de inundaciones, sequías, olas de calor y otros fenómenos climáticos extremos ocurridos durante los cinco últimos años, pueden estar asociados con el cambio climático. El IPCC ha definido como cambio climático “*una variación estadísticamente significativa de la media en las variables de estado que definen el clima (por ejemplo, temperatura y precipitación) o en su variabilidad que persiste durante un extenso periodo de tiempo (típicamente décadas o periodos más largos)*”.

En la Figura 2.1 se muestra la variación de la temperatura observada durante el periodo 1970-2000 en relación con las temperaturas del siglo anterior. Desde 1860, la temperatura media global ha aumentado 0,6°+/-0,2°C; las variaciones no son uniformes en todas las regiones, en algunas el calentamiento ha sido mayor de 0,6°C y en otras incluso la atmósfera se ha enfriado. Al mismo tiempo han ocurrido cambios anuales de la precipitación (entre 0,5 y 1% por década) en la mayoría de las regiones de latitudes medias o altas. Sin embargo en

muchas regiones tropicales o sub-tropicales, la precipitación ha disminuido en las últimas décadas. En la región Mediterránea la temperatura ha aumentado más que en otras regiones y la precipitación ha sufrido un incremento en la variabilidad anual y estacional (Giorgi y Lionello, 2008).

Hoy en día ya es evidente que esta variación climática tiene consecuencias directas sobre los ecosistemas naturales, los glaciares, y la agricultura de numerosas regiones. Por demás, el cambio climático puede ser debido a procesos naturales internos pero también está relacionado con causas antropogénicas, que se manifiestan, por ejemplo, en la variación de la composición atmosférica (IPCC, 2007; Rosenzweig et al., 2008).

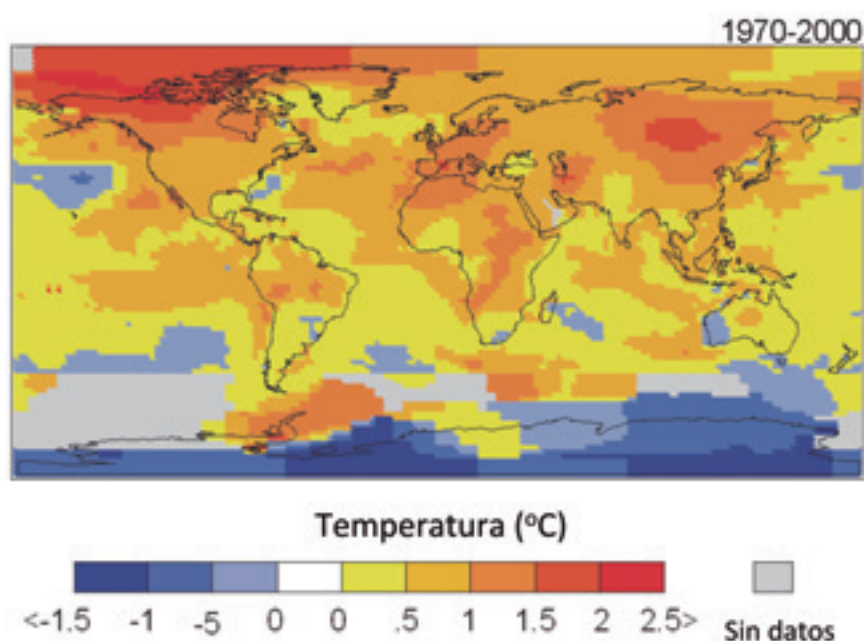


Figura 2.1: Variación de la temperatura media anual del periodo 1970 a 2000 en relación con las observaciones de 1900 a 2000.

Fuente de datos: NASA/GISS e IPCC

2.2 Observaciones del clima en la Comunidad de Madrid

CLIMA REGIONAL

El clima de la Comunidad de Madrid es mediterráneo con veranos calurosos y secos e inviernos fríos y húmedos. La Sierra de Guadarrama detiene las masas de aire húmedo marítimo procedentes del noroeste de la Península, por lo que el clima mediterráneo tiene una influencia continental. Existe una gran variación de temperatura y pluviometría media debido a la gran diferencia en la orografía. El valle del Tajo es la zona más calurosa y la temperatura desciende hacia las montañas. En la mayor parte del territorio llueve menos de 700 mm al año, siendo el valle del Tajo la zona más seca, donde no se alcanzan los 500 mm

anuales. En las montañas, sin embargo, las lluvias se incrementan rápidamente con la altitud y pueden superar los 1.500 mm año. Las estaciones más lluviosas son la primavera y el otoño, puesto que llegan las masas de aire polar marítimo que trae el frente polar. El verano es seco porque está dominado por el anticiclón de las Azores. El invierno es más seco que la primavera y el otoño porque se instalan sobre la zona anticiclones térmicos que, además, provocan nieblas persistentes.

Las temperaturas presentan un gradiente muy acusado siguiendo un patrón similar al de las precipitaciones que sigue la dirección noroeste-sureste. Descienden desde el valle del Tajo, en el extremo meridional, hacia las montañas que constituyen su límite septentrional. Las temperaturas medias anuales en el valle del Tajo son de más de 14 °C, mientras que en las montañas descienden hasta los 8 °C, como en Navacerrada. Esto implica que buena parte de las precipitaciones en las montañas se producen en forma de nieve. El mes más caluroso es agosto y enero el más frío, cuando se alcanzan temperaturas bajo 0 °C en toda la región, lo que quiere decir que en toda ella tienen lugar heladas. El verano llega a ser caluroso, salvo en la sierra donde es más bien fresco y hasta frío. Así pues, se presentan inviernos largos y fríos, veranos cálidos y la primavera y el otoño son estaciones breves e irregulares pero muy marcadas. El periodo de aridez típico de los meses de verano es una característica de toda la región, pero es más largo en el valle (hasta 4 meses al año) que en la sierra (dos meses al año).

Con estas características de precipitaciones y temperaturas, se dan grandes diferencias en el balance hídrico en la Comunidad de Madrid. En la zona del valle del Tajo es semiárido, ya que se evapora mucha más agua de la que llueve, siendo húmedo en las regiones montañosas.

EL CLIMA URBANO

El clima de la Comunidad de Madrid presenta algunas particularidades debido a la gran proporción del territorio urbanizado. En 2004 el 12% del territorio de la Comunidad estaba ocupado por municipios con más de 100.000 habitantes (MMA 2005) y en 2009 la Comunidad de presentó la máxima densidad urbana de la España peninsular, con 749,56 habitantes por kilómetro cuadrado, densidad unas tres veces mayor que en la siguiente Comunidad (MARM 2010).

En general, la temperatura dentro de la ciudad es mayor que en las afueras. Esta diferencia se incrementa en situaciones de estabilidad por la acción de un anticiclón térmico, ya que es entonces cuando aparece el fenómeno denominado isla de calor (Figura 2.2), que es una situación atmosférica que se presenta en las grandes ciudades y consiste en el rápido aumento de la temperatura desde las afueras hacia el centro urbano, donde los edificios y el asfalto desprenden por la noche el calor acumulado durante el día. Provoca vientos locales desde el exterior hacia el interior. Además, la atmósfera urbana es ligeramente más húmeda. Las precipitaciones son las mismas que en el resto del entorno. En el caso concreto de la ciudad de Madrid, los máximos térmicos se localizan en la calle de Alcalá, el paseo de la Castellana y en el centro urbano, aunque los picos varían según la orientación de las calles -siendo mayores las que tienen su eje en dirección este oeste-, su anchura y la presencia de arbolado; por otra parte, los mínimos térmicos corresponden a la vaguada del Manzanares, a espacios abiertos, parques y zonas forestales.

En definitiva, la existencia del fenómeno de la isla de calor en Madrid se manifiesta por un gradiente térmico decreciente entre el centro urbano y la





periferia, donde aparecen islas de calor menores coincidentes con los centros de poblaciones importantes como son Alcobendas, Alcorcón, Getafe, entre otras (Ayuntamiento de Madrid, 2008).

En Madrid, el fenómeno de la isla de calor ha sido ampliamente observado y estudiado (véase por ejemplo Bejarano, 2002 o Fernández García y Rasilla Álvarez, 2008).

CLIMA EN ZONAS URBANAS, PERIURBANAS Y DE MONTAÑA DE LA COMUNIDAD DE MADRID

La temperatura en las estaciones urbanas cercanas a Madrid ¹ (Figura 2.2) probablemente están influidas por el efecto de la isla de calor. Las temperaturas del periodo completo de observación son menores que las temperaturas en los últimos diez años. Parte de la causa de este incremento en las zonas urbanas puede ser debido al incremento de la isla de calor y parte al calentamiento global (Figura 2.3). En zonas con poca urbanización, este incremento es probablemente debido al calentamiento global.

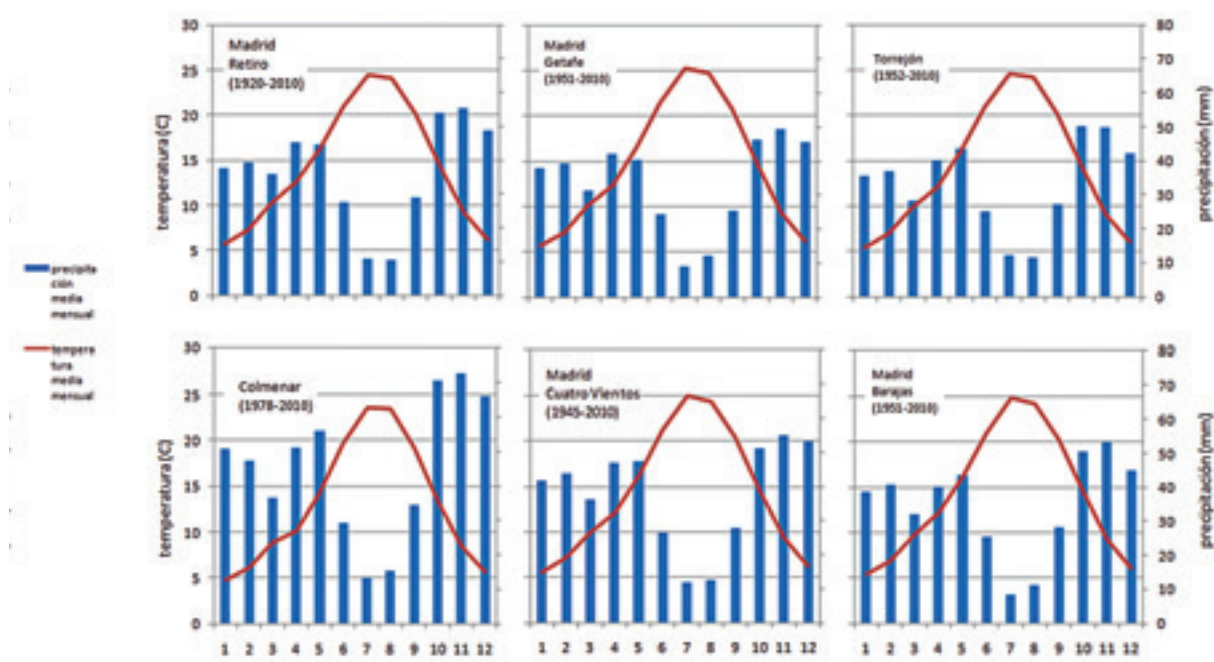


Figura 2.2: Temperatura media anual y precipitación total media anual en varias estaciones e la Comunidad de Madrid

1- La fuente de todos los datos climáticos presentados en este informe es la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), la elaboración de los datos es propia.

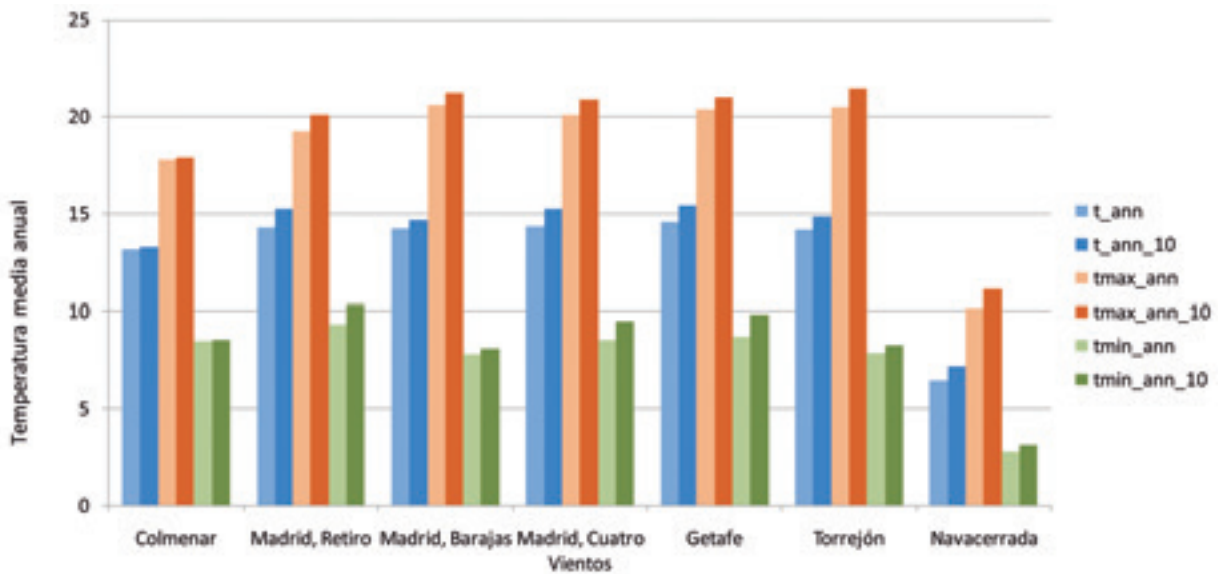


Figura 2.3: Temperatura media, máxima y mínima anual durante el periodo completo de datos climático y durante los últimos diez años en las estaciones de la Comunidad de Madrid

VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN

Una de las características más notables del clima de la Comunidad de Madrid es la irregularidad interanual de la precipitación y su tendencia (Figuras 2.4). Es difícil analizar las tendencias debido al limitado periodo de observaciones. Sin embargo, la estación de Madrid Retiro aporta datos más de 100 años de datos lo que permite analizar tendencias. Durante los últimos 145 años, la precipitación media de la estación meteorológica del Retiro de Madrid, se ha mantenido aproximadamente constante (Figura 2.6). Esto se refleja en las líneas de tendencia de la Figura 2.5 que solamente en los periodos 1940-2010 y 1970-2010 podrían sugerir el inicio de una ligera tendencia a la baja. A la vez, durante el mismo periodo, ha aumentado significativamente la variabilidad de la precipitación, como se puede ver en la Figura 2.7, en la que se representan las curvas de desviación acumulada en los distintos periodos considerados. La Figura 2.6 también muestra las desviaciones de la precipitación acumulada en otras estaciones de la Comunidad de Madrid.

El resultado de los fenómenos observados durante los últimos 30 años es un aumento de la evapotranspiración con consecuencias para la disponibilidad y calidad del agua. El impacto social de la reducción en la disponibilidad de agua en la región de Madrid es importante debido a la concentración de la población en zonas urbanas, el aumento de la población estacional en algunas zonas, la dificultad del control del uso del agua y los impedimentos culturales. La sequía afecta a la mayoría del territorio, pero sus impactos varían entre los distintos sectores, grupos de usuarios, y áreas de la Comunidad.

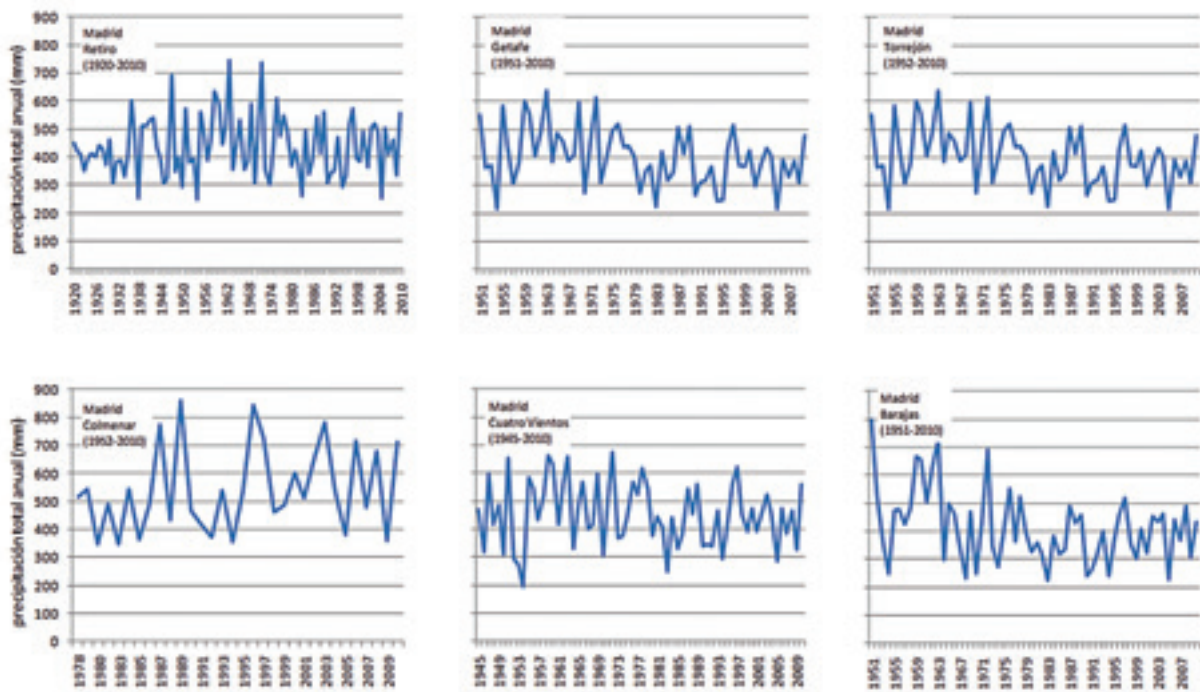


Figura 2.4: Precipitación anual en estaciones de la Comunidad de Madrid

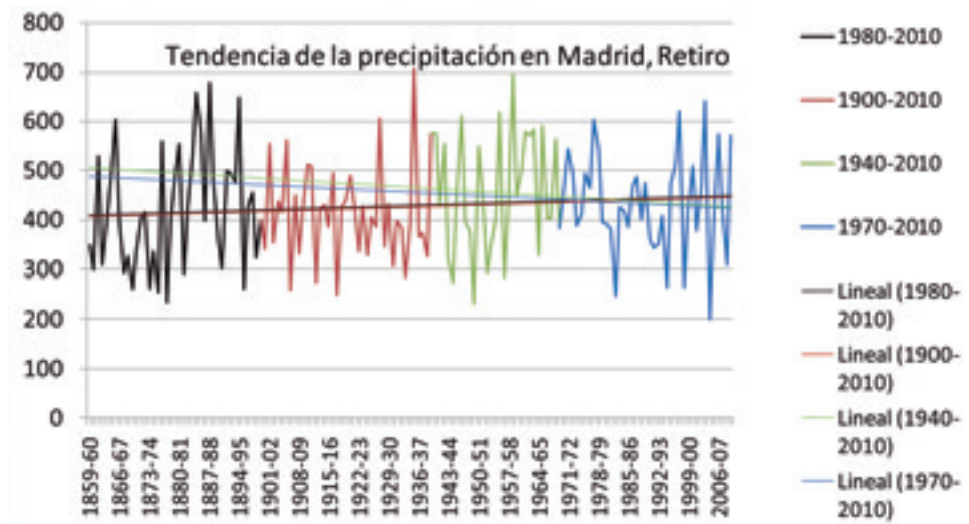


Figura 2.5: Tendencia de la precipitación durante el ciclo hidrológico anual en Madrid Retiro 1860-2010

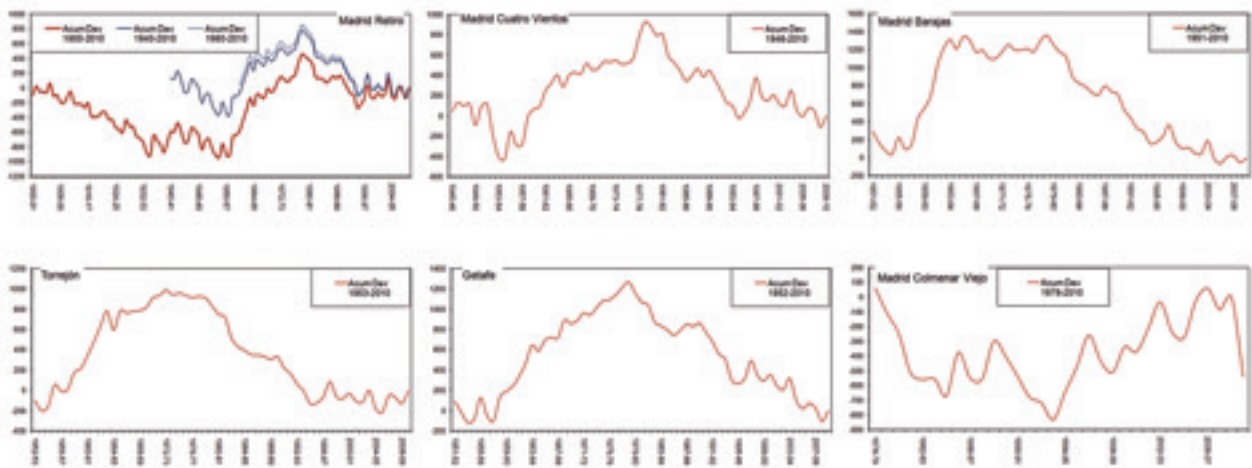


Figura 2.6: Desviaciones de la precipitación acumuladas en estaciones de la Comunidad de Madrid

VARIABILIDAD DE LA TEMPERATURA

La temperatura también ha variado durante los últimos 100 años. La Figura 2.7 muestra las temperaturas medias por estación y anuales para las estaciones de la Comunidad de Madrid. Las tendencias que se detectan en las estaciones de zonas urbanas son similares, siendo lo más llamativo el aumento de las temperaturas mínimas, lo cual está en concordancia con lo que pasa en otras localidades de la Península Ibérica.

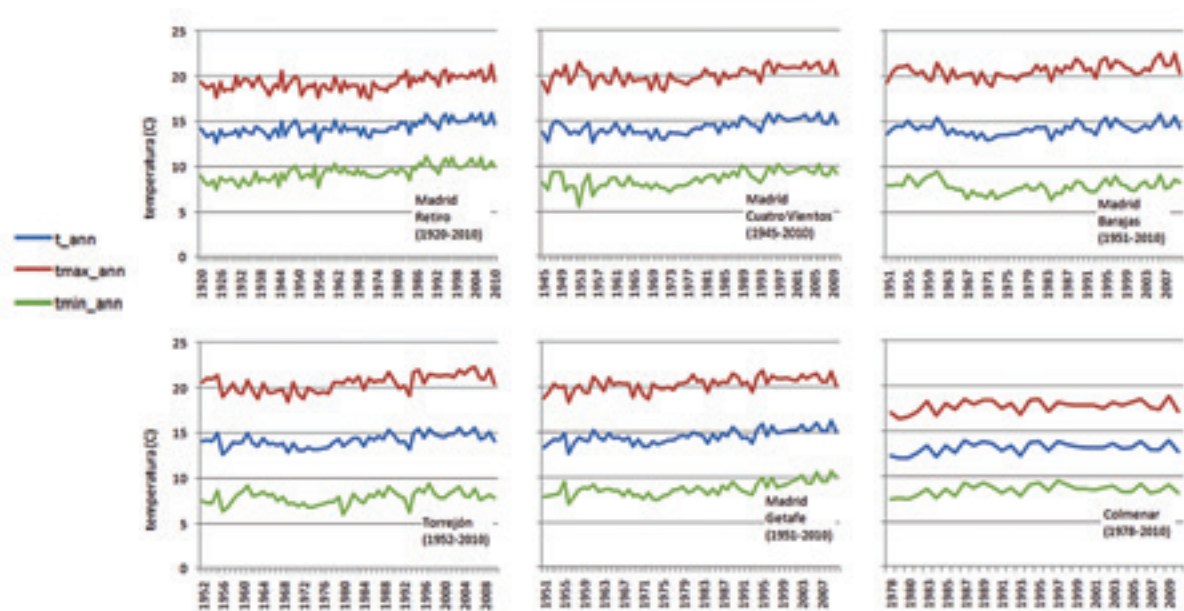


Figura 2.7: Serie de temperaturas medias anuales y media de las máximas y media de las mínimas en estaciones de la Comunidad de Madrid

2.3 Escenarios de clima futuro

COMPONENTES DE LOS ESCENARIOS

El clima futuro dependerá en parte de la concentración de gases de efecto invernadero que haya en la atmósfera, que está condicionada en lo fundamental por el crecimiento de la población, el uso de la tierra, el crecimiento económico y la tecnología energética que determina las emisiones causadas por las actividades humanas. El alcance y las posibilidades para el análisis científico que permiten los escenarios de cambio climático actuales se resumen en la Figura 2.8.

Figura 2.8:
*Componentes de un escenario
de cambio climático*



La incertidumbre de los escenarios futuros depende de tres grupos de supuestos: (1) condiciones sociales que determinan las emisiones, (2) supuestos físicos de los modelos de clima global que determinan el balance de energía del planeta, y (3) supuestos asumidos para regionalizar los resultados de los modelos globales (Stainforth et al., 2005). A continuación se describen estos componentes de la modelización mientras que los resultados de los modelos se presentan en el Capítulo 3.

EMISIONES DE GASES A LA ATMÓSFERA: LOS ESCENARIOS SOCIO-ECONÓMICOS

La estimación de la concentración futura de gases de efecto invernadero se basa en la asunción de supuestos coherentes sobre las distintas causas que determinan las emisiones, como son el crecimiento de la población, el desarrollo socioeconómico, los usos de la tierra, la tecnología energética y las políticas energéticas, económicas y medioambientales. Está claro que la incertidumbre derivada de estos supuestos es enorme (Forest et al. 2002). Desde hace más de

10 años se vienen definiendo una serie de escenarios de emisiones basados en principios de coherencia interna. En 1996 el IPCC desarrolló los denominados escenarios IS92, que contemplaban solamente una hipótesis de base para el clima futuro. En 2000 Nakicenovic et al. desarrollaron los denominados escenarios SRES en respuesta a las limitaciones de los escenarios IS92. Dentro del marco de los escenarios SRES se han desarrollado cuatro escenarios de base en los que se contemplan los cambios futuros en cuanto a la economía, la población, los gobiernos y la tecnología a nivel global. (IPCC, 2000), Si bien estos modelos han sido los más utilizados hasta el presente, en 2010 Moss et al. propusieron una nueva base para el cálculo de emisiones basada en condiciones socio-económicas que contemplan las posibilidades y los impactos de las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático.

MODELOS DE CLIMA GLOBAL

La predicción del sistema climático se realiza con modelos que lo simulan con mayor o menor precisión. A corto plazo, los modelos se parametrizan y ajustan a las condiciones actuales de partida. A más largo plazo, las predicciones no son del tiempo diario sino del clima, que es la estadística correspondiente a periodos de tiempo de gran longitud. En este caso las predicciones son mucho más complejas puesto que los modelos numéricos no se pueden ajustar con observaciones directas y requieren la incorporación de datos derivados de la composición química atmosférica.

El sistema climático es función de interacciones y retroalimentaciones de múltiples variables y, por tanto, para elaborar una predicción del clima es necesario utilizar modelos numéricos que incluyan, en la medida de lo posible, una descripción de los procesos que componen el sistema. Los resultados de las simulaciones dependen de la composición atmosférica, que está condicionada por el modelo de desarrollo imperante (que delimita las emisiones) y por los cambios en el uso de la tierra (determinan emisiones y sumideros de CO₂ potenciales como, por ejemplo, las masas forestales).

Actualmente se cuenta con redes de observación climática de alta calidad que aportan los datos de referencia para desarrollar modelos que permiten comprender los mecanismos de variaciones climáticas y predecir las condiciones futuras. Después de muchos años de investigación ya se conocen los mecanismos que gobiernan la física atmosférica, por lo que ha sido posible desarrollar modelos a escala global y regional. Los modelos de clima global (Global Climate Models, GCM) son formulaciones matemáticas que integran los procesos que componen el sistema climático: atmósfera, océano, criosfera, biosfera y geosfera. Los GCM simulan el clima resolviendo las ecuaciones fundamentales de las leyes físicas de conservación (de masa, momento y energía) que describen la redistribución de cantidad de movimiento, calor y vapor de agua que se produce a través de los movimientos atmosféricos. Los GCM constituyen hoy en día la herramienta más poderosa de experimentación meteorológica y climática.

MODELOS DE CLIMA REGIONAL

Los resultados de los modelos de clima global carecen de la resolución suficiente para establecer conclusiones detalladas a nivel regional. Una de las metodologías posibles para aumentar la resolución de los escenarios consiste en utilizar modelos de clima regional. En el Proyecto Europeo PRUDENCE² se han caracterizado una serie de escenarios de clima regional para Europa basados

² (<http://prudence.dmi.dk/>)

en un proceso de “downscaling”³ cuyos resultados se vienen usando desde 2008 en distintos proyectos de investigación y en los informes que emiten las instituciones públicas nacionales, como, por ejemplo, el PNACC español (MMA 2006).

Estos modelos aportan resultados concordantes en las variables atmosféricas básicas: temperatura, presión atmosférica, velocidad de viento, etc. Sin embargo, otras variables de interés para los recursos hídricos, como son la precipitación y la escorrentía, presentan más variación, lo que supone una mayor incertidumbre en las proyecciones. Esto es debido a que los fenómenos atmosféricos básicos se simulan mediante la integración del sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales que describen la evolución de la atmósfera, mientras que otros fenómenos se analizan mediante fórmulas parametrizadas, que tienen menor precisión. Conviene tener en cuenta esta circunstancia a la hora de valorar la fiabilidad de las proyecciones climáticas.

LOS ESCENARIOS FUTUROS GLOBALES Y REGIONALES

Para simular los efectos del incremento en gases que interfieren con el balance de energía (gases invernadero) en el clima, primero se calculan las variables climáticas con la concentración actual de gases de efecto invernadero y se comparan con las que les corresponderían al aumentar su concentración al nivel determinado por los escenarios de crecimiento social y económico. Las diferencias entre las estadísticas de ambas simulaciones (por ejemplo de la temperatura media y de la variabilidad interanual) permiten estimar el cambio climático correspondiente (Figura 2.9a-b).

Se han aplicado por lo menos una decena de modelos de clima global y los resultados apuntan hacia un calentamiento global del orden de 2°C a 5°C para el final del siglo XXI. Los resultados de las simulaciones también apuntan hacia un aumento de la precipitación global anual (5 a 25%), que es razonable puesto que la presión de vapor de saturación de agua aumenta con la temperatura, permitiendo que el aire caliente retenga más vapor de agua.

En Europa Meridional (35°N – 50°N; 10°W – 45°E) el aumento de la temperatura en la década del 2030 se prevé que sea de aproximadamente 2°C en invierno, y entre 2 y 3°C en verano. La precipitación aumentará en invierno, y disminuirá entre el 5 y el 15% en verano, lo que dará lugar a una disminución de la humedad del suelo en verano entre el 15 y el 25%. Las cifras estimadas varían entre el 30% en menos (en el caso de la estimación mínima) y el 50% en más (en el de la estimación máxima). Todos los modelos proyectan un incremento de la variabilidad diaria y estacional del tiempo atmosférico, y en la región Mediterránea esto se traducirá en un aumento de la frecuencia de sequías y un incremento en la evapotranspiración.

3 El “downscaling” se refiere al proceso mediante el cual se busca obtener datos de una resolución mayor (es decir más local) que la que proveen los modelos globales. Este proceso se puede desarrollar mediante dos métodos, el primero estadístico y el segundo empírico (IPCC 2007).

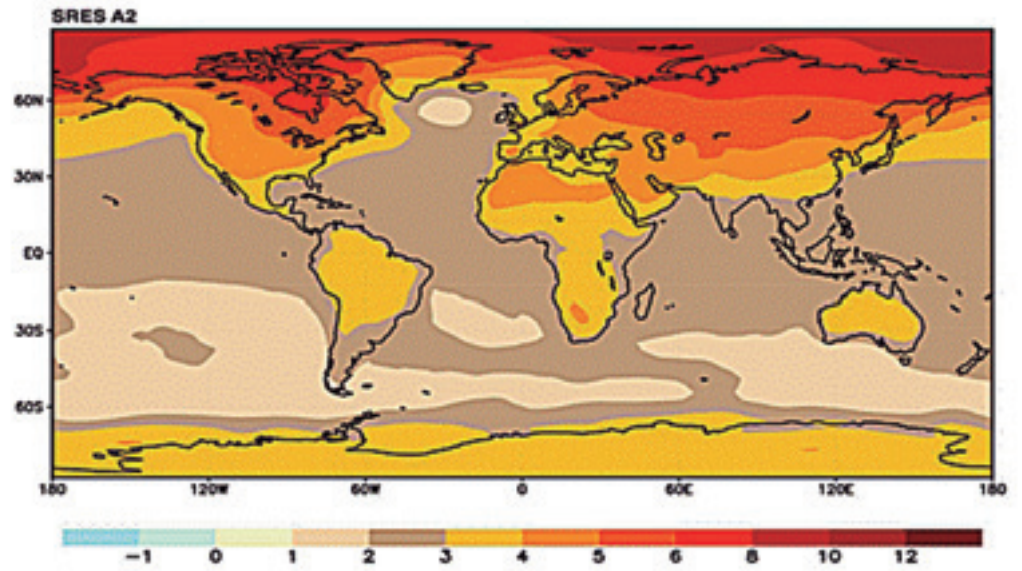


Figura 2.9a: Cambios en temperatura media anual para el periodo 2071-2100 con relación al periodo 1961-1990 simulados con el modelo de clima global HadCM3 y el escenario de emisiones de gases temperatura media anual y precipitación anual para el periodo 2071-2100 con relación al periodo 1961-1990 simulados A2. Fuente: IPCC

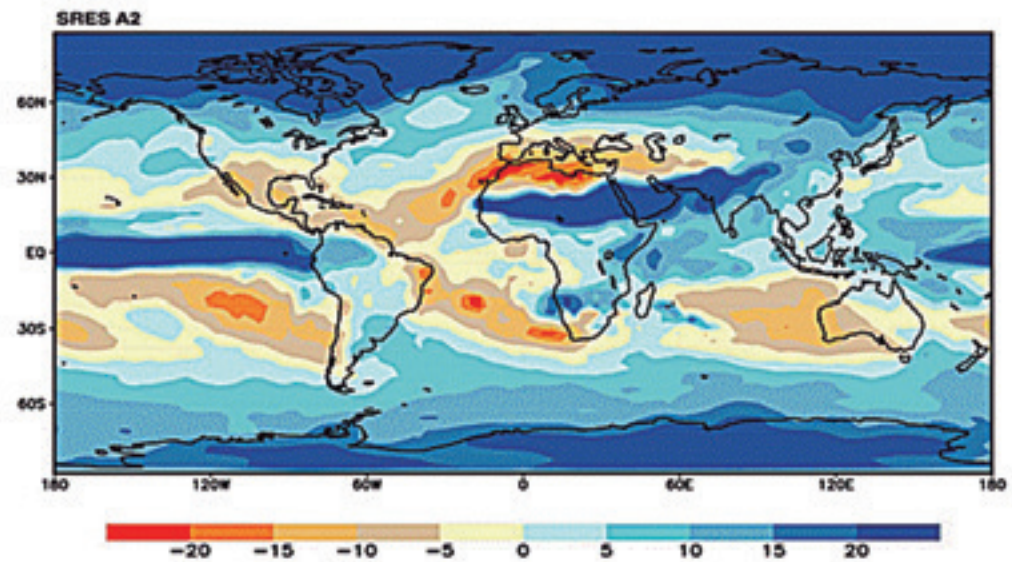


Figura 2.9b: Cambios en precipitación anual para el periodo 2071-2100 con relación al periodo 1961-1990 simulados con el modelo de clima global HadCM3 y el escenario de emisiones de gases temperatura media anual y precipitación anual para el periodo 2071-2100 con relación al periodo 1961-1990 simulados A2. Fuente: IPCC

El proyecto PESETA (Ciscar et al., 2009) del Joint Research Center de la Unión Europea (<http://peseta.jrc.es/index.htm>) utiliza los resultados del PRUDENCE para analizar los impactos económicos del cambio climático en los ámbitos de la salud, la agricultura, y el turismo, con especial atención a los efectos de las inundaciones y los impactos sobre las regiones costeras. La Tabla

2.1 muestra las especificaciones de los modelos regionales. En la Figura 2.10 están reflejados gráficamente los resultados para Europa que denotan, para la zona Mediterránea en general y la Península Ibérica en particular, incrementos en la temperatura y reducciones en la precipitación, prácticamente generalizados para el año 2080.

ESCENARIO	ESCENARIO SOCIO ECONÓMICO	MODELO DE CLIMA GLOBAL (GCM)	MODELO DE CLIMA REGIONAL (RCM)	PERIODO	VALOR MEDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE CO ₂ (PPMV)	CAMBIO EN TEMPERATURA MEDIA EN EUROPA (° C)
1	A2	HadCM3	DMI/HIRHAM	2071-2100	709	3.1
2	B2	HadCM3	DMI/HIRHAM	2071-2100	561	2.7
3	A2	ECHAM4/OPYC3	SMHI/RCA3	2071-2100	709	3.9
4	B2	ECHAM4/OPYC3	SMHI/RCA3	2071-2100	561	3.3
5	A2	ECHAM4/OPYC3	SMHI/RCA3	2011-2040	424	1.9

Tabla 2.1: Resumen de los escenarios de cambio climático en Europa. (Fuente: Iglesias et al, 2009)

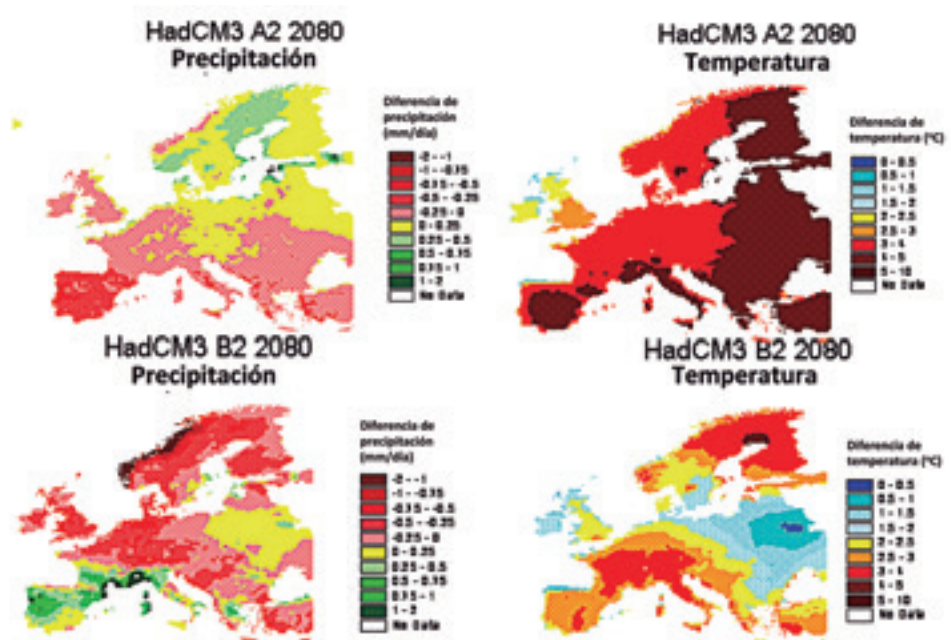


Figura 2.10: Cambios en temperatura media anual y precipitación anual para el periodo 2071-2100 con relación al periodo 1961-1990 simulados con el modelo de clima regional DMI/HIRHAM dentro del modelo de clima global HadCM3 y los escenarios de emisiones de gases A2 y B2

Además de los cambios en las temperaturas y precipitaciones medias, también se prevén modificaciones sustanciales en la distribución, intensidad y frecuencia de los fenómenos extremos, tales como olas de calor o sequías (Luterbacher et al., 2004), que son mucho más difíciles de predecir. En la actualidad, se está realizando un gran esfuerzo para comprender los procesos que los caracterizan y su desarrollo, puesto que puede resultar más difícil adaptarse a extremos que

a cambios en las medias. Los proyectos ENSEMBLES y CIRCE analizan los fenómenos extremos con gran detalle (ENSEMBLES 2008; CIRCE 2009). En el caso de ENSEMBLES se ha desarrollado un sistema de predicción del cambio climático que pretende reducir la incertidumbre en la representación de los sistemas naturales. Por su parte, con CIRCE se ha llevado a cabo un análisis profundo de los impactos del cambio climático en la región mediterránea, con especial atención a los impactos socio-económicos. Este tipo de proyecto es de especial relevancia no solo a nivel regional europeo, sino también para escalas más pequeñas donde se aporta información de alta calidad que es de gran utilidad a la hora de cuantificar los impactos del cambio climático.

2.4 Acciones ante el cambio climático: mitigación y adaptación

Existen dos tipos de intervenciones políticas frente al cambio climático: control de las emisiones de gases de efecto invernadero (mitigación) y ajustes a las consecuencias del cambio (adaptación). El Protocolo de Kioto de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC 1992) impone reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero a los países que lo ratifican, estableciendo una clara diferencia entre mitigación (reducción de las emisiones o incremento del secuestro de carbono, por ejemplo con el incremento de las masas forestales) y adaptación (medidas para reducir los impactos, riesgo de daños y la vulnerabilidad al cambio climático). Está claro que cualquier acción de adaptación al cambio climático no puede resultar en un aumento de gases de efecto invernadero, por tanto las acciones de adaptación tienen que tener en cuenta también el potencial de mitigación.

LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los esfuerzos para la mitigación del cambio climático han focalizado la atención internacional, especialmente a partir de la firma del Protocolo de Kioto en 1997. El reto se afronta mediante un conjunto de cambios fundamentales en los modos en los que la sociedad produce y consume energía: desde los procedimientos para obtener y producir energía hasta los patrones que se adoptan para la ocupación del territorio y los sistemas de transporte. El Protocolo de Kioto establece un compromiso de reducción de las emisiones de gases efecto invernadero, que se ha complementado mediante un sistema de comercio de derechos de emisión que pretende facilitar el cumplimiento de las obligaciones de cada país. Actualmente 128 países se han suscrito el Protocolo, que propone reducir un 5% el nivel de emisiones de 1990 entre los años 2008 y 2012. En el contexto del Protocolo se han creado tres mecanismos de flexibilización para facilitar la reducción de emisiones a nivel global:

- 1) El comercio de emisiones: Bajo este mecanismo los países suscritos al Protocolo dividen las emisiones permitidas en unidades de cantidades asignadas (AAU por su sigla en inglés). Aquellos países que no utilizan todas las unidades de emisión pueden vender esta capacidad de emisión extra a los países que ya han alcanzado su límite. Estas unidades de emisiones suelen ser de dióxido de carbono.
- 2) Un mecanismo de desarrollo limpio: Este mecanismo incentiva a los países incluidos en el Anexo 1 del Protocolo a promover proyectos de reducción de emisiones en los países con economías en transición ya que pueden recibir créditos de reducción de emisiones

equivalentes a una tonelada de CO₂. Estos créditos ayudan a alcanzar los objetivos de emisiones de los países con más emisiones.

3) La aplicación conjunta: En este caso el mecanismo facilita la implementación de proyectos de reducción de emisiones entre los países suscritos al protocolo. Estos proyectos son canjeables por unidades de reducción de emisiones equivalente a una tonelada de CO₂.



La UE puso en marcha el Programa Europeo sobre Cambio Climático en el año 2000 que prioriza la adaptación y la mitigación, al centrarse en la promoción de energías renovables y la reducción de emisiones. España elaboró su Estrategia Española de Cambio Climático y Medio Ambiente Limpio en 2007, fundamentalmente centrada en la reducción de emisiones y en la producción de energía limpia. La Comunidad Madrid asoció su estrategia de lucha contra el cambio climático a la calidad del aire (Plan Azul, 2006), ya que se basa fundamentalmente en el control de emisiones; igual aproximación tiene el Ayuntamiento de la capital que dispone de una estrategia local de calidad del aire entre 2006 y 2010 (Ayuntamiento de Madrid, 2006), y que tendrá continuidad con el Plan de Calidad del Aire de la ciudad de Madrid, actualmente en elaboración. En conjunto, las iniciativas públicas de lucha contra el cambio climático se han centrado en una fase inicial en el control de emisiones.

LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Hasta muy recientemente, las negociaciones realizadas en el marco de la Convención Marco sobre el Cambio Climático (UNFCCC es su acrónimo en inglés) se han basado fundamentalmente en la mitigación, pero ahora está claro que los objetivos de sostenibilidad futura tienen que incluir también políticas de adaptación.

La adaptación al cambio climático puede entenderse en dos niveles, el individual o privado y el colectivo o público. La adaptación individual o privada se refiere a la capacidad de personas o empresas para responder al cambio climático como agentes individuales, por lo que es poco probable que este tipo de adaptación sea óptima, debido a la falta de información o a condicionamientos financieros y a la incertidumbre producida por la dificultad de conseguir datos agregados a diferentes escalas espaciales. La acción coordinada por los poderes públicos ofrece ventajas económicas, ambientales y sociales porque tiene la capacidad de anticipar los impactos potenciales y puede establecer estrategias que reduzcan sus efectos.

En principio, la adaptación estaba contemplada como acción prioritaria al comienzo de la UNFCCC. Todos los países se comprometieron a implantar medidas nacionales de adaptación al cambio climático y a cooperar para prepararse frente a los impactos del cambio climático. Sin embargo, el esfuerzo internacional de adaptación sigue siendo irregular, sin una estrategia global (Burton et al., 2006). En la primera conferencia de las Partes, en Berlín en el año 1995, se estableció un proceso en fases para la adaptación al cambio climático; en la Fase I, prevista a corto plazo, se identificarían los sectores y países más vulnerables y seleccionarían las opciones de adaptación. Durante la Fase II se pondrían en marcha medidas orientadas a la preparación de la adaptación mediante capacitación, y en la Fase III se implementarían dichas medidas, contempladas en un horizonte de largo plazo (30 años).

Hasta ahora, las acciones de adaptación se han centrado en las Fases I y II debido, entre otras cuestiones, a la gran incertidumbre que existe en las proyecciones climáticas, que impiden concretar las medidas más allá de la preparación genérica frente a posibles problemas. Sin embargo, hay consenso sobre la importancia de comprender y cuantificar las respuestas al cambio climático puesto que son la base de las consecuencias para la sociedad. En el informe Stern (Stern et al. 2006) se argumenta que a finales del siglo XXI, el coste económico total que supondrá el cambio climático puede representar la pérdida de un 5% del producto interior bruto (PIB) potencial global. A pesar de que estos resultados han sido cuestionados por muchos economistas con experiencia en cambio climático (Tol 2006), en la medida en que ignoran y contradicen numerosos resultados (Fankhauser y Tol 2005; Quiroga e Iglesias 2007), el análisis de Stern contribuye a impulsar un diálogo público sobre el coste que la sociedad está dispuesta a asumir y pone en evidencia los peligros potenciales que suponen una falta de adaptación al cambio climático.



3 Impactos del cambio climático en los recursos hídricos

El agua es uno de los medios principales a través de los cuales el clima influye sobre los ecosistemas naturales y sobre las organizaciones sociales. Los recursos hídricos y la forma en que son gestionados afectan prácticamente a todos los aspectos de la sociedad y la economía, en particular a los ecosistemas, la salud, la producción de comida, la garantía del suministro de agua potable, el saneamiento, la energía y la industria. De hecho, uno de los pilares de la adaptación al cambio climático es la mejora en la gestión de los recursos hídricos. Si se reconoce este hecho y se responde adecuadamente, se aprovecharán las grandes oportunidades de mejora social que ofrece el reto del cambio climático. Así como se espera que las medidas de mitigación supongan un cambio revolucionario en el modelo energético mundial, es igualmente posible que la adaptación suponga un cambio similar en el modo en que se gestionan y consumen recursos naturales, aunque el agua presenta diferencias notables con la energía, fundamentalmente por el alto coste que supone su transporte. Las medidas de adaptación en recursos hídricos deben establecerse sobre las buenas prácticas ya conocidas de manejo de ecosistemas y recursos naturales y sobre tecnologías innovadoras de gestión de recursos hídricos, siempre cuidando los efectos adversos sobre la naturaleza, la salud, la economía o el bienestar social.

3.1 Los recursos hídricos en España

Los recursos naturales de los ríos y acuíferos españoles han sido objeto de numerosos estudios (CEH, 1980, Martín Mendiluce, 1996, López Camacho, 1996, MMA, 2000). Aunque realizados en distintas épocas y con metodologías diferentes, todos ellos arrojan resultados bastante similares. Como referencia, se presentan los datos recogidos en el Libro Blanco del Agua (MMA 2000), resumidos en la Tabla 3.1. La precipitación media anual en España es de 684 mm/año, lo que equivale a 346 km³/año. La escorrentía media anual de las corrientes superficiales de la Península es de unos 110 km³/año (unos 220 mm/año), con una acusada irregularidad espacial y temporal. La relación entre la escorrentía anual de la cuenca más húmeda (Norte III, 933 mm/año) y la más seca (Segura, 42 mm/año) es de 22 a 1 en escorrentía total y de 5 a 1 en coeficiente de escorrentía. La máxima demanda continua que se podría atender en régimen natural es de unos 9 km³/año, el 8 % de la media, frente a un 40% de media en Europa. Descontando las necesidades de abastecimiento de la población (unos 4 km³/año), los 5 km³/año restantes únicamente permitirían la puesta en riego con la debida garantía de unas 600.000 has, algo más de la mitad de las existentes en España al comienzo del siglo XX. Por este motivo, la utilización de recursos hídricos en España ha exigido el establecimiento de una potente Administración Hidráulica y una fuerte inversión en infraestructuras de regulación y transporte de agua. La satisfacción de los usos actuales, de unos 39 km³/año, se logra por medio de una capacidad de embalse de 56 km³ (el 51 % de la escorrentía anual total), 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, como la reutilización de aguas residuales y la desalación de agua de mar, y la aplicación de complejas

normas de gestión. Todo ello ha originado una profunda alteración del régimen hidrológico y las condiciones físico-químicas de los ríos españoles, con fuertes impactos sobre los ecosistemas acuáticos.

ÁMBITO	PRECIPITACIÓN NATURAL (hm ³ /año)	ESCORRENTÍA NATURAL (hm ³ /año)	DISPONIBILIDAD NATURAL (hm ³)	CAPACIDAD DE EMBALSE (hm ³)	REGULADO EN EMBALSES (hm ³ /año)	EXPLOTACIÓN ACUÍFEROS (hm ³ /año)	REUTILIZACIÓN Y DESALACIÓN (hm ³ /año)
Norte	76.839	44.157	3.119	4.409	7.383	52	
Duero	49.350	13.660	892	7.667	6.095	371	
Tajo	36.556	10.883	605	11.135	5.845	164	
Guadiana	32.361	5.475	41	9.619	2.150	814	5
Guadalquivir	37.375	8.601	132	8.867	2.819	507	12
Sur	9.514	2.351	16	1.319	359	420	39
Segura	7.323	803	225	1.223	626	478	56
Júcar	21.622	3.432	924	3.349	2.095	1.425	83
Ebro	58.352	17.967	2.795	7.702	11.012	198	6
C.I. Cataluña	12.104	2.787	177	772	791	424	6
Total Península	341.368	110.116	8.926	56.063	39.175	4.853	207
Baleares	2.981	661				284	32
Canarias	2.247	409				395	88
Total España	346.425	111.186				5.532	327

Tabla 3.1: Disponibilidades hídricas en España según el Libro Blanco del Agua (MMA 2000)



Figura 3.1: Demarcaciones Hidrográficas de España, según el Sistema de Información del Agua (SIA). Fuente: MARM 2011

Es de destacar que después de casi un siglo de desarrollo de infraestructura hidráulica, con más de 1.100 presas y miles de pozos, se ha conseguido llegar al aprovechamiento del 40 % de los recursos; esto es, igualar la proporción que como media se obtiene en el resto de Europa con los recursos en régimen natural. La distribución de usos en demandas consuntivas según el Libro Blanco del Agua (MMA 2000) se presenta en la Tabla 3.2. Los riegos utilizan el 68 % del total, los abastecimientos urbanos e industriales un 18 %, y la refrigeración de centrales térmicas un 14 %. En muchos casos, los recursos se utilizan varias veces, aprovechando los retornos de usos anteriores. En conjunto, el agua efectivamente consumida en los distintos usos es algo menos del 60% de la demandada, a lo que deben añadirse los usos no consuntivos: medioambientales, recreativos, energéticos, navegación, etc. Por ejemplo, los aprovechamientos hidroeléctricos turbinan prácticamente la totalidad de las aportaciones de los grandes ríos, y en muchas ocasiones repetidas veces mediante aprovechamientos encadenados.

ÁMBITO	URBANA (hm ³ /a)	INDUSTRIAL (hm ³ /a)	REGADÍO (hm ³ /a)	REFRIGERACIÓN (hm ³ /a)	TOTAL (hm ³ /a)	CONSUMO (hm ³ /a)	RETORNO (hm ³ /a)
Norte	770	580	1.064	97	2.511	1.125	1.386
Duero	214	10	3.603	33	3.680	2.929	931
Tajo	768	25	1.875	1.397	4.065	1.728	2.337
Guadiana	157	84	2.285	5	2.531	1.877	654
Guadalquivir	532	88	3.140	0	3.760	2.636	1.124
Sur	248	32	1.070	0	1.350	912	438
Segura	172	23	1.639	0	1.834	1.350	484
Júcar	563	80	2.284	35	2.962	1.958	1.004
Ebro	313	415	6.310	3.340	10.378	5.361	5.017
C.I. Cataluña	682	296	371	8	1.357	493	864
Total Península	4.419	1.633	23.641	4.915	34.608	20.369	14.239
Baleares	95	4	189	0	288	171	117
Canarias	153	10	264	0	427	244	183
Total España	4.667	1.647	24.094	4.915	35.323	20.783	14.539

Tabla 3.2: Demandas hídricas en España según el Libro Blanco del Agua (MMA 2000)

Según el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, el coste total de los servicios de agua en España se estima en 6.330 millones de Euros al año (2002), lo que equivale a un 0,9% del PIB. La mayor parte (66% del total) corresponde a los servicios de agua urbanos (distribución urbana y saneamiento). La distribución del agua para riego supone un 20% del total y el suministro de agua “en alta” (extracción de aguas subterráneas, captación de aguas superficiales y transporte) supone un 15% del total. La fuente de suministro de agua más económica en España son las aguas superficiales, con un coste medio alrededor de 0,02 €/m³. Las aguas subterráneas tienden a ser algo más costosas, con un coste medio de 0,12 €/m³, y las aguas desaladas presentan un coste medio estimado de 0,50 €/m³.

Los servicios de agua en España se ofrecen a los usuarios a un precio relativamente barato, comparado con el contexto europeo. De acuerdo con la

Asociación Española de Empresas de Abastecimiento y Saneamiento (AEAS, 2010) el precio medio del agua para uso urbano en los municipios que participaron en la encuesta de 2009 se situó en 1,50 €/m³, variando desde los 0,69 €/m³ en la provincia de Lugo hasta los 2,66 €/m³ en las Islas Baleares. En total, los ingresos por la prestación de los servicios urbanos del agua ascendieron a unos 3.390 M€ en 2002. El importe medio de los pagos por los servicios del agua urbana se ha cifrado en 102 €/h.año, equivalente a algo menos de un 1% del gasto de los hogares. En cuanto a los servicios de agua para riego, se cifra en 263 €/ha.año en el año 2002. Esto equivale como media a un 15% de los márgenes netos de los regantes y un 18% de los costes medios ponderados de los diferentes cultivos. En el caso del agua para riego, la dispersión de costes de unas zonas regables a otras es enorme (MARM 2011, Sistema de Información del Agua).

3.2 Los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid

La Comunidad de Madrid está integrada en el sistema de gestión de recursos hídricos del curso alto del río Tajo, denominado por la oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Tajo como *Macrosistema*, integrado por cuencas interconectadas que atienden en conjunto a múltiples demandas, entre las que destaca la demanda de abastecimiento del Canal de Isabel II. Las cuencas que componen el *Macrosistema* son las siguientes:

- La cuenca del curso principal del río Tajo desde su cabecera hasta el embalse de Azután. Se considera dividida en dos partes: la cuenca vertiente a los embalses de Entrepeñas y Buendía y la cuenca propia del río Tajo, por su margen izquierda, desde la presa de Bolarque hasta Azután. La red hidrográfica incluye, además del propio río Tajo, los ríos Guadiela, Martín Román, Algodor, Guajaraz, Torcón, Pusa y Gévalo.
- La cuenca del río Tajuña, desde su cabecera hasta su confluencia con el río Jarama, al que alcanza por su margen izquierda. La cuenca tiene forma alargada con eje el propio río Tajuña y una superficie de 2.600 km².
- La cuenca del río Henares, desde su cabecera hasta su confluencia con el río Jarama, al que alcanza por su margen izquierda. La forma de la cuenca es típicamente triangular con una superficie de 4.150 km² y una pendiente media del orden del 1,25%. Además del río Henares destacan sus afluentes Cañamares, Bornova y Sorbe, todos ellos por su margen derecha.
- La cuenca del río Jarama, con una superficie total de 4.802 km², sin contar las cuencas del Henares y Tajuña ya mencionados, entre cuyos afluentes más importantes se encuentran el Lozoya, Guadalix y Manzanares, y que confluye en el Tajo aguas abajo de Aranjuez.
- La cuenca del Guadarrama con una superficie total de 1.709 km², que discurre de norte a sur casi perpendicular a la cuenca del Tajo y que confluye con éste aguas abajo de Toledo.
- La cuenca completa del río Alberche, desde su cabecera hasta su confluencia con el río Tajo, 10 km aguas arriba de Talavera de la Reina. En planta la cuenca tiene una forma característica que recuerda una hoz y tiene una superficie de 3.993 km². La red



La Tabla 3.3, tomada del Plan Especial de Alerta y Eventual Sequía en la Cuenca Hidrográfica del Tajo, presenta los valores medios anuales de las principales variables hidrológicas en las cuencas de la cabecera del Tajo

ZONA	PRECIPITACIÓN (mm)	ETP (mm)	APORTACIÓN (hm ³)
Cabecera del Tajo	649,34	632,57	1.191
Tajo intermedio	470,27	753,40	118
Tajuña	534,72	679,47	132
Henares	584,38	675,79	518
Jarama-Manzanares	639,96	688,43	992
Guadarrama	531,39	738,45	162
Alberche	667,99	757,68	823

Tabla 3.3: Variables hidrológicas en las cuencas del Macrosistema

Estos recursos se aprovechan mediante un complejo sistema de regulación integrado por numerosos embalses, cuyas características más destacadas de los principales están indicadas en la Tabla 3.4.

La capacidad de regulación de estas cuencas se estudió con ocasión de la redacción del Libro Blanco del Agua. Para ello se utilizó la configuración del sistema de explotación con la regulación disponible y se consideraron dos distribuciones de demanda: una continua con garantía del 100%, y otra variable,

con el criterio de garantía de déficit anuales acumulados del 50, 75 y 100% de la demanda anual para 1, 2 y 10 años, respectivamente. Los resultados obtenidos en puntos significativos de las cuencas del abastecimiento de Madrid se presentan en la Tabla 3.5, mientras que la Figura 3.2 refleja gráficamente la capacidad de regulación en todos los puntos analizados en la cuenca del Tajo hasta el Alberche.

EMBALSE	RÍO	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	VOLUMEN DE EMBALSE (hm ³)	DESTINO
Entrepeñas	Tajo	1956	835	Riegos/Hidroeléctrico
Buendía	Guadiela	1958	1.639	Riegos/Hidroeléctrico
Bolarque	Tajo	1910	31	Riegos/Hidroeléctrico
La Tajera	Tajuña	1994	64	Riegos
Pálmaces	Cañamares	1954	31	Riegos
El Atance	Salado	1997	35	Riegos
Alcorlo	Bornova	1978	180	Riegos
Pozo de los Ramos	Sorbe	1976	1,12	Abastecimiento
Beleña	Sorbe	1982	53	Abastecimiento/Riegos
Pinilla	Lozoya	1967	38	Abastecimiento/Energía
Riosequillo	Lozoya	1958	50	Abastecimiento/Energía
Puentes Viejas	Lozoya	1939	53	Abastecimiento/Energía
El Villar	Lozoya	1879	22	Abastecimiento/Energía
El Atazar	Lozoya	1972	425	Abastecimiento/Energía
El Vado	Jarama	1960	55	Abastecimiento
Pedrezuela	Guadalix	1968	41	Abastecimiento
Navacerrada	Samburiel	1969	11	Abastecimiento
Manzanares el Real	Manzanares	1971	91	Abastecimiento/Energía
El Pardo	Manzanares	1970	43	Regulación
Navalmedio	Navalmedio	1969	0,71	Abastecimiento
La Jarosa	La Jarosa	1969	7	Abastecimiento
Valmayor	Aulencia	1976	124	Abastecimiento
La Aceña	Aceña	1991	23	Abastecimiento
Finisterre	Algodor	1977	133	Regulación
El Castro	Algodor	1974	8	Regulación
Guajaraz	Guajaraz	1971	18	Abastecimiento
Castrejón	Tajo	1967	41	Riegos/Energ. Eléctrica
El Torcón	Torcón	1948	7	Abastecimiento
Burguillo	Alberche	1913	197,67	Riegos/Hidroeléctrico
Charco del Cura	Alberche	1931	3	Riegos/Hidroeléctrico
San Juan	Alberche	1955	137,8	Abastec./Riegos/Hid.
Picadas	Alberche	1952	15	Abastec./Riegos/Hid.
Cazalegas	Alberche	1949	7	Riegos
Los Morales	Los Morales	1988	2,34	Abastecimiento
Azután	Tajo	1969	113	Riegos/Hidroeléctrico

Tabla 3.4: Principales embalses del Macrosistema

La capacidad global de regulación de la cuenca del Tajo hasta el río Alberche es del 75% de la aportación media, si se considera una demanda con distribución continua, y el 60% de la aportación media, si se considera una demanda variable. Si no existiera regulación, estos valores descenderían hasta el 25,5% y 7,2%, respectivamente. En las cuencas propias del abastecimiento de Madrid la disponibilidad obtenida para una demanda continua es de unos 585 hm³/año, próxima a la cifra que anualmente se destina al abastecimiento procedente de estos sistemas, lo que indica que el sistema se explota cerca de su límite de capacidad, aunque la explotación conjunta de todas las cuencas, junto con los recursos subterráneos y los procedentes de cuencas vecinas hace que la disponibilidad real sea sustancialmente mayor.

EMPLAZAMIENTO	APORTACIÓN MEDIA (hm ³ /año)	VOLUMEN DE EMBALSE (hm ³)	RECURSO DISPONIBLE SIN REGULACIÓN (hm ³ /año)		VOLUMEN DE EMBALSE (% Aportación)	RECURSO DISPONIBLE CON REGULACIÓN (% Aportación)	
			DEMANDA CONTINUA	DEMANDA VARIABLE		DEMANDA CONTINUA	DEMANDA VARIABLE
Manzanares en E. Manzanares el Real	94,69	96,0	65,5	57,2	101,4	69,1	6,4
Navacerrada en E. Navacerrada	12,83	10,0	8,3	7,6	77,9	64,8	59,0
Lozoya en E. Atazar	376,10	404,0	332,0	318,8	107,4	88,3	84,8
Jarosa en E. Jarosa	7,22	7,0	5,7	4,7	97,0	78,9	64,4
Jarama en E. El Vado	158,97	53,0	93,8	66,8	33,3	59,0	42,0
Guadalix en E. Pedrezuela	56,20	39,0	30,5	26,0	39,0	30,5	26,0
Aulencia en E. Valmayor	26,52	118,0	26,3	26,0	444,9	99,2	98,0
Total abastecimiento Madrid	977,40	734,0	584,8	514,9	75,1	59,8	52,7

Tabla 3.5: Disponibilidad de agua regulada en diversos puntos del sistema de abastecimiento a Madrid

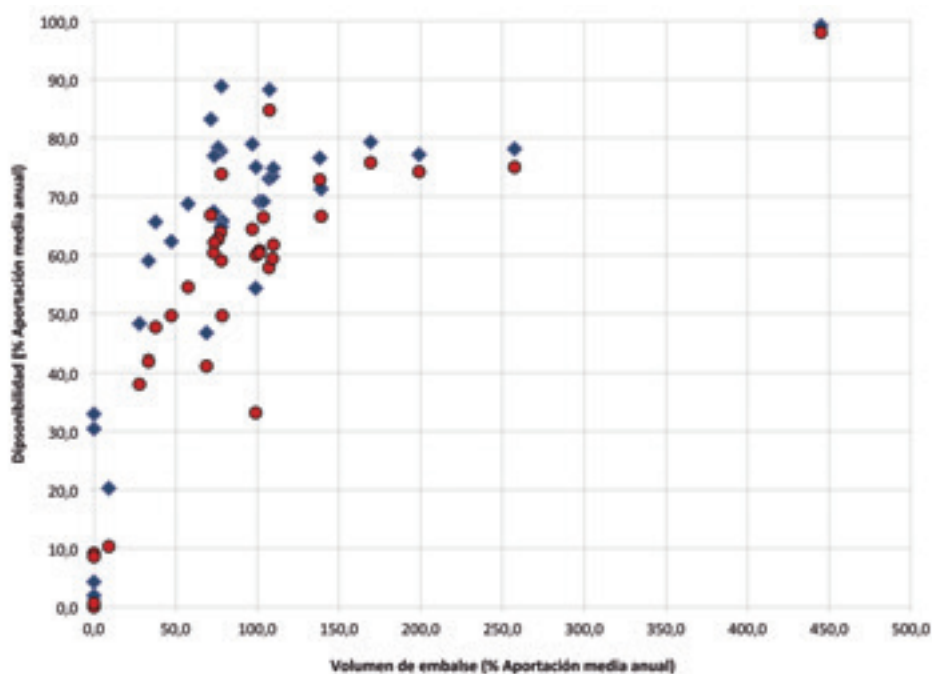


Figura 3.2: Capacidad de regulación en diversos puntos de la cuenca del río Tajo hasta el Alberche

Por lo que se refiere a los recursos subterráneos, destacan los dos acuíferos de la parte central de la cuenca (acuífero cretácico carbonatado y acuífero terciario detrítico). El primero ocupa las cuencas del Henares, principalmente, y parte de las del Jarama y Manzanares, y el segundo, ocupa las del Jarama-Manzanares, Guadarrama, Alberche y Margen Izquierda del Tajo. Drena sus recursos de 311 hm³ a los ríos Alberche, Guadarrama, Henares, Jarama, Manzanares y Tajo. En la cuenca del Henares, que hasta aguas arriba de Guadalajara es efluente, el Bornova es claramente influente. En la cuenca del Jarama-Manzanares los ríos se comportan como efluentes. El Guadarrama, que se comporta como efluente hasta la altura de Boadilla, sufre un aumento de caudal medio de 40 l/s; desde aquí hasta las proximidades de Batres se hace influente, cediendo 50 l/s al terciario; luego vuelve a ser efluente hasta Camarenilla con aumentos de 170 l/s e influente hasta la carretera de Toledo a Torrijos con disminución de 110 l/s.

La explotación del acuífero terciario detrítico de Madrid (ATDM) se produce sólo en situaciones de escasez de recursos superficiales, puesto que se gestiona como recurso estratégico. Los pozos del acuífero calcáreo se activan cuando los caudales circulantes por el Jarama son superiores a un mínimo establecido para el mantenimiento y conservación de los ecosistemas fluviales asociados. El Canal de Isabel II explota estos acuíferos desde 9 zonas de extracción diferenciadas que permiten incorporar el recurso subterráneo a la red general desde otros 9 puntos de entrega diferentes.

La demanda total de agua en la cuenca del Tajo según el Plan Hidrológico vigente, es de 4.643 hm³/año, distribuida por usos en 851 hm³/año para la demanda urbana e industrial (19%), 1.785 hm³/año para la agrícola (39%), 765 hm³/año para la medioambiental (17%) y 1.173 hm³/año para refrigeración (25%).

La demanda en la Comunidad de Madrid es principalmente de abastecimiento urbano, y está gestionada por el Canal de Isabel II, que gestiona el abastecimiento de agua a una población de más seis millones de habitantes de 175 municipios (hay otros abastecimientos independientes que comparten este mismo ámbito geográfico). El Canal de Isabel II también gestiona la mayor parte de las depuradoras de la Comunidad de Madrid, exceptuando algunas industrias y urbanizaciones que tienen sistemas propios. El total de demanda urbana abastecida por el CYII en 2005 fue de 610,10 hm³, de los cuales 323 hm³/año se destinaron al abastecimiento urbano del municipio de Madrid (un 52,9%). La demanda urbana se desglosa en un 70% destinada a consumo de población, un 24% para uso industrial que consume agua de redes municipales y un 6% destinado a uso municipal. En cuanto a las pérdidas totales se han estimado en el 8%.

En la Tabla 3.6 con la evolución del agua facturada entre el año 2000 y el año 2004. Es de resaltar que en ese periodo la población creció en la ciudad de Madrid un 9,7% y un 11,5% en la Comunidad, mientras que el consumo en el municipio sólo lo hizo en un 1,8%, gracias a que la dotación se redujo un 7,2%, como consecuencia de las mejoras técnicas en la infraestructura de aducción y distribución y de las campañas de concienciación ciudadana durante episodios de sequía.

	CONSUMO CAM (hm ³ /a)	POBLACIÓN CAM (hab)	DOTACIÓN CAM (l/hab.día)	CONSUMO MADRID (hm ³ /a)	POBLACIÓN MADRID (hab)	DOTACIÓN MADRID (l/hab.día)
2000	428,5	5.205.408	225.53	242,26	2.882.860	230.23
2001	446,6	5.372.433	227.75	248,02	2.957.058	229.79
2002	457,6	5.527.152	226.83	251,00	3.016.788	227.95
2003	466,6	5.718.942	223.53	253,12	3.092.759	224.23
2004	463,6	5.804.829	218.81	246,64	3.162.304	213.68

Tabla 3.6: Evolución del consumo facturado 2000-2004 en el municipio y la Comunidad de Madrid. Fuente: Plan de Gestión de la Demanda de Agua

El Canal de Isabel II oferta el agua a la Comunidad de Madrid a un precio muy inferior del de otras ciudades europeas, con menos dificultades para su captación y regulación. En el estudio realizado por la International Water Association IWA con datos de 2007, recogido por (AEAS, 2010) se comprueba que el precio medio en Madrid está entre los más bajos de los de las ciudades analizadas en Europa (Figura 3.3).

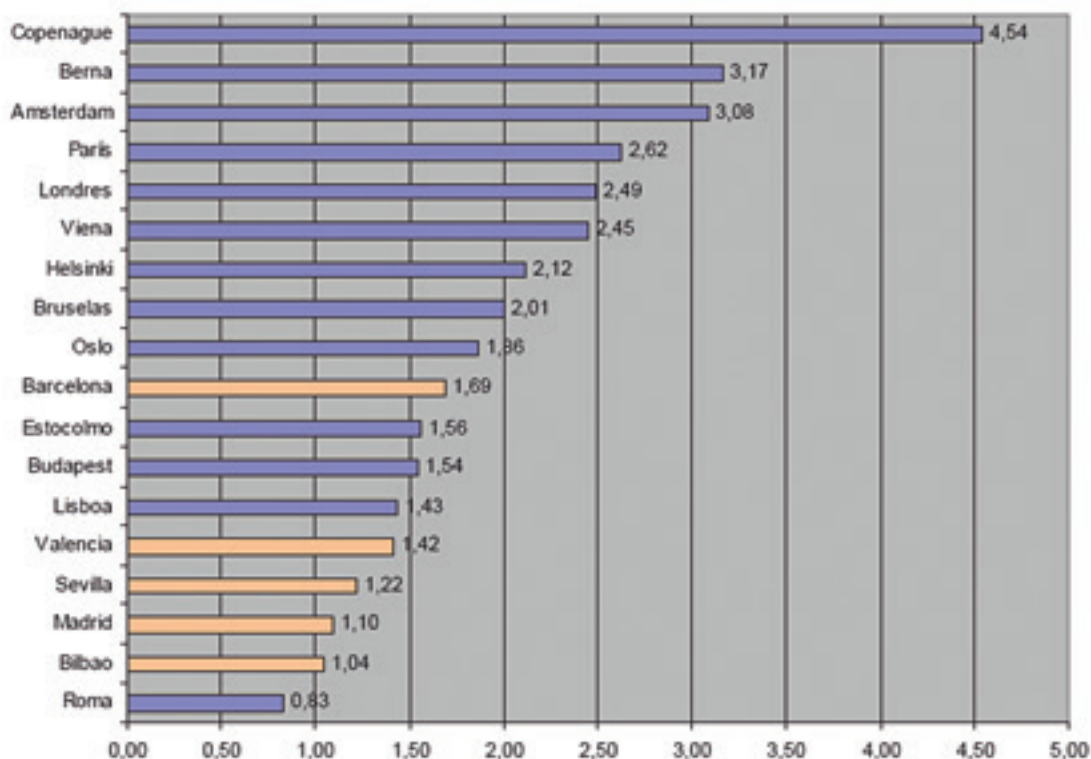


Figura 3.3: Coste de los servicios de agua en distintas capitales europeas. Tomado de AEAS, 2010, con datos de IWA en 2007

En el año 2005 se elaboró el Plan Municipal de Gestión de la Demanda de Agua en el Municipio de Madrid (Ayto. Madrid, 2005), que tenía como objetivo establecer la gestión de la demanda como instrumento fundamental para la gestión integral del ciclo del agua. El horizonte del Plan es el año 2011, por lo que, en el momento de redactar el presente documento, el Plan se encuentra próximo a su finalización. Desde el punto de vista teórico, el Plan es un instrumento adecuado para mejorar la eficiencia del uso del agua en la ciudad. Para garantizar su efectividad práctica, el Plan incluye un capítulo dedicado al seguimiento, donde se incluyen indicadores de cumplimiento de los objetivos y del funcionamiento de los distintos programas. El seguimiento se encomienda a la Oficina Azul del Ayuntamiento de Madrid. Resulta imprescindible que una vez finalizado el Plan, este Departamento proceda a su evaluación y a la divulgación de sus resultados.

Uno de los instrumentos inicialmente puestos en práctica en dicho Plan fue la Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid,

promulgada en mayo de 2006. La ordenanza de uso eficiente del agua establece la obligatoriedad del empleo de tecnologías que promuevan la eficiencia en el uso del agua en el ámbito doméstico, industrial, comercial y de servicios, como contadores individuales, reguladores de presión, sistemas de fontanería economizadores de agua o de reducción de caudal en grifos, duchas y cisternas, temporizadores y automatismos de cierre para grifos y fuentes de uso público, etc. También establece un conjunto de normas que regulan el consumo de agua en parques y jardines, tanto públicos como privados, piscinas, campos de golf y establecimientos industriales, comerciales o de servicios cuyo consumo de agua sea igual o mayor a 10.000 m³ anuales. Sería conveniente conocer el grado de aplicación de la Ordenanza, puesto que la aplicación de las medidas en ella contempladas podría reducir significativamente los consumos de agua. Hasta el momento, su efectividad es limitada, posiblemente porque la mayor parte de las medidas sólo son de aplicación a las instalaciones de nueva construcción. Si se planteara la aplicación progresiva de las medidas a las viviendas e instalaciones existentes, redundaría en una reducción aún mayor de las dotaciones y en una mejora de la eficiencia en el consumo global de agua en el municipio.

De cara al futuro, el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Tajo ha constatado una tendencia de crecimiento de población que indica que para el año 2015 la Demarcación podría situarse en el entorno de los 8 millones de habitantes, cifra que supone un incremento del 10,93% con respecto a la población de 2005. El Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid cifra la expectativa de crecimiento de la población en la Comunidad de Madrid para la década 2005-2015 en un 12%, lo que supondría una cifra de crecimiento aún mayor que la prevista en el Plan Hidrológico del Tajo.

Es muy difícil traducir este pronóstico global a un incremento de demanda en la Comunidad de Madrid, puesto que la demanda de agua, además de depender de la población censada abastecida, depende de numerosos componentes y factores, como son el parque de viviendas y su tipología, el número de establecimientos de tipo comercial y oficinas, el número de industrias y su actividad, las pautas de consumo/ahorro en cada una de las unidades de consumo, los programas públicos de eficiencia en el uso del agua o el grado de concienciación ambiental de los habitantes. Si se mantuviera la proporción media de la cuenca, las necesidades de recurso adicionales en los usos domésticos e institucionales para el año 2015 supondrían un incremento para el Canal de Isabel II de unos 60 hectómetros cúbicos, es decir, un 10% más que en 2005, aunque esta cifra puede verse modificada sustancialmente por los factores mencionados con anterioridad. En concreto, es de esperar que la evolución de las dotaciones individuales intensifique la tendencia decreciente registrada en los últimos años como consecuencia de las iniciativas municipales de ahorro de agua. El primer paso ya se ha dado, con la elaboración del Plan de Gestión de la Demanda y con la Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua. Sin embargo, para conseguir el efecto deseado, además de elaborar y promulgar la normativa, es necesario un compromiso firme para conseguir su cumplimiento efectivo y una voluntad política de ir extendiendo progresivamente su campo de aplicación hasta abarcar la totalidad de las instalaciones que consumen agua en la ciudad.

El sistema de abastecimiento y saneamiento gestionado por el Canal de Isabel II tiene una gran complejidad, con un grado de robustez muy elevado gracias a los elementos de interconexión de la red que permiten atender las unidades de demanda desde prácticamente cualquier fuente de suministro. El Canal gestiona una infraestructura de captación, tratamiento y distribución compuesta, a grandes rasgos, por los siguientes elementos:

- 14 embalses con una capacidad máxima de almacenamiento de 946 hm³
- 14 estaciones de tratamiento (ETAP) con una capacidad total de 46,3 m³/s
- 22 grandes depósitos reguladores con 2,7 hm³ de capacidad
- Una red de distribución formada que en 2009 tenía una longitud de más de 15.000 km

Las posibilidades de captación le permiten extraer el agua de fuentes relativamente lejanas, como del Alberche y del Sorbe, que debe compartirlas con otros usuarios. La Tabla 3.7 presenta la evolución del agua derivada para consumo en el Canal de Isabel II en los últimos años. El total anual derivado en la última década, que ha variado entre los 535 hm³/año y los 610 hm³/año, es fundamentalmente de origen superficial y solamente una media de 20 hm³/año tiene su origen en recursos subterráneos. En 2007, las captaciones de agua en la Comunidad de Madrid alcanzaron la cifra de 573,5 hm³.

AÑO	EMBALSES (hm ³ /a)	CAPTACIONES (hm ³ /a)	TOTAL (hm ³ /a)
2001	543,8	19,9	561,7
2002	518,8	57,0	575,8
2003	582,2	25,1	607,3
2004	599,7	3,1	602,8
2005	564,5	45,6	610,1
2006	473,3	79,9	553,2
2007	488,6	55,8	544,4
2008	432,6	103,0	535,6
2009	481,5	73,3	554,8

Tabla 3.7: Evolución del agua derivada para consumo en el Canal de Isabel II. Fuente: Memorias del CYII.

La gestión del abastecimiento a Madrid es tremendamente compleja, ya que, aunque dispone de recursos con exclusividad, también depende de recursos de otras cuencas, que son compartidos con otros usos (principalmente regadío y producción hidroeléctrica). Las reglas de operación del sistema están especificadas en el Manual de Gestión del Abastecimiento y Plan de Emergencia ante situaciones de Sequía de CYII, que fue remitido a la Confederación Hidrográfica del Tajo en el primer trimestre de 2010, y que actualiza y adapta el Manual de Abastecimiento de 2003 (Cubillo e Ibañez, 2003) al marco establecido en el Plan Especial de Sequía de la Cuenca del Tajo. La utilización de los recursos en la gestión sigue las siguientes prioridades: recursos ordinarios de uso prioritario (susceptibles de captación, embalse y disposición eventual), recursos ordinarios de uso normal (presentan escasas o nulas limitaciones para su disponibilidad por el CYII en cualquier situación), recursos de uso estratégico (recursos que pueden constituir una reserva estratégica por su flexibilidad para ser incorporados a la red de suministro o por su disponibilidad) y recursos complementarios (recursos de utilización ocasional, como alternativa en caso de sequías avanzadas).

En conjunto, el abastecimiento de Madrid se encuentra en condiciones estrictas de garantía, especialmente si se analiza la posible evolución a largo plazo. El Esquema Provisional de Temas Importantes del Plan Hidrológico del Tajo ya advierte del incumplimiento en sequías del régimen de caudales ecológicos, con la consecuente afección a las especies de fauna y flora asociadas al medio acuático, aunque el Canal de Isabel II presentó alegaciones a este punto, indicando que cumple con los requerimientos ambientales establecidos en el vigente Plan Hidrológico de la Cuenca del Tajo de 1998. En el futuro está previsto que se incrementen los caudales ecológicos en los tramos de cauce aguas abajo de las presas de El Atazar, El Vado y El Pardo, por lo que la presión sobre el sistema de gestión de recursos será aún mayor.

En la actualidad existe un equilibrio entre las variables fundamentales: aportación en régimen natural en los puntos de captación, capacidad de embalse para regulación y demanda, siendo las tres magnitudes muy próximas entre sí. Por este motivo, Madrid se ha visto expuesta con cierta frecuencia a sequías que han tenido importantes repercusiones sociales y han motivado actuaciones de mejora de las infraestructuras. Por ejemplo, en la Mancomunidad del Sorbe (MAS) se ha ejecutado la conexión del Embalse de Alcorlo con la ETAP de Mohernando. Dicha obra de refuerzo permite que, en la actualidad, la garantía del abastecimiento de la MAS no esté supeditada únicamente al embalse de Beleña.

La presencia de la mayor concentración de población de la Península en el tramo medio-alto de la Demarcación del Tajo, con una disponibilidad de recursos garantizados estrictos, condiciona fuertemente, en cantidad y calidad, los flujos de agua, tanto desde el punto de vista de demandas como de retornos y vertidos.

Atendiendo a los problemas surgidos ante la posibilidad de incrementar la regulación del Sorbe o del Jarama, las alternativas de incremento de disponibilidad de recursos convencionales en un posible escenario de crecimiento de la población pasan por la captación de cuencas próximas: Alberche, Duero o cabecera del Tajo. Todas darían lugar a conflictos sociales de importancia que es conveniente anticipar para poder abordarlos, si llegara el caso.

3.3 Efectos del cambio climático en los recursos hídricos superficiales

CONTEXTO GENERAL

Es importante ser conscientes de la importancia que tienen los posibles impactos en otras regiones debido a los vínculos socio-económicos y medioambientales que dificultan el diseño de medidas de adaptación adecuadas sin ponerlo en un contexto supra-regional, continental y global. Se han realizado numerosos estudios a escala regional, continental y global sobre el impacto del cambio climático en los recursos hídricos. La publicación que recoge la mayoría de los resultados de los principales estudios es el Documento Técnico sobre el Cambio Climático y el Agua (Bates et. al 2008). Debido a la escala espacial del análisis es difícil describir en términos generales los impactos sobre los recursos hídricos que se esperan debido al cambio climático. Sin embargo, en el documento aludido, que está basado en el cuarto informe del IPCC y en los escenarios climáticos del mismo, se llega a una serie de conclusiones importantes entre las que destacan las siguientes:

-Un aumento en la intensidad y variabilidad de las precipitaciones aumentará los riesgos presentados por inundaciones y sequías

-El incremento en las temperaturas y los cambios en eventos extremos (incluidos las inundaciones y sequías), afectarán la calidad del agua

-A nivel mundial, los efectos negativos del futuro cambio climático sobre los sistemas de agua dulce serán más determinantes y primarán sobre sus efectos positivos

-Las prácticas de gestión hídrica actuales pueden no ser suficientemente sólidas para contrarrestar los efectos del cambio climático

-Las opciones de adaptación destinadas a asegurar el abastecimiento de agua en condiciones normales y en caso de sequía requieren estrategias integradas orientadas tanto a la demanda como a la oferta

-Existen lagunas de información tanto en términos de observaciones como de necesidades de investigación en relación con el cambio climático y el agua.

Aunque en este tipo de estudios resulta muy aventurado extraer conclusiones para territorios de las dimensiones de las cuencas hidrográficas españolas, sí que proporcionan información muy relevante sobre el contexto general de la zona geográfica en la que se enmarca nuestro país. La mayor parte de estos estudios coinciden en predecir, con un alto grado de confianza, disminuciones severas (Entre el 10 y el 30%) de la escorrentía superficial en el Mediterráneo, sur de África, la Patagonia y oeste de Norteamérica. Por ejemplo, en las Figuras 3.4 y 3.5 se presentan dos gráficos extraídos del Cuarto Informe del IPCC (IPCC, 2007) que así lo atestiguan. El primero de ellos está elaborado a partir del análisis de los resultados de 12 modelos de clima. En él se pone de manifiesto que España se encuentra en una de las zonas de mayor impacto por disminución de la escorrentía.

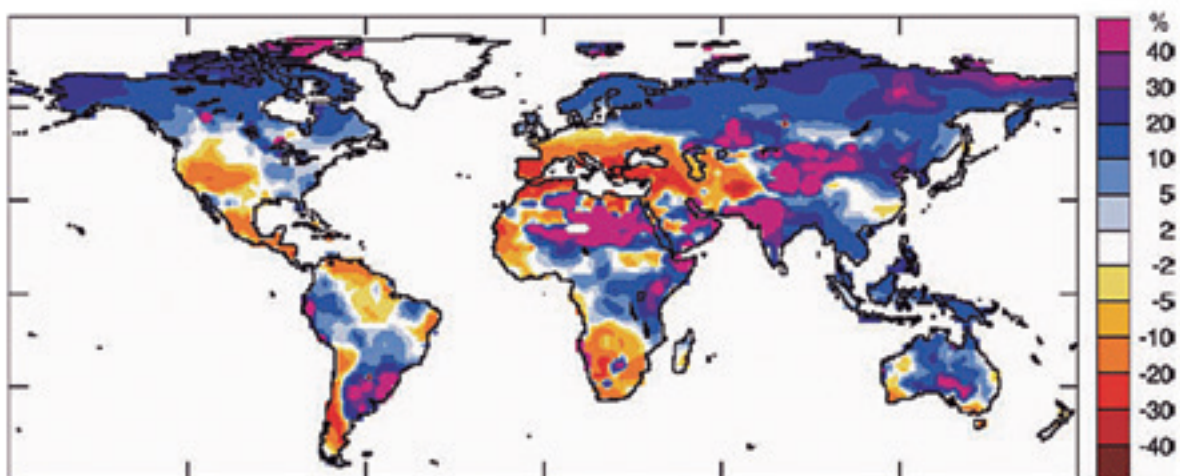


Figura 3.4: Mapa mundial de variación porcentual de la escorrentía el escenario A1 de SRES, elaborado a partir de los resultados de 12 modelos de clima (IPCC, 2007)

El segundo gráfico está centrado en Europa, y en él se analiza la influencia de episodios extremos (sequías de 100 años de periodo de retorno). Se puede apreciar que la Península Ibérica es una de las regiones más expuestas al riesgo de intensificación de las sequías.

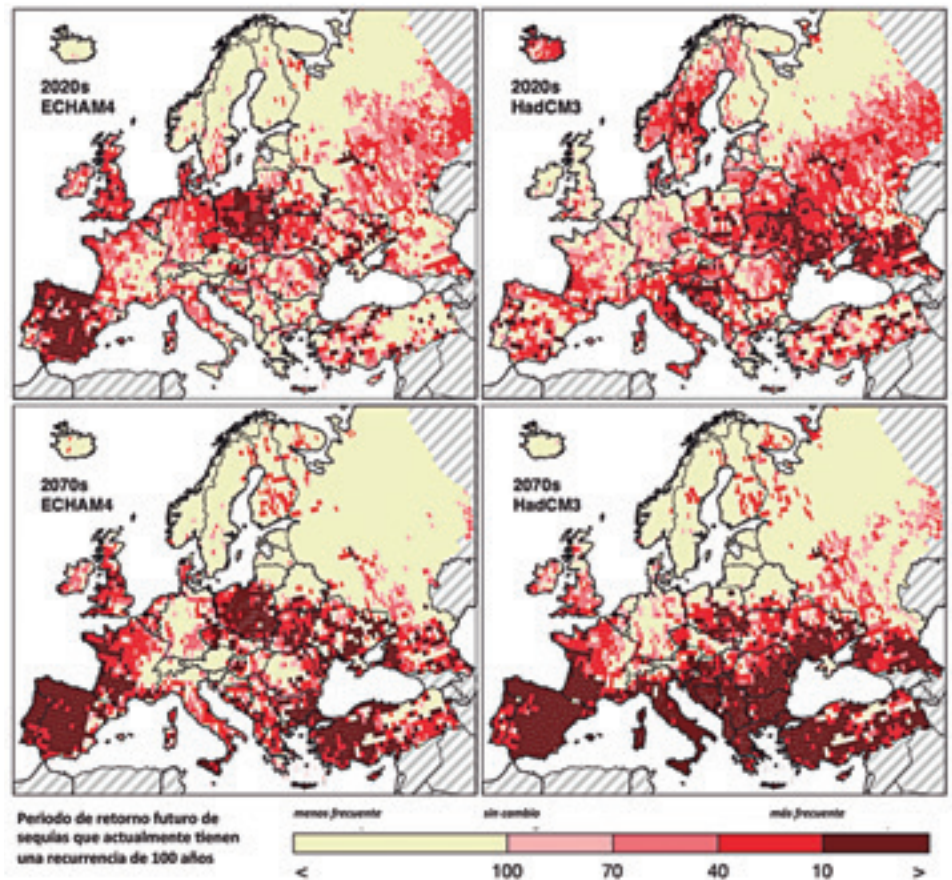


Figura 3.5: Variación en la recurrencia de la sequía de 100 años de periodo de retorno en dos horizontes temporales según dos modelos climáticos (IPCC, 2007)

En el siguiente apartado se analizan los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos a una escala más detallada y relevante para la Comunidad de Madrid.

ESTUDIOS PREVIOS REALIZADOS

El impacto del cambio climático en los recursos hídricos a escala nacional en España se ha estudiado en varias ocasiones. La Evaluación Preliminar General de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático (MMA, 2005) que fue publicado como resultado del proyecto ECCE (Efectos del Cambio Climático en España) dedicó el Apartado 7 a una evaluación del impactos sobre los recursos hídricos. Se llegó en el a la conclusión de que el cambio climático en España causaría una disminución de aportaciones hídricas y un aumento de la demanda en los sistemas de regadío. Algunas de la simulaciones llevadas

a cabo para el estudio auguraban una reducción en las aportaciones hídricas de entre un 5% y 14% para 2030 (suponiendo un aumento de temperatura de 1°C y una disminución media de precipitación de un 5%) y hasta un 22% para el horizonte de 2060 (con aumento de la temperatura de 2,5°C y una disminución de la precipitación de un 8%). Esto, según el mismo estudio, iría además acompañado de un aumento de la variabilidad interanual de los mismos.

La revisión más reciente sobre el impacto del cambio climático en los recursos hídricos está recogida en la tesis de Leonardo Hernández Barrios (2007), que ha servido como antecedente fundamental para este apartado; la metodología seguida por Hernández Barrios consistió, en general, en interpretar los escenarios de cambio climático formulados en términos de variación de temperatura o precipitación mediante un modelo hidrológico que permita obtener las aportaciones superficiales.

El primer estudio revisado por Hernández Barrios fue el realizado por Ayala-Carcedo et al. (1996), en el que aplicaron un modelo conceptual de simulación del ciclo hidrológico a escala anual desagregado a nivel de grandes cuencas hidrográficas. Se utilizó el escenario propuesto por el Instituto Nacional de Meteorología en 1995 para el horizonte 2060, que se basó en los resultados del modelo Hadley Center (HadCM2) de 1990. Según este escenario en el horizonte 2060 la temperatura media anual en España subiría 2,5°C y la precipitación descendería un 8%. A partir de estos datos se estimó una reducción global de los recursos del 20%, con un reparto irregular con descenso más acusado en la mitad Sur, llegando a un máximo del 34% de descenso en la cuenca del Guadalquivir.

Con ocasión de la publicación del Libro Blanco del Agua (MMA, 2000), el Ministerio de Medio Ambiente realizó una evaluación a escala nacional de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos. Se aplicó un modelo distribuido en cuadrícula de 1 km² basado en una ley (Budyko) que relaciona a escala anual la aportación con la precipitación y la evapotranspiración potencial deducida de la temperatura. Se analizaron tres escenarios contemplados en el Programa Nacional sobre el Clima (MOPTMA, 1995) para el horizonte 2030. El escenario moderado suponía un aumento de temperatura de 1°C, sin cambios en la precipitación, el acusado contemplaba el mismo aumento de temperatura, pero con una reducción de precipitación del 5%, y el extremo un aumento de 4°C y un descenso de la precipitación de un 15%. Según los resultados obtenidos, la reducción media de aportaciones en el escenario moderado es del 5% y en el escenario acusado del 14%. En el escenario extremo se obtienen reducciones mucho mayores, que pueden llegar hasta el 50%.

El siguiente paso desde el punto de vista metodológico fue el empleo de modelos desagregados a escala mensual, para estudiar escenarios sintéticos, como los presentados anteriormente, o escenarios generados por modelos de clima global. Por ejemplo, Fernández Carrasco (2002) realizó distintas simulaciones empleando tanto la ley anual de Budyko como el modelo hidrológico a escala mensual SIMPA a partir de escenarios generados por los modelos climáticos HadCM2 (global) y PROMES (regional), encontrando diferencias sustanciales en los resultados entre los cálculos realizados con las leyes anuales y los cálculos desagregados mensualmente. La acusada variabilidad estacional del régimen hidrológico de nuestros ríos explica estas diferencias, ya que un pequeño incremento de la precipitación en invierno puede compensar sobradamente fuertes aumentos de temperatura o disminuciones de la precipitación en verano, puesto que la aportación de estiaje es, en la mayoría de los casos, despreciable frente a la de la época de aguas altas.

En otras ocasiones se han realizado análisis similares, como los presentados por el CEDEX (1998) en el estudio realizado para el Ministerio de Medio Ambiente sobre el impacto potencial del cambio climático sobre los recursos hídricos y las demandas de riego, o los presentados en la documentación técnica del Plan Hidrológico Nacional (MMA, 2002) para los distintos sistemas analizados.

La Figura 3.6 tomada de (Hernández Barrios 2007), presenta un resumen de los resultados obtenidos en los principales estudios, desagregados por cuencas hidrográficas.

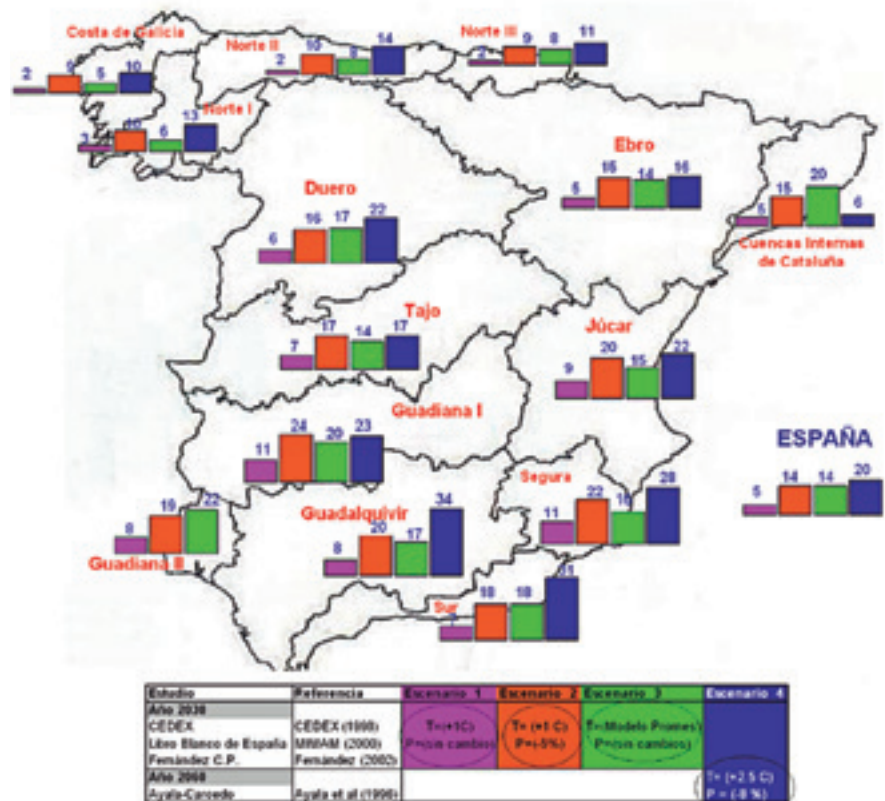


Figura 3.6: Proyecciones del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos: reducción porcentual de la escorrentía en las cuencas según distintos escenarios (Hernández Barrios, 2007)

ESTUDIOS RECIENTES

Recientemente se han publicado la “Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural” (CEDEX, 2011), y la Tesis Doctoral “Evaluación del impacto hidrológico del cambio climático en España” (Barranco, 2011). Valoración de las proyecciones climáticas”, que son los trabajos más exhaustivos de los realizados hasta la fecha. En estos trabajos se parte de los escenarios climáticos regionalizados, elaborados por la Agencia Estatal de Meteorología. Estas proyecciones combinan los resultados de modelos de simulación del comportamiento de la atmósfera y el océano (modelos de circulación global), realizados por diversos organismos internacionales, para distintos supuestos de emisión de gases de efecto invernadero, a los que se aplica posteriormente un proceso de adaptación regional para mejorar su

precisión a escala local (técnicas de regionalización). Se utilizaron proyecciones climáticas compuesta por datos diarios de precipitación y temperatura en cuatro periodos temporales: 1961-1990 (periodo de control), 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 en los escenarios de emisiones A2 y B2. Para el estudio de la respuesta hidrológica se empleó el modelo SIMPA, que trabaja a escala mensual y proporciona resultados de evapotranspiración, recarga de acuíferos y escorrentía total, suma de la superficial y de la subterránea. La escorrentía de cada celda del territorio se acumula en la red de drenaje para obtener el valor de la aportación. El análisis realizado consistió en obtener desviaciones porcentuales entre los resultados de cada periodo del siglo XXI y el periodo de control, asumiendo que el clima se hubiera comportado según los datos de las proyecciones durante dicho periodo de control. A continuación se resumen algunas de las conclusiones más relevantes del informe del Cedex y de la mencionada tesis doctoral.

Las proyecciones pronostican una reducción generalizada de la precipitación conforme avanza el siglo XXI, por lo que se reducirían las disponibilidades de agua. En el conjunto de proyecciones del escenario de emisiones A2 se obtienen variaciones de precipitación media en España de -5%, -9% y -17% durante los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 respectivamente. En el escenario B2 se obtienen unas variaciones de -5%, -8% y -9% en los mismos periodos. Como consecuencia de ello, se prevé una disminución correlativa de la escorrentía. Las proyecciones del escenario A2 dan lugar a unas variaciones de escorrentía en España del -8% para el periodo 2011-2040, -16% para el 2041-2070 y -28% para el 2071-2100. Las variaciones en el escenario B2 son del -8%, -11% y del -14%, respectivamente (Figura 3.7).

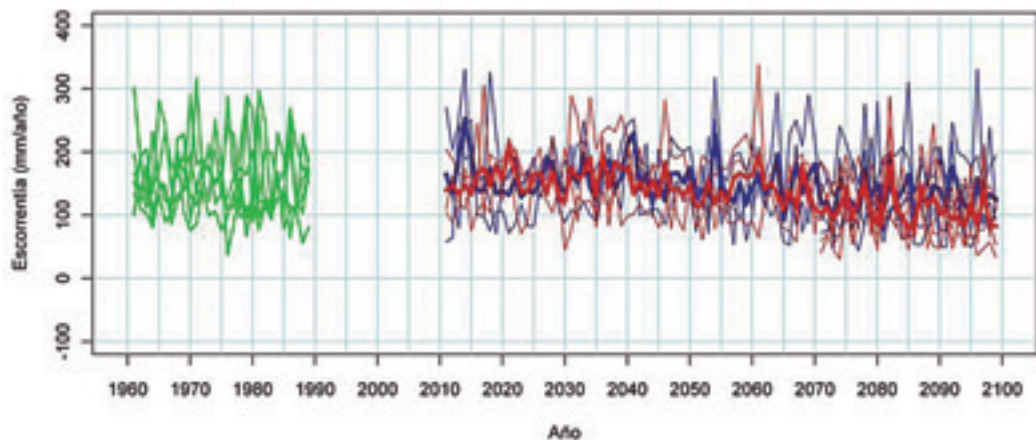


Figura 3.7: Evolución de la escorrentía anual en España para el conjunto de proyecciones. Periodo de control (verde); escenario de emisiones A2 (rojo); B2 (azul). Promedios del conjunto de proyecciones en trazo grueso. Fuente: CEDEX 2011.

La disminución de la escorrentía varía también regionalmente según muestran los mapas de la Figura 3.8. En ella se compara la distribución espacial de la reducción de la escorrentía media anual en los dos escenarios de emisiones considerados, A2 y B2, y en dos de los periodos analizados, 2011-2040 y 2071-2100. El patrón de distribución espacial permite identificar una mayor incidencia en las cuencas Cantábricas, del País Vasco, cabeceras del Ebro y Duero, suroeste peninsular y Canarias. Desde el punto de vista de la evolución temporal, la disminución se extenderá progresivamente por toda España en

la primera mitad del siglo XXI, excepto en determinadas zonas de la costa mediterránea y del noreste peninsular, y será generalizada durante el último periodo del siglo, donde las proyecciones del escenario B2 son más suaves que las del escenario A2.

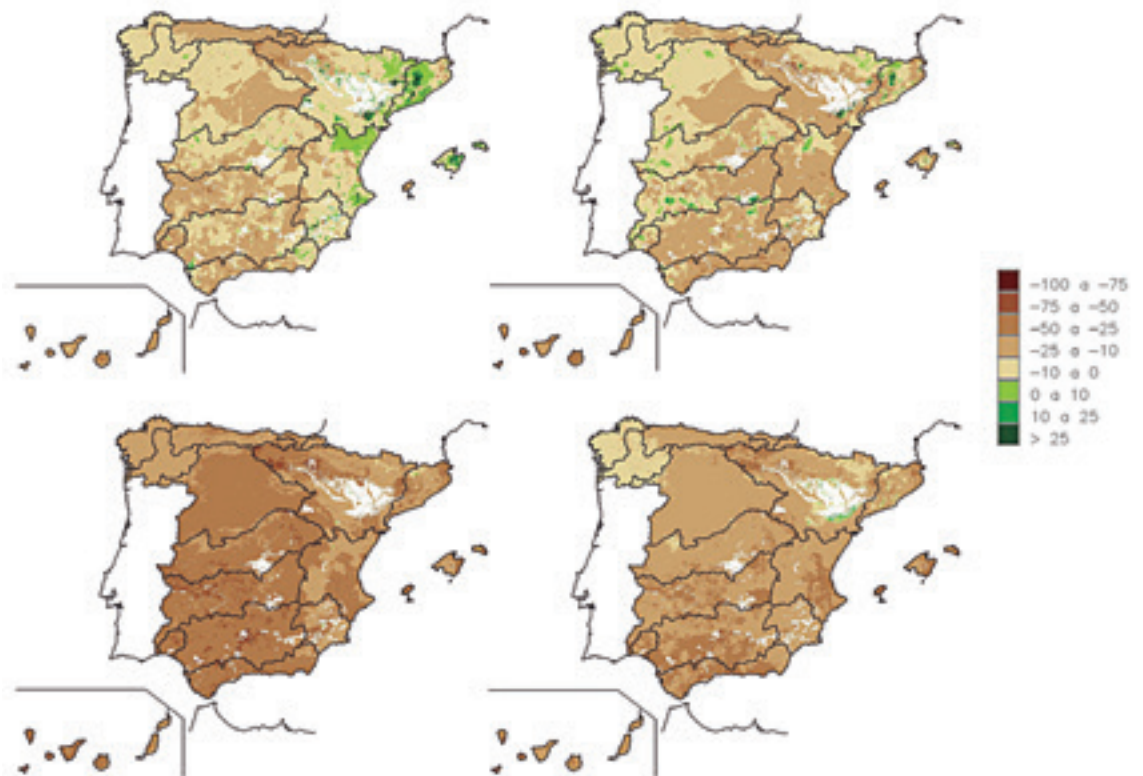


Figura 3.8. Variación del promedio de la escorrentía (%) para los periodos 2011-204 (arriba) y 2071-2100 (abajo) respecto al periodo de control para las proyecciones A2 (izquierda) y B2 (derecha). Fuente: CEDEX 2011.

Si se analizan las proyecciones individuales (se emplearon un total de 6 métodos de cálculo para cada escenario de emisiones) se aprecia que los resultados difieren de manera considerable, especialmente durante el último periodo del siglo XXI en el que se estiman variaciones de escorrentía entre un -40% y 0%. Como resumen se reproduce en la Figura 3.9 la tabla final del informe de CEDEX (2011) en la que se muestra la reducción de escorrentía obtenida en España y en las distintas Demarcaciones Hidrográficas en los diferentes casos analizados: dos escenarios de emisiones, seis métodos de regionalización y tres horizontes temporales.





© Miguel Ángel Gómez



© Miguel Ángel Gómez

		Escenario A2						Escenario B2							
		Modelo regionalizado I	Modelo regionalizado II	Modelo regionalizado III	Modelo regionalizado IV	Modelo regionalizado V	Modelo regionalizado VI	Δ del promedio	Modelo regionalizado I	Modelo regionalizado II	Modelo regionalizado III	Modelo regionalizado IV	Modelo regionalizado V	Modelo regionalizado VI	Δ del promedio
España	2011-2040	-3	-22		-2		-8	-8	-18		1		-8		-8
	2041-2070	-9	-34		-8		-16	-5	-21		-8		-11		
	2071-2100	-24	-37	0	-34	-28	-40	-28	-7	-28	-8	-1	-18	-22	-14
Cantábrico	2011-2040	-8	-20		-11		-13	-5	-15		-8		-10		
	2041-2070	-4	-27		-17		-16	-6	-22		-19		-16		
	2071-2100	-13	-40	-1	-38	-31	-44	-29	-1	-28	-12	-13	-20	-28	-17
Galicia Costa	2011-2040	-1	-20		-1		-6	2	-13		-2		-3		
	2041-2070	-4	-31		-4		-12	-5	-21		-1		-8		
	2071-2100	-18	-36	11	-22	-16	-29	-19	-2	-23	4	6	-8	-9	-5
Cuencas Internas del País Vasco	2011-2040	-6	-18		-11		-12	-5	-14		-10		-10		
	2041-2070	-2	-24		-20		-16	-5	-21		-23		-16		
	2071-2100	-9	-40	-8	-39	-41	-52	-30	2	-28	-20	-17	-31	-36	-20
Miño-Sil	2011-2040	-1	-21		1		-6	0	-15		2		-3		
	2041-2070	-6	-34		0		-12	-4	-22		1		-7		
	2071-2100	-19	-38	11	-20	-17	-34	-21	-2	-25	3	11	-8	-15	-6
Duero	2011-2040	-3	-25		1		-8	-7	-21		5		-7		
	2041-2070	-13	-41		-1		-17	-7	-23		0		-9		
	2071-2100	-31	-40	4	-33	-23	-47	-31	-10	-29	-2	8	-16	-24	-13
Tajo	2011-2040	-3	-31		4		-8	-11	-28		11		-8		
	2041-2070	-16	-48		-1		-19	-8	-23		1		-9		
	2071-2100	-39	-41	-5	-38	-32	-40	-35	-16	-32	-10	7	-22	-17	-15
Guadiana	2011-2040	-7	-40		2		-12	-16	-34		16		-9		
	2041-2070	-23	-58		-11		-27	-9	-24		-4		-11		
	2071-2100	-49	-48	-12	-48	-40	-25	-42	-24	-40	-15	4	-32	-16	-20
Guadalquivir	2011-2040	-2	-36		0		-11	-21	-34		13		-13		
	2041-2070	-18	-55		-16		-28	-2	-25		-12		-12		
	2071-2100	-48	-49	-20	-45	-44	-29	-43	-23	-43	-24	0	-33	-28	-24
Cuencas Internas de Andalucía	2011-2040	-1	-33		-1		-12	-16	-35		6		-16		
	2041-2070	-15	-50		-24		-30	-2	-26		-17		-15		
	2071-2100	-43	-44	-27	-50	-42	-25	-41	-23	-40	-25	-14	-29	-30	-27
Segura	2011-2040	-1	-25		-1		-10	-22	-24		10		-13		
	2041-2070	-10	-39		-11		-21	-2	-28		-11		-14		
	2071-2100	-23	-39	-22	-35	-48	-21	-33	-14	-33	-22	-5	-23	-28	-21
Júcar	2011-2040	1	-11		-4		-5	-21	-17		-1		-12		
	2041-2070	-11	-28		-14		-18	-5	-20		-14		-13		
	2071-2100	-21	-24	-18	-46	-45	-21	-32	-16	-27	-20	-18	-34	-14	-24
Ebro	2011-2040	-2	-19		-7		-9	-7	-15		-5		-9		
	2041-2070	-6	-26		-12		-14	-5	-19		-17		-13		
	2071-2100	-17	-31	3	-40	-30	-46	-28	-4	-25	-9	-11	-17	-29	-16
Cuencas Internas de Cataluña	2011-2040	6	-4		-3		0	-9	-5		-8		-7		
	2041-2070	-2	-5		-6		-4	-2	-6		-19		-9		
	2071-2100	-11	-3	-13	-34	-30	-29	-21	-13	-5	-18	-14	-20	-18	-16
Islas	2011-2040	-5	-21		11		-4	-19	-31		0		-15		
	2041-2070	-9	-39		1		-15	-8	-31		-18		-20		
	2071-2100	-20	-44	-24	-42	-22	-21	-31	-25	-39	-32	-6	-25	-13	-23
Islas Canarias	2011-2040	-7	-37		-4		-18	-15	-34		-24		-25		
	2041-2070	-16	-41		-37		-32	-11	-36		-35		-28		
	2071-2100	-31	-44	-30	-57		-41	-22	-37	-29	-47		-34		

Figura 3.9. Tabla resumen de los resultados obtenidos de variación de escorrentía en cada una de las demarcaciones hidrográficas para los dos escenarios de emisiones, los seis métodos de cálculo y los tres horizontes temporales. Fuente: Cedex 2011.

CONCLUSIÓN

En general, y a pesar de las grandes diferencias en cuanto a los escenarios analizados, las escalas de análisis y las metodologías empleadas, los resultados obtenidos en todos los estudios son cualitativamente coincidentes. Se esperan reducciones de las aportaciones en régimen natural en la totalidad de las cuencas españolas. La cuantía de la disminución es función de la variación supuesta de temperaturas y precipitaciones, pero resulta en todos los casos más acusada en la mitad sur peninsular. En varias de estas cuencas las cifras obtenidas en los cálculos son ciertamente preocupantes, especialmente si se tiene en cuenta la situación de escasez o déficit estructural en la que se encuentran ya en la actualidad.

Como resumen, el estado del arte actual supone un alto grado de incertidumbre sobre las proyecciones, pero la mayor parte de los modelos globales y regionales de clima coinciden en señalar un descenso de precipitaciones muy probable y un aumento de temperaturas en la mayor parte de las cuencas españolas, que se traducirá en disminuciones muy significativas de las aportaciones en régimen natural.



3.4 Efectos del cambio climático en los recursos hídricos subterráneos

Al igual que en el caso del agua superficial, los recursos hídricos subterráneos están amenazados por las alteraciones climáticas. La monografía “Cambio Climático y Agua Subterránea. Visión para los próximos decenios”, elaborada por (Pernía et al., 2008), presenta el fenómeno del cambio climático desde una perspectiva geológica, para a continuación centrarse en los efectos del cambio climático sobre el agua subterránea.

El estudio del cambio climático en los recursos subterráneos puede hacerse mediante el análisis de la variable recarga en los estudios realizados por CEDEX (2011) con el modelo SIMPA, aunque debe tenerse presente que el modelo simula toda España, por lo es necesario simplificar el proceso de cálculo de la recarga. El modelo SIMPA calcula la recarga de los acuíferos en función del agua de lluvia que no cabe en el suelo y del parámetro I_{max} , o capacidad máxima de infiltración al mes, de manera que la recarga en un mes es directamente proporcional a la precipitación de ese mes y al parámetro I_{max} , que es invariable en el tiempo.

El valor medio en España del conjunto de proyecciones decrece a lo largo del s.XXI. La Figura 3.10 muestra la evolución de las proyecciones en los escenarios A2 y B2. Los valores de recarga son similares en A2 y B2 durante los periodos 2011-2040 y 2041-2070. Las proyecciones arrojan una reducción de la recarga del 8% en 2011-2040 y entre el 12 y 15% en 2041-2070. Durante el último periodo, 2071-2100, las proyecciones A2 dan, en general, mayores descensos de la recarga de acuíferos (27%) que las proyecciones de B2 (16%).

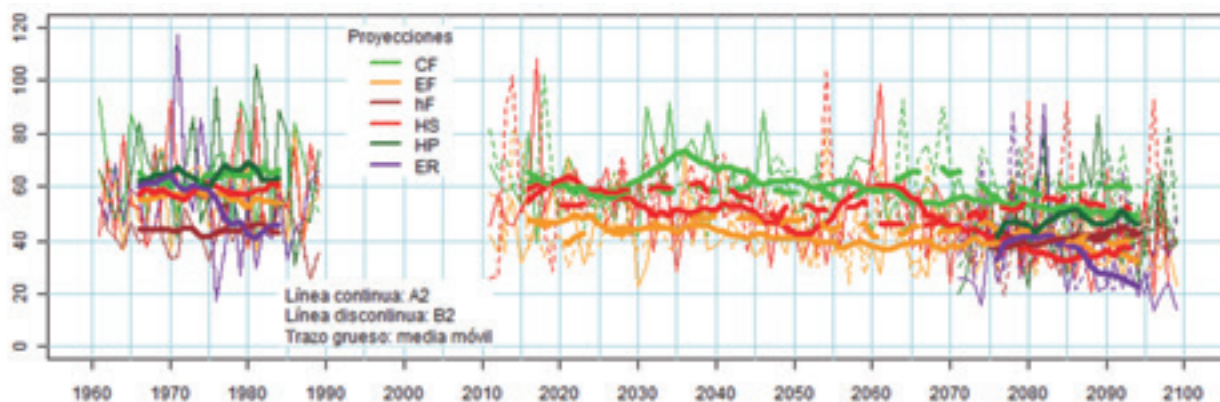


Figura 3.10: Evolución de la recarga anual en España para el conjunto de proyecciones. Periodo de control (izquierda); escenario de emisiones A2 (rojo); B2 (azul). Promedios del conjunto de proyecciones en trazo grueso. Fuente: CEDEX 2011.

El reparto regional de la variación de recarga puede apreciarse en los mapas de la Figura 3.11. Se presenta la distribución espacial de la reducción de la recarga media anual en los escenarios de emisiones A2 y B2, y en los periodos analizados 2011-2040 y 2071-2100. En el primer horizonte temporal existen zonas en las que la variación de la recarga es positiva, especialmente junto a la costa mediterránea. En el segundo horizonte se aprecia una reducción generalizada de la recarga en todo el territorio, siendo más acusada en la cuenca del Duero valle del Guadalquivir y Comunidad Valenciana..

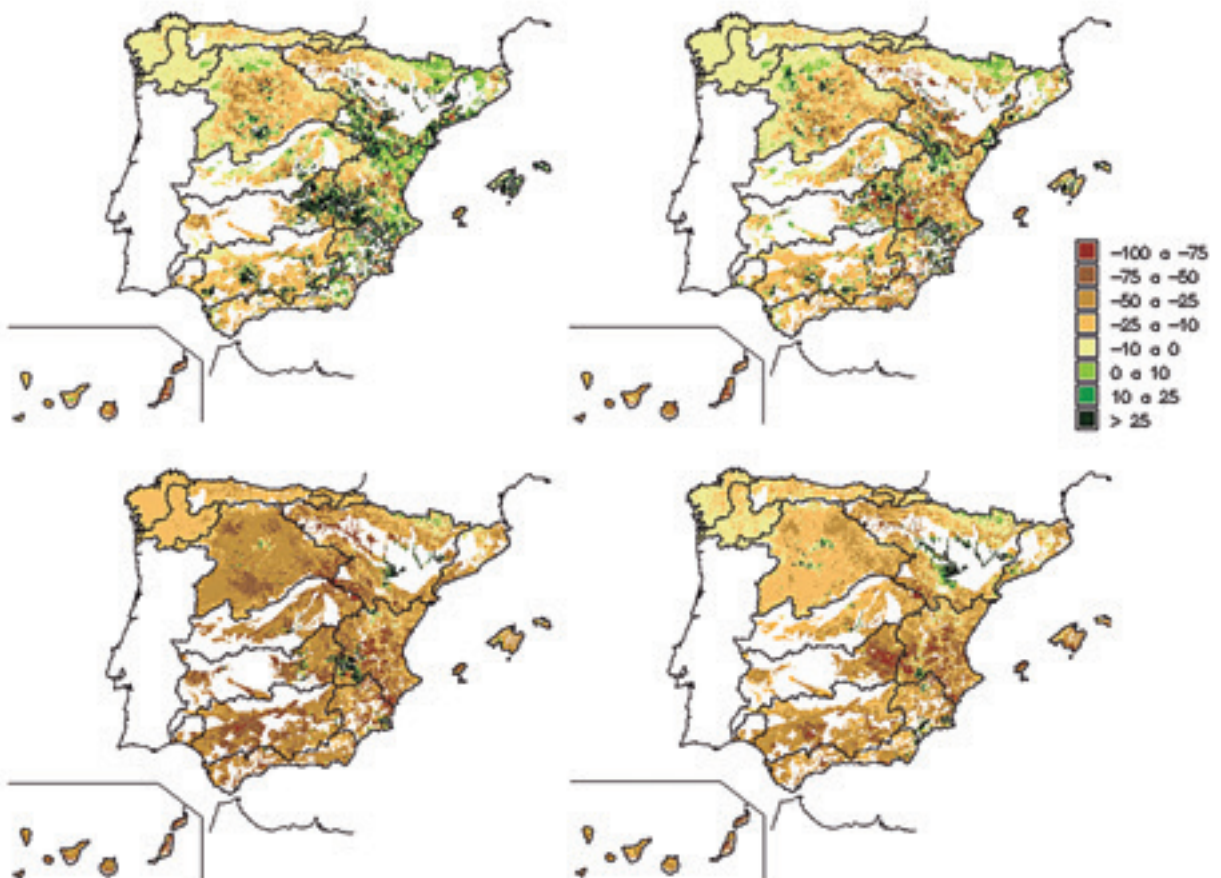


Figura 3.11. Variación del promedio de la recarga (%) para los periodos 2011-204 (arriba) y 2071-2100 (abajo) respecto al periodo de control para las proyecciones A2 (izquierda) y B2 (derecha). Fuente: CEDEX 2011.

La Figura 3.12 presenta la tabla final del informe de CEDEX (2011) que recoge el desglose por demarcación hidrográfica de las proyecciones de variación de la recarga de acuíferos. Se presentan los valores obtenidos mediante los 6 métodos de cálculo, los dos escenarios de emisiones y los tres horizontes temporales. La heterogeneidad de las proyecciones es muy marcada, aunque, en general, la variación de la recarga es inferior a la variación de escorrentía.

		Escenario de Emisiones A2						Escenario de Emisiones B2							
		CA	EA	HA	SA	UA	PA	Med	CB	EB	HB	SB	UB	PB	Med
España	2011-2040	-2	-18		-5			-8	-7	-15		-2			-8
	2041-2070	-8	-27		-10			-15	-5	-18		-12			-12
	2071-2100	-20	-32	-3	-34	-28	-41	-27	-8	-24	-9	-8	-20	-23	-16
Cantábrico	2011-2040	-6	-14		-10			-10	-5	-11		-9			-8
	2041-2070	-5	-20		-17			-14	-6	-16		-20			-14
	2071-2100	-11	-32	-3	-36	-29	-43	-26	-2	-22	-10	-16	-21	-26	-16
Galicia-Costa	2011-2040	-4	-16		-5			-8	0	-11		-6			-6
	2041-2070	-5	-24		-8			-12	-6	-16		-10			-10
	2071-2100	-16	-30	0	-22	-19	-34	-20	-6	-21	-6	-8	-11	-17	-11
CI País Vasco	2011-2040	-4	-16		-5			-9	0	-11		-6			-7
	2041-2070	-5	-24		-8			-13	-6	-16		-10			-13
	2071-2100	-16	-30	0	-22	-19	-34	-27	-6	-21	-6	-8	-11	-17	-18
Miño-Sil	2011-2040	-2	-18		-4			-7	0	-14		-4			-5
	2041-2070	-5	-28		-5			-12	-5	-18		-8			-10
	2071-2100	-16	-34	2	-22	-18	-36	-21	-5	-23	-4	-4	-9	-19	-11
Duero	2011-2040	-2	-25		-1			-8	-8	-21		-4			-8
	2041-2070	-13	-38		-2			-17	-8	-21		-4			-10
	2071-2100	-31	-39	5	-35	-24	-51	-33	-11	-26	-1	-4	-17	-26	-14
Tajo	2011-2040	-4	-16		-5			-8	0	-11		-6			-11
	2041-2070	-5	-24		-8			-20	-6	-16		-10			-9
	2071-2100	-16	-30	0	-22	-19	-34	-35	-6	-21	-6	-8	-11	-17	-18
Guadiana	2011-2040	-6	-24		-4			-14	-16	-20		9			-12
	2041-2070	-16	-33		-10			-30	-7	-18		-9			-12
	2071-2100	-36	-36	-7	-38	-35	-31	-46	-18	-27	-10	1	-27	-15	-24
Guadalquivir	2011-2040	-5	-34		-2			-13	-22	-32		10			-15
	2041-2070	-17	-49		-15			-28	-5	-27		-14			-15
	2071-2100	-43	-48	-17	-43	-41	-33	-42	-23	-39	-21	-7	-29	-24	-25
CI Andalucía	2011-2040	-2	-29		-3			-12	-17	-31		4			-17
	2041-2070	-13	-43		-22			-29	-3	-25		-16			-15
	2071-2100	-37	-41	-23	-46	-41	-28	-40	-20	-36	-22	-16	-27	-26	-27
Segura	2011-2040	-2	-23		-2			-9	-24	-22		10			-13
	2041-2070	-9	-35		-10			-20	-2	-27		-12			-14
	2071-2100	-22	-38	-18	-33	-45	-21	-33	-13	-30	-19	-5	-25	-21	-21
Júcar	2011-2040	4	-9		-5			-3	-21	-15		-1			-12
	2041-2070	-8	-22		-13			-16	-3	-16		-15			-12
	2071-2100	-18	-21	-16	-45	-44	-21	-31	-14	-22	-19	-18	-34	-11	-23
Ebro	2011-2040	0	-15		-6			-7	-5	-11		-5			-7
	2041-2070	-3	-20		-10			-11	-2	-15		-16			-11
	2071-2100	-11	-25	2	-36	-27	-41	-24	-1	-19	-6	-12	-18	-25	-14
CI Cataluña	2011-2040	5	-4		-3			0	-7	-5		-7			-6
	2041-2070	0	-7		-5			-4	-2	-6		-14			-7
	2071-2100	-8	-7	-10	-28	-28	-26	-19	-9	-5	-16	-11	-24	-13	-14
Islas Baleares	2011-2040	-2	-18		6			-4	-16	-26		-1			-14
	2041-2070	-4	-32		-2			-14	-4	-27		-18			-19
	2071-2100	-15	-40	-22	-40	-25	-21	-30	-19	-33	-29	-10	-22	-11	-22
Canarias	2011-2040	-4	-34		-3			-18	-11	-30		-22			-25
	2041-2070	-9	-37		-37			-32	-7	-34		-32			-28
	2071-2100	-25	-41	-29	-55			-42	-15	-34	-28	-47			-35

RECARGA SUBTERRÁNEA: Dev. (%) de medias anuales. Títulos de columnas: A = Escenario de emisiones A2; B = Escenario de emisiones B2; C = modelo global CGCM2 y regionalización FIC; E = modelo global ECHAM4 y regionalización FIC; H = modelo global HadAM3 y regionalización FIC; S = modelo global HadCM3 y regionalización SDSM; U = modelo global HadCM3 y regionalización PROMES (PRUDENCE-UCM); P = modelo global ECHAM4 y regionalización RAO (PRUDENCE-SMH). Colores: verde >0%, amarillo -20% a 0%, rojo < -20%.

Figura 3.12. Tabla resumen de los resultados obtenidos de variación de recarga en cada una de las demarcaciones hidrográficas para los dos escenarios de emisiones, los seis métodos de cálculo y los tres horizontes temporales. Fuente: Cedex 2011.

Para aclarar este aspecto se presenta también la Figura 3.13, en la que se comparan las variaciones de la precipitación con las variaciones de las variables recarga, evapotranspiración real y escorrentía en las hipótesis analizadas en la tabla recogida en las Figura 3.10. Se aprecia que, mientras la evapotranspiración presenta en general una reducción inferior a la reducción de precipitación,

tanto la recarga como la escorrentía presentan reducciones superiores, lo que muestra la gran sensibilidad de estas variables hidrológicas a las variaciones de precipitación. También se aprecia que la sensibilidad de la recarga es algo inferior a la sensibilidad de la precipitación.

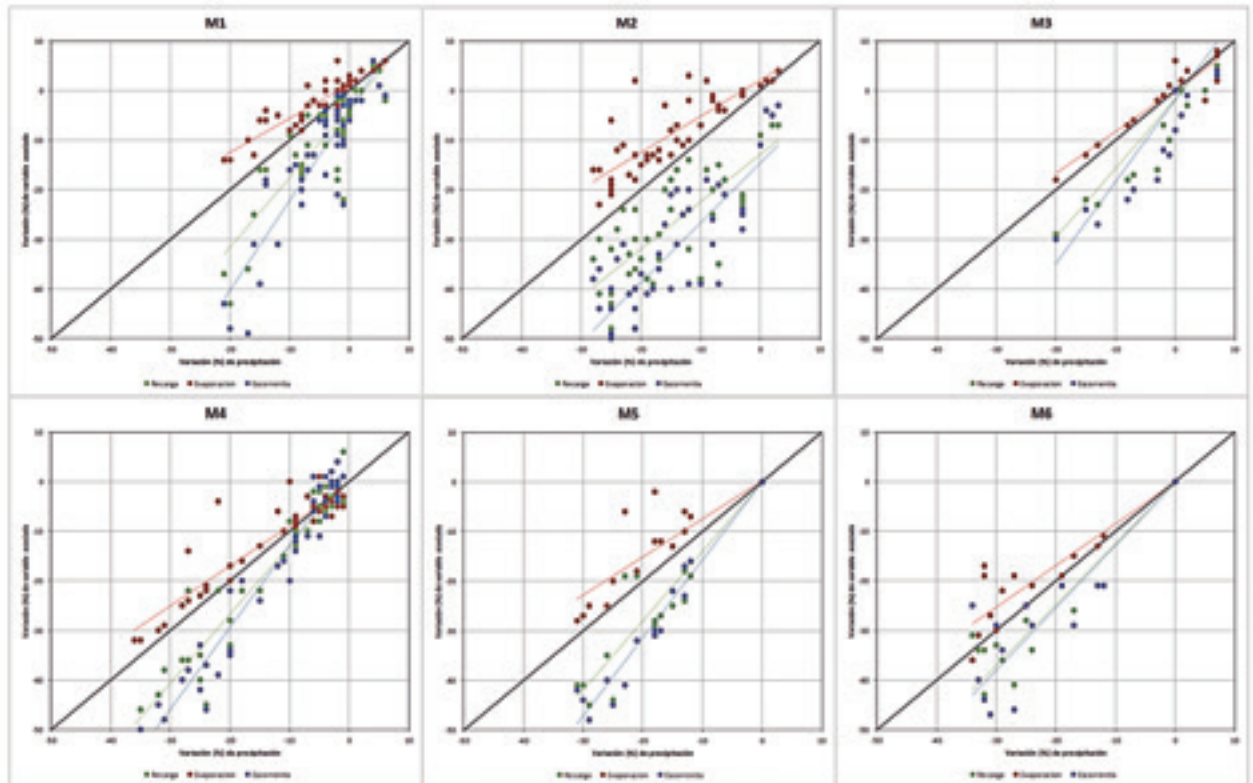


Figura 3.13. Variación de las variables recarga, evapotranspiración real y escorrentía en función de las variaciones de la precipitación, para las hipótesis analizadas en (CEDEX 2011).

3.5 Efectos del cambio climático en la calidad del agua

Un aspecto esencial a considerar es el efecto del cambio climático sobre la calidad del agua superficial y subterránea. La Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE de 23 octubre de 2000) establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Tiene por objetivo principal alcanzar el buen estado de las masas de agua superficiales y subterráneas, así como de las costeras y de transición, protegiéndolas y evitando su deterioro. Ello significa tener que alcanzar el buen estado ecológico y químico en las superficiales; y el buen estado cuantitativo y químico en las subterráneas.

Los resultados de la caracterización preliminar efectuada por la administración española (diciembre 2004) en el análisis de presiones, impactos y riesgos de no alcanzar el buen estado de las masas de agua superficiales se muestran gráficamente en las figuras 3.14 y 3.15, donde se presentan la estimación del riesgo de no alcanzar el buen estado de las masas de agua y sus causas. En el caso de las masas de agua superficiales las causas de riesgo en la cuenca del Tajo son la contaminación puntual y difusa y en el caso de las masas de agua subterráneas la contaminación difusa.

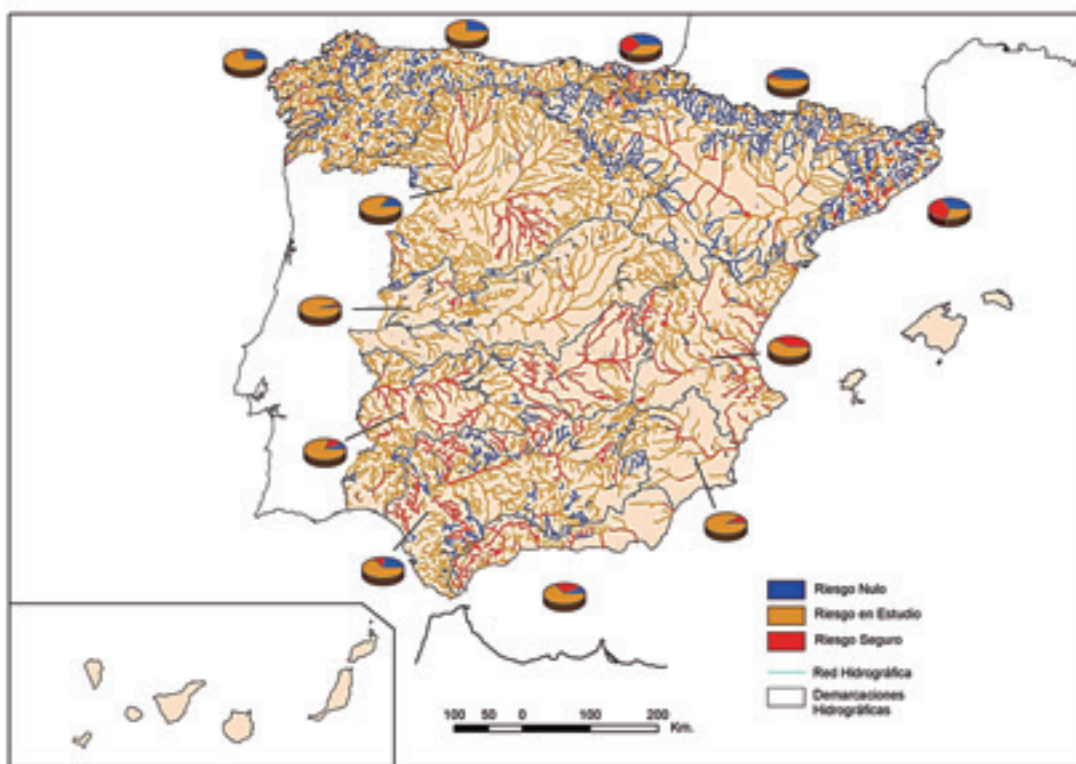


Figura 3.14. Resultado de los estudios del riesgo de no alcanzar el buen estado ecológico de las masas de agua.

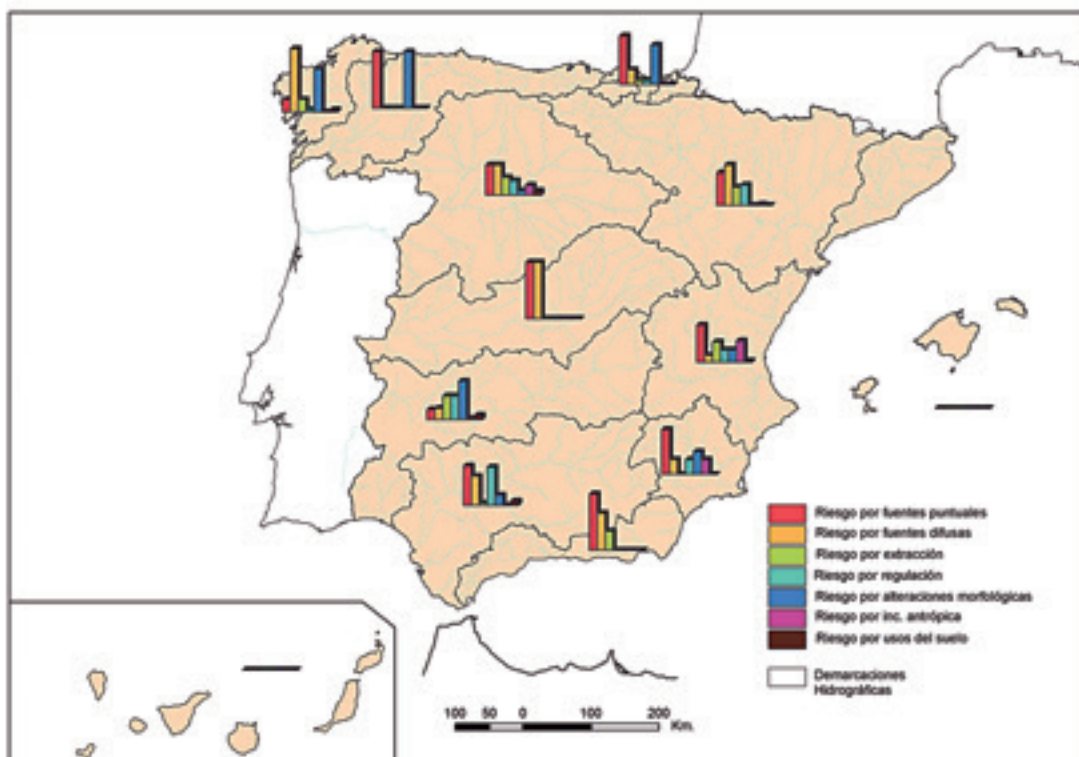


Figura 3.15. Causas de riesgo de no alcanzar un buen estado ecológico de las masas de agua.

La disminución de las escorrentías prevista por el cambio climático y el incremento de temperatura (aumento de dotación de riego para agricultura) afectará significativamente a la calidad del agua. Existen muchas posibles vías de afección, como la disminución de los caudales de dilución, el incremento de la temperatura, con los consiguientes cambios en la actividad de los procesos biológicos y químicos, la modificación del flujo del agua a través del suelo, con la alteración del transporte de nutrientes y contaminantes, etc. Aunque existen muchos procesos implicados, los resultados hasta ahora apuntan hacia un probable deterioro de la calidad, que tendrá como efecto un mayor riesgo de deterioro del estado de las masas de agua, necesidad de intensificación de tratamientos de depuración de aguas residuales y aumento de su coste y peligro de incumplimiento de la normativa europea en la materia con el consiguiente riesgo de penalización.



3.6 Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de la Comunidad de Madrid

OBSERVACIÓN DE APORTACIONES

El efecto específico del cambio climático en la Comunidad de Madrid es muy difícil de cuantificar. Desde el punto de vista de la observación, el Canal de Isabel II lleva registrando las aportaciones de entrada a los embalses desde hace prácticamente 100 años. En la Tabla 3.8 y en la Figura 3.16 se presenta una comparación de los valores medios de las aportaciones en distintos puntos de la red hidrográfica de la Comunidad de Madrid en los periodos 1913-2008, 1940-2008 y 1979-2008. Aunque la aportación media en los dos primeros periodos es muy similar, en el último periodo se ha reducido de manera sustancial, en torno a un 20%. Esta circunstancia puede ser debida al cambio climático, pero también puede ser consecuencia de que la duración de la última serie (unos 30 años) es más reducida que la de las series de referencia (100 y 70 años).

EMPLAZAMIENTO	APORTACIÓN MEDIA SERIE 1913 - 2008 (hm ³ /año)	APORTACIÓN MEDIA SERIE 1940 - 2008 (hm ³ /año)	APORTACIÓN MEDIA SERIE 1979 - 2008 (hm ³ /año)
Pinilla	163,56	157,99	122,66
Riosequillo	52,12	54,35	46,42
Puentes Viejas	85,16	82,16	62,98
El Villar	3,13	4,36	6,54
El Atazar	60,47	59,4	52,41
Total Lozoya	364,44	358,26	291,01
Navacerrada	13,15	12,45	9,46
Manzanares	99,9	98,42	77,49
Total Manzanares	113,05	110,87	86,95
El Vado	179,08	173,59	141,99
Pedrezuela	60,54	56,61	40,04
Total Jarama-Manzanares	717,11	699,33	559,99
Navalmedio	6,66	6,51	6,28
Valmayor	24,21	23,78	21,63
La Jarosa	7,66	7,9	8,45
Total Guadarrama	38,53	38,19	36,36
Medias anuales	755,64	737,52	596,35

Tabla 3.8: Valores de evolución de las aportaciones medias a los embalses del Canal de Isabel II en distintos periodos. Fuente: Canal de Isabel II



© Miguel Ángel Gómez

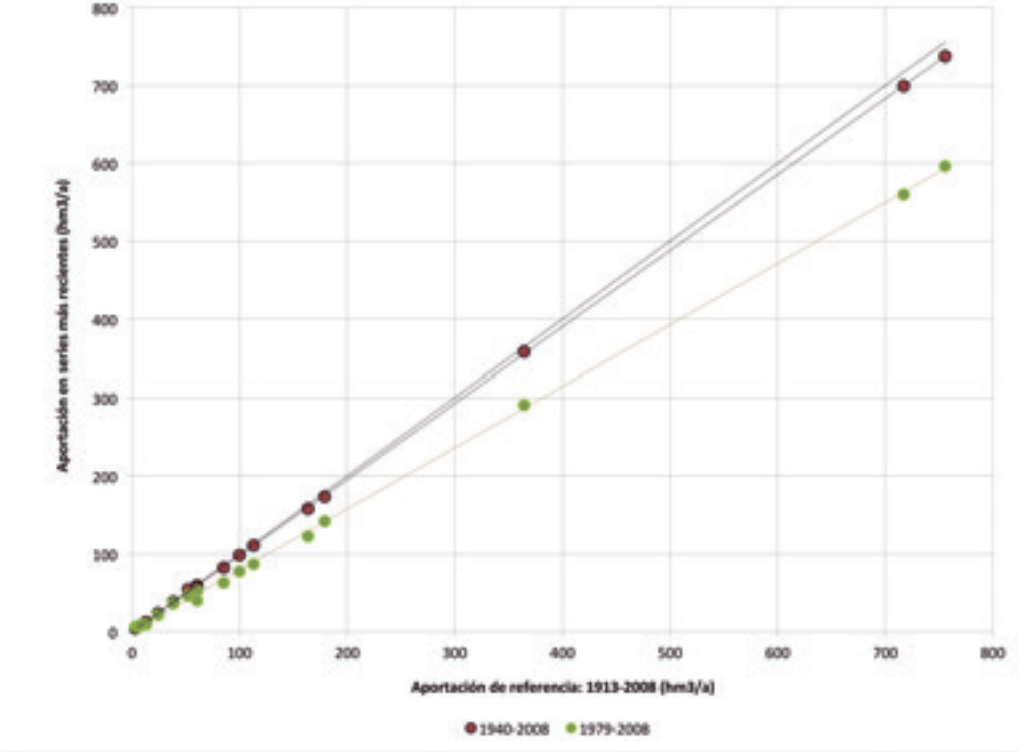


Figura 3.16: Comparación de las aportaciones medias a los embalses del Canal de Isabel II en distintos periodos. Fuente: Canal de Isabel II

Junto a las aportaciones a los embalses, otro componente esencial del ciclo hidrológico que se encuentra amenazado por el cambio climático son las reservas en forma de nieve y las aportaciones por fusión nival (Barnett et al., 2005). Los recursos en forma de nieve han sido controlados por el programa ERHIN (Estudio de los Recursos Hídricos Derivados de la Innivación en Alta Montaña), que realiza el control de las reservas nivales en diferentes ámbitos montañosos españoles, para integrar las aportaciones procedentes de fusión de nieve en la gestión los recursos hídricos. Aunque no hay todavía datos concluyentes, según el Observatorio de la Sostenibilidad, “Se puede constatar que las reservas de agua acumuladas en forma de nieve, como tónica general, han ido disminuyendo desde el año hidrológico 2003-04 hasta el año hidrológico actual” (OSE, 2006). En otras regiones, como California, se ha constatado esta amenaza y se ha estudiado en profundidad, como puede apreciarse en la Figura 3.17.

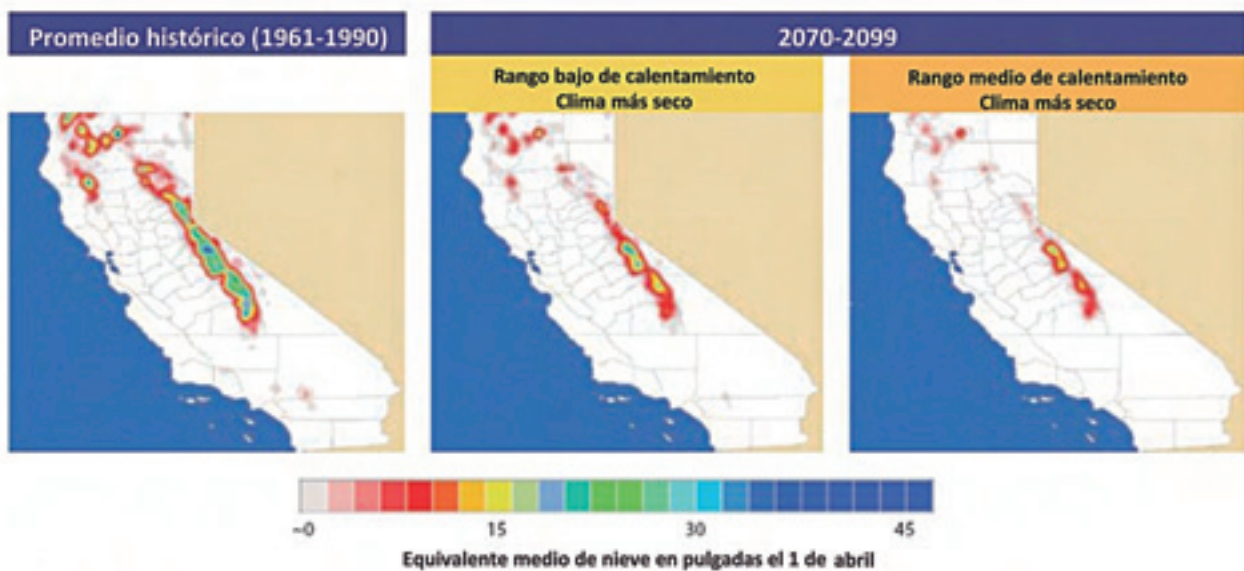


Figura 3.17: Evolución esperada de los recursos en forma de nieve en California. Fuente: Cayan et al., 2006

ESTUDIO REGIONAL ESPECÍFICO

El informe de CEDEX (2011) no contiene información desagregada por comunidades autónomas, ya que su unidad de análisis es la Demarcación Hidrográfica. Las proyecciones de variación de escorrentía correspondientes a la cuenca del Tajo suponen una reducción media del 8% en el periodo 2011-2040, oscilando entre un aumento del 4% y una reducción del 31%, una reducción media entre el 9% (B2) y el 19% (A2) en el periodo 2041-2070, oscilando entre un aumento del 1% y una reducción del 48%, y una reducción media entre el 15% (B2) y el 35% (A2) en el periodo 2071-2100, oscilando entre un aumento del 7% y una reducción del 40%. En la Figura 3.18 se presentan gráficamente estos resultados. Puede apreciarse que, a pesar de la dispersión, los resultados para el último periodo del siglo XXI son bastante coincidentes, especialmente en el escenario de emisiones A2, donde las reducciones esperadas superan el 30% en casi todos los casos.

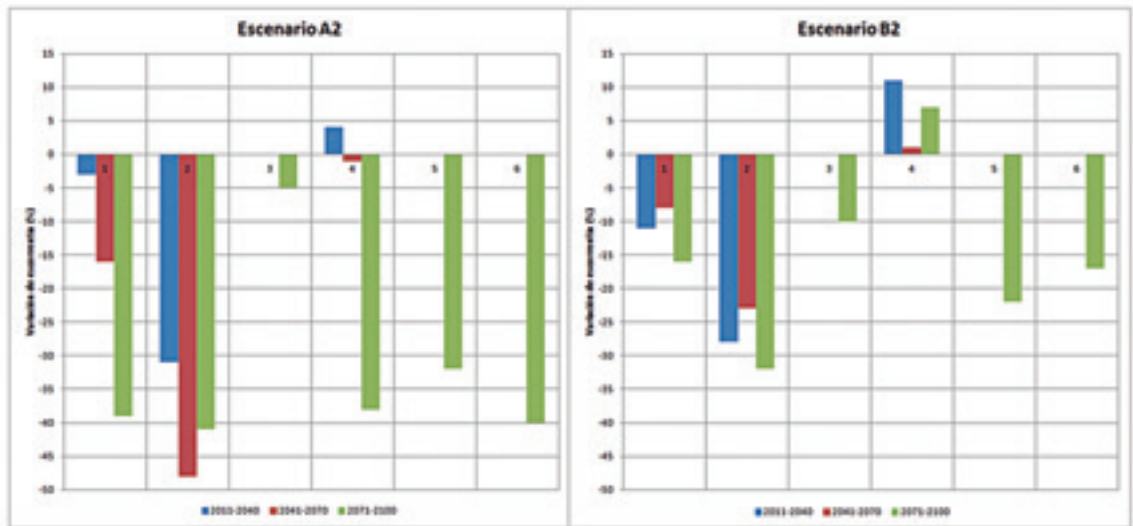


Figura 3.18: Proyecciones de evolución de la escorrentía para la cuenca del Tajo, según estudio de (CEDEX, 2011). Se presentan resultados de los seis métodos de cálculo en los tres horizontes temporales para los escenarios de emisiones A2 (izquierda) y B2 (derecha)

Para realizar un estudio regional específico sobre la Comunidad de Madrid se han analizado los resultados del proyecto europeo PRUDENCE, empleado como base en dos de los métodos de cálculo de (CEDEX 2011). Los resultados de los modelos climáticos regionales empleados en este proyecto están públicamente disponibles y pueden analizarse con detalle. Entre las variables obtenidas mediante estos modelos se encuentra la generación de escorrentía superficial. La representación de los procesos hidrológicos en los modelos de clima regional está muy simplificada con relación a la empleada en el modelo SIMPA, por lo que no se ha conseguido describir las características de la escorrentía española con la misma precisión que otras variables climáticas, como son la temperatura o la precipitación. Sin embargo, su análisis cualitativo permite extraer conclusiones muy interesantes para la Comunidad de Madrid, ya que se trata del conjunto más completo de escenarios regionales de cambio climático para Europa que existe en la actualidad.

Se han analizado resultados de 10 modelos regionales del proyecto PRUDENCE. Se compara el escenario de control (1960-1990) con el escenario A2 en el horizonte 2070-2100, para 4 variables hidrológicas (temperatura, precipitación, evaporación y escorrentía). La Tabla 3.9 muestra la escorrentía total obtenida en España en distintas pasadas de los modelos del proyecto PRUDENCE en el escenario de control y en el escenario de emisiones A2, comparadas con los valores establecidos en el Libro Blanco del Agua. A pesar de la disparidad con la que los modelos representan la situación actual, la mayoría de los modelos coinciden en pronosticar una reducción de aportaciones muy acusada en el escenario futuro, con una media en torno al 35%. Esta estimación está por encima de la cifra obtenida en el estudio de Cedex, 2011, que es una reducción del 28%. Sin embargo, si se comparan los resultados para los dos métodos de regionalización empleados en (CEDEX 2011) que partieron de los resultados de modelos PRUDENCE dan resultados prácticamente coincidentes. El método de regionalización 5 del estudio (CEDEX 2001) empleó los resultados del modelo RCM-RCAO del SMHI, obteniendo una reducción de escorrentía del 28%. El método 6 corresponde al modelo Promes de UCM, dando una reducción de escorrentía del 40%. En la tabla, las reducciones correspondientes a estos

dos modelos son del 31% y 38%, lo que concuerda muy bien con el resultado obtenido mediante el modelo SIMPA por (CEDEX 2011).

ESCENARIO DE CONTROL 1960-1990			ESCENARIO A2 2070-2100		
PASADA	APORTACIÓN MEDIA (km ³ /año)	COMPARACIÓN REAL (%)	PASADA	APORTACIÓN MEDIA (km ³ /año)	VARIACIÓN CONTROL (%)
UCM.Control	113	+10	UCM.A2	70	-38
MPI.3003	64	-37	MPI.3006	40	-38
ICTP.ref	79	-24	ICTP.A2	104	+32
KNMI.HC1	96	-7	KNMI.A2	52	-46
SMHI.HCCTL	102	-1	SMHI.HCA2	71	-31
GKSS.CTL	132	+28	GKSS.SA2	94	-29
ETH.HCCTL	39	-62	ETH.HCA2	23	-40
DMI.HC1	46	-55	DMI.HS1	29	-39
DMI.HC2	48	-54	DMI.HS2	27	-44
DMI.HC3	51	-50	DMI.HS3	27	-46
Promedio	77	-25	Promedio	54	-30

Tabla 3.9: Valores globales de escorrentía en España en los modelos del proyecto PRUDENCE para el escenario de control y el escenario A2

A continuación se presenta un detalle de los resultados que proporciona el proyecto PRUDENCE en las celdas situadas en la Comunidad de Madrid. En la Figura 3.19 se presenta la relación entre los valores obtenidos por los distintos modelos en el escenario de control y el escenario A2 en la Comunidad de Madrid. En la columna de la izquierda están los valores obtenidos en todas las celdas de cálculo correspondientes a la Comunidad de Madrid, mientras que en la columna de la derecha se tienen en cuenta los valores medios territoriales en cada modelo. A pesar de que existe una dispersión importante en los valores absolutos obtenidos por los modelos, hay una gran uniformidad en cuanto a la variación de las variables. En temperaturas se obtiene una reducción media en torno a los 4,4°C, frente a 4°C en el total nacional. En precipitación y evaporación se obtienen reducciones similares en la Comunidad de Madrid y en el total nacional (24% frente a 22,3% en precipitación y 18,8% frente a 15,8% en evaporación). En escorrentía, en la Comunidad de Madrid se obtiene una reducción media del 46%, mucho mayor que la media nacional del 33,4%.

La variación de los valores medios se aprecia mejor en la Figura 3.20, donde se reflejan las diferencias absolutas y porcentuales entre ambos escenarios en las celdas de la Comunidad de Madrid. En temperaturas la variación se aprecia mejor en términos absolutos, donde se aprecian incrementos que oscilan entre los 3,8 y 5,2°C, un rango similar al total nacional. En el resto de las variables (precipitación, evaporación y escorrentía), las reducciones porcentuales son muy importantes (entre el 20% y el 40% en precipitación, entre 0 y 30% en evaporación y entre el 0% y el 100% en escorrentía, excepto en el modelo KNMI, que proporciona incrementos).

En la Figura 3.21 se presentan los valores de variación en función de los valores de referencia obtenidos en el escenario de control para cada una de las celdas de cálculo correspondientes a la Comunidad de Madrid. En la columna de la izquierda se presentan las variaciones absolutas, y en la columna de la derecha las variaciones

porcentuales. Se detecta un incremento significativo del coeficiente de variación y un incremento algo menor del rango estacional. El coeficiente de autocorrelación no presenta valores significativos ni en el escenario de control ni en el A2.

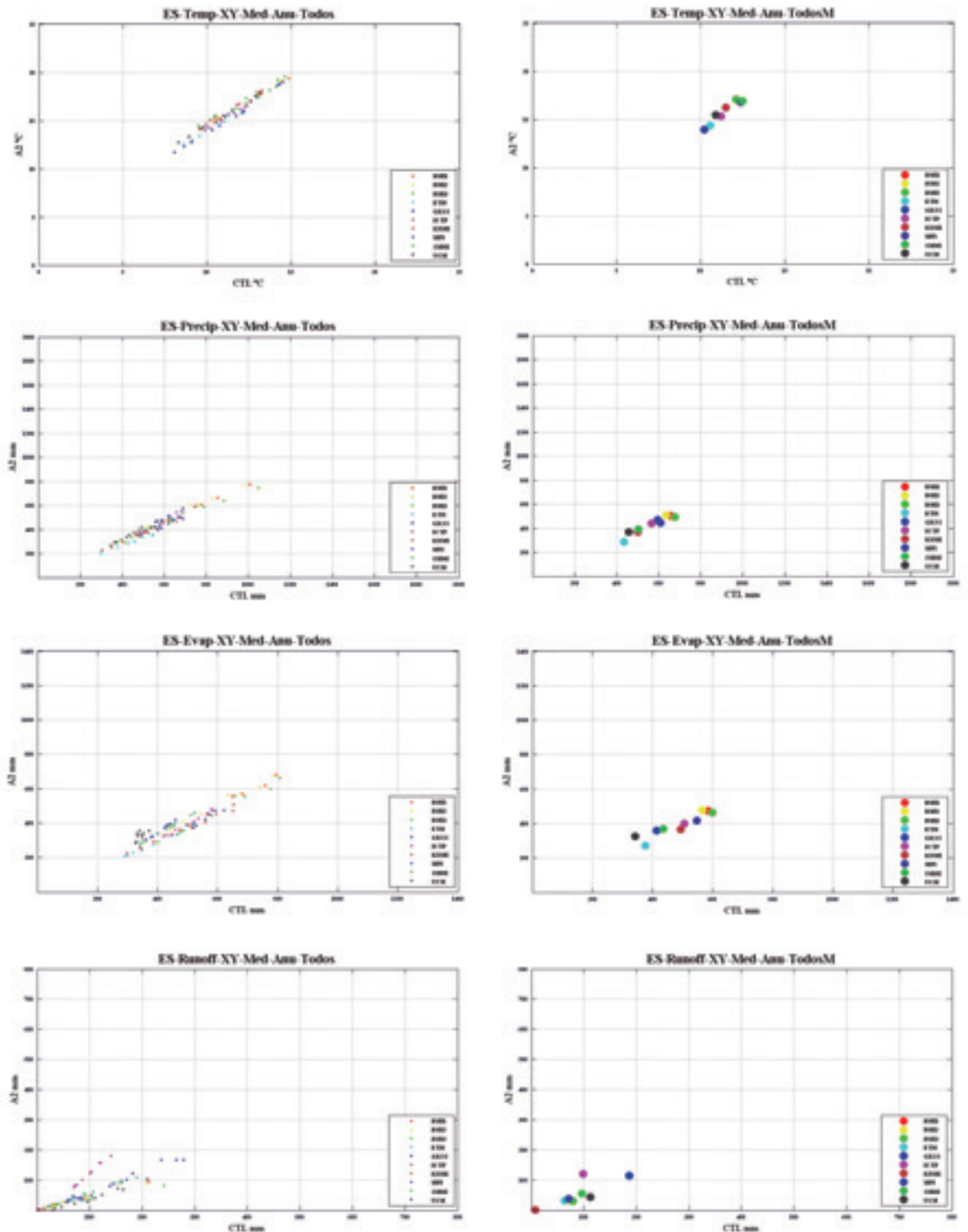


Figura 3.19: Comparación de los valores de temperatura, precipitación, evapotranspiración y escorrentía en el escenario de control (1960-1990) y el escenario A2 (2070-2100) obtenidos en los modelos del proyecto PRUDENCE para las celdas situadas en la Comunidad de Madrid

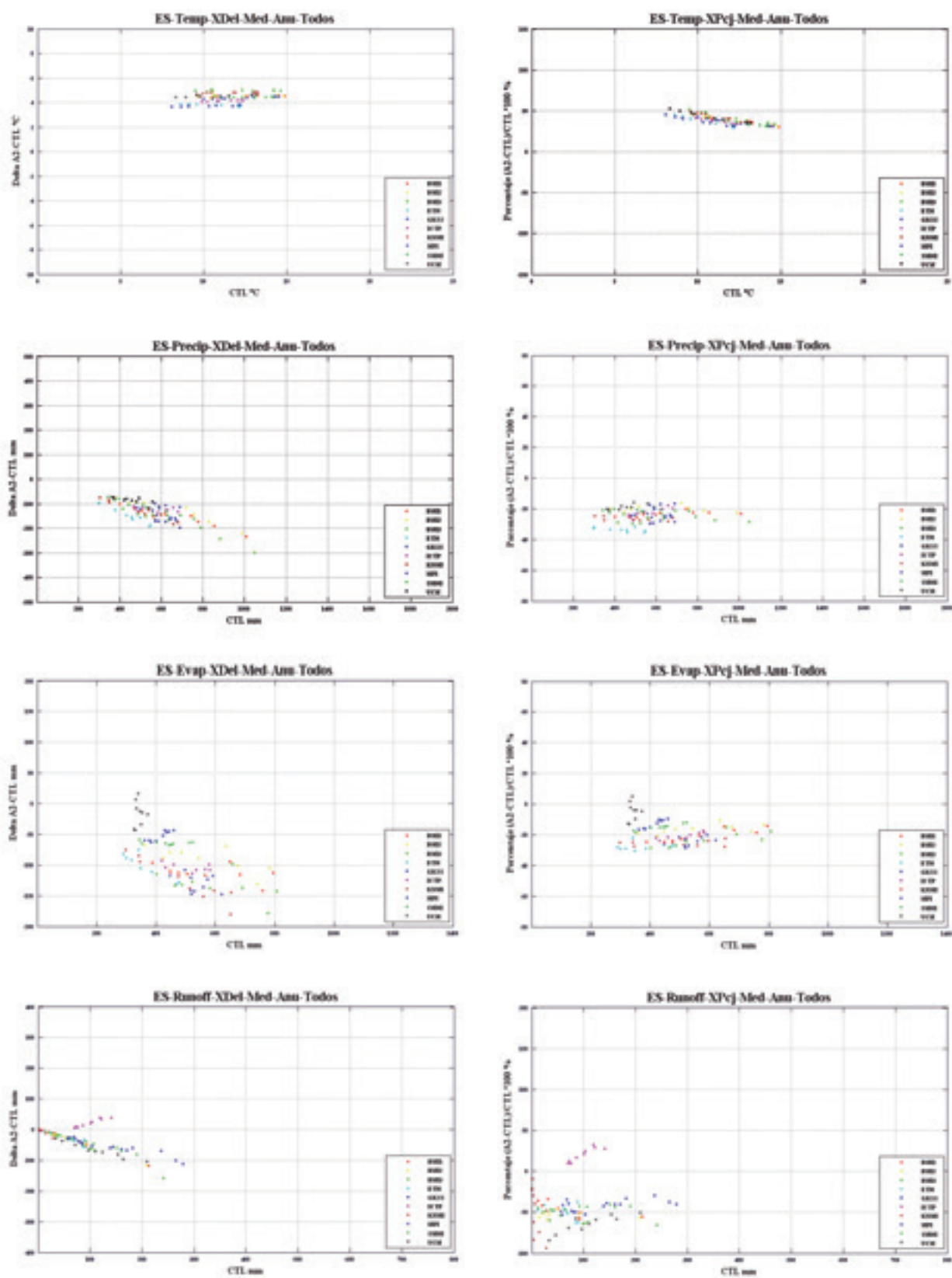


Figura 3.20: Diferencia neta (izquierda) y porcentual (derecha) entre los valores de temperatura, precipitación, evapotranspiración y escorrentía en el escenario A2 (2070-2100) y en el escenario de control (1960-1990) obtenida como media de los modelos del proyecto PRUDENCE para la Comunidad de Madrid

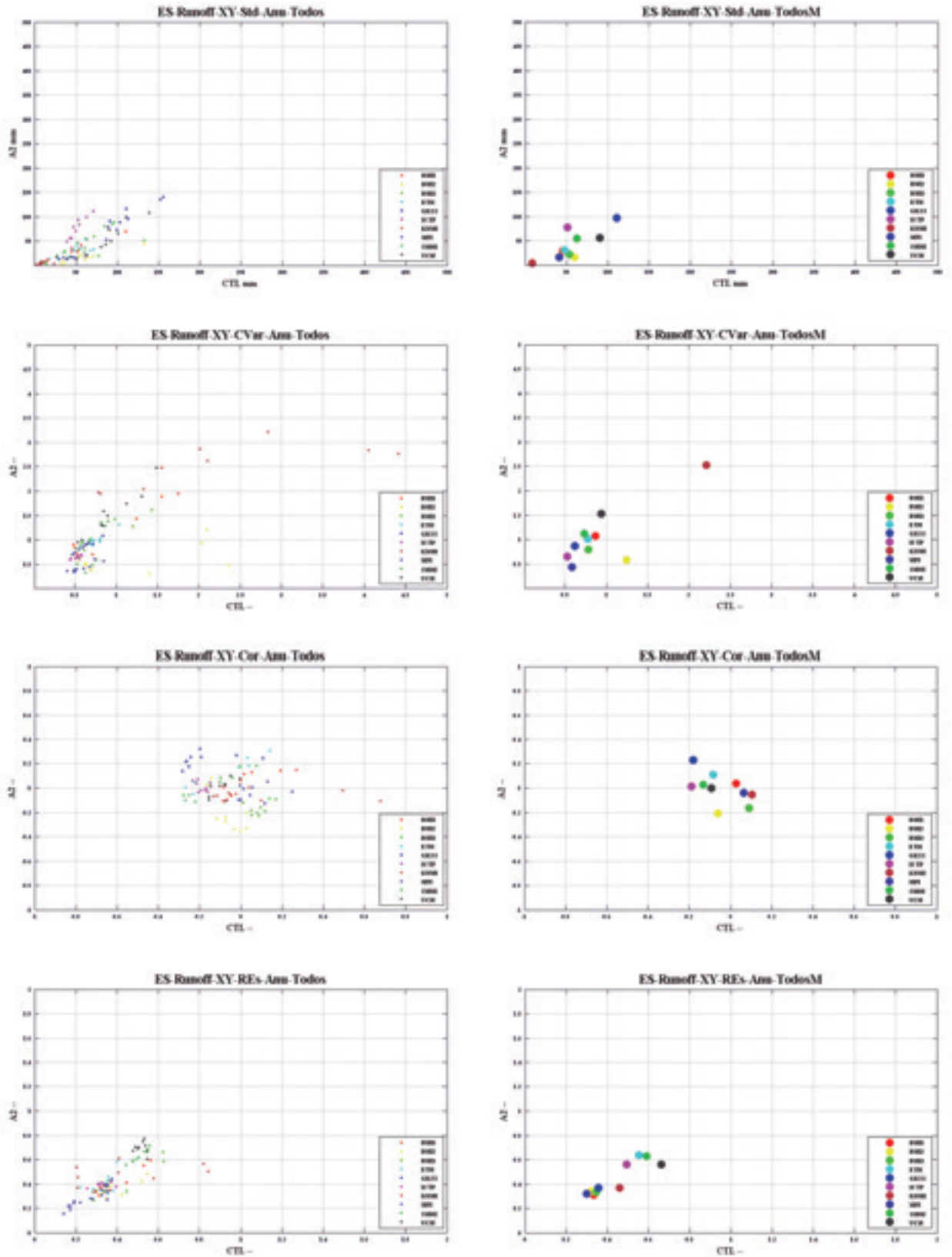


Figura 3.21: Comparación de los valores de desviación típica, coeficiente de variación, autocorrelación y rango estacional en el escenario de control (1960-1990) y el escenario A2 (2070-2100) obtenidos en los modelos del proyecto PRUDENCE para las celdas situadas en la Comunidad de Madrid. A la izquierda se presenta la nube de puntos de todas las celdas y a la derecha el valor medio de cada modelo.

Como resumen se presentan la Tabla 3.10 y la Figura 3.22, donde se muestra la escorrentía media obtenida en la Comunidad de Madrid en los distintos modelos del proyecto PRUDENCE en el escenario de control y en el escenario de emisiones A2. A excepción del ICTP, la mayoría de ellos coinciden en pronosticar una reducción de escorrentía muy acusada en el escenario futuro, que se puede ajustar a una reducción del 48%, valor muy superior a la media peninsular.

PASADA	CONTROL (mm)	A2 (mm)	VARIACIÓN (mm)	VARIACIÓN (%)
DMI1	70.36	33.54	-36.82	-52.34
DMI2	69.37	31.11	-38.26	-55.16
DMI3	78.96	30.34	-48.61	-61.57
ETH	63.26	31.85	-31.41	-49.65
GKSS	186.47	115.06	-71.42	-38.30
ICTP	99.06	120.98	21.92	22.12
KNMI	7.08	1.86	-5.22	-73.73
MPI	71.16	37.51	-33.64	-47.28
SMHI	96.71	54.67	-42.03	-43.46
UCM	112.01	44.43	-67.58	-60.34
Promedio	85.45	50.14	-35.31	-45.97

Tabla 3.10: Valores de escorrentía en la Comunidad de Madrid en los modelos del proyecto PRUDENCE para el escenario de control y el escenario A2

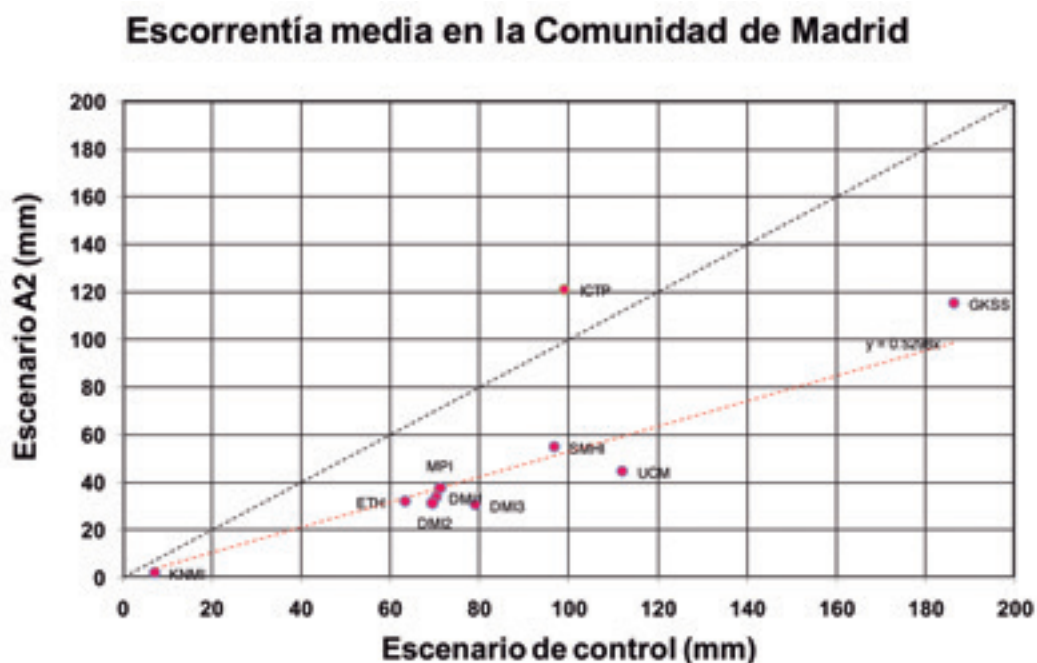


Figura 3.22: Representación gráfica de los valores globales de escorrentía en la Comunidad de Madrid obtenidos en los modelos del proyecto PRUDENCE

3.7 Presiones e impactos sobre los sistemas de recursos hídricos

Los impactos del cambio climático sobre las aportaciones en régimen natural se trasladarán a los usos del agua a través de los sistemas de explotación de recursos hídricos, que desempeñan funciones de regulación, transporte y distribución. Estos sistemas consiguen una profunda transformación de las características naturales de los recursos hídricos para adaptarlos a las necesidades de las demandas.

En el caso del cambio climático, los sistemas de explotación pueden actuar como barrera de amortiguación o amplificación de impactos, dependiendo de las características de su gestión. Se han realizado estudios de estos efectos, donde se ha cuantificado el impacto de los escenarios de cambio climático sobre los usos. Garrote et al. (1999) estimaron el efecto de los escenarios moderado y acusado contemplados en el Libro Blanco del Agua (MMA 2000) en la disminución de los recursos disponibles. Los resultados en una de las alternativas analizadas se resumen en la Tabla 3.11, en la que se presentan los valores de reducción de aportación y recurso teóricamente disponible en cada cuenca peninsular en porcentajes con relación a la situación de referencia (periodo 1960-1990) en el escenario de cambio climático moderado. La reducción del 5% de las aportaciones en la España peninsular supone una reducción del 4% de los recursos disponibles. Por demarcaciones hidrográficas, la mayor reducción de aportaciones la experimentará la del Guadiana, aunque la mayor reducción del recurso disponible tendrá lugar en la del Segura.

De acuerdo con estos resultados, la disponibilidad de volumen de regulación es un indicador de robustez frente a posibles cambios del clima, siempre que la naturaleza de los embalses corresponda a un ciclo de regulación anual. En los sistemas con un volumen de embalse apreciable, la reducción porcentual del recurso disponible es inferior a la reducción porcentual de las aportaciones. Los sistemas con escasa regulación, o los sistemas con exceso de ella, responden peor frente a la reducción de las aportaciones. En el primer caso, la falta de reacción es debida a la poca flexibilidad del sistema, puesto que una reducción porcentual de las aportaciones se traduce en una reducción prácticamente igual del recurso disponible. En el segundo caso, la falta de reacción es debida al agotamiento de la capacidad de regulación de la cuenca. La cuenca del Tajo pertenece a este último grupo, ya que en ella la reducción de disponibilidad es prácticamente idéntica a la reducción de aportaciones.

A la vista de estos resultados, podría pensarse que una de las estrategias apropiadas para hacer frente al cambio climático sería incrementar la regulación de las cuencas. Con vistas a ilustrar sobre la conveniencia de estas actuaciones, Garrote et al. (1999) realizaron una estimación sencilla de su efectividad, que consistió en calcular el incremento de volumen de regulación que sería necesario para mantener, caso de cumplirse el escenario de cambio climático moderado, un valor del recurso disponible en cada ámbito de planificación igual al obtenido en la hipótesis de situación actual. La última columna de la Tabla 3.11 presenta los resultados obtenidos. Las actuaciones en materia de infraestructura podrían resolver los problemas planteados por una reducción de las aportaciones en aquellas cuencas en las que la capacidad regulación es todavía pequeña en comparación con la aportación en régimen natural. En algunas demarcaciones hidrográficas, como el Guadalquivir o el Ebro, que disponen de una distribución equilibrada de la capacidad de embalse, bastaría un incremento porcentual de la capacidad de regulación similar a la reducción de las aportaciones para compensar el efecto del cambio climático. En otras demarcaciones, como el Duero o el Tajo, se necesita un incremento sustancial de volumen de embalse



para compensar una reducción moderada de las aportaciones. Esto es así porque estas demarcaciones disponen ya de varios hiperembalses, con capacidad de regulación interanual, que aprovechan la práctica totalidad de la aportación. En otras demarcaciones, como las del Júcar y el Segura, que han agotado prácticamente sus posibilidades de regulación, el incremento de volumen de embalse no daría prácticamente ningún resultado.

ÁMBITO	INCREMENTO APORTACIÓN (% Aportación)	INCREMENTO DISPONIBILIDAD (% Aportación)	VOL. EMBALSE (% Aportación)	INCREMENTO VOL. EMBALSE (% Vol. Embalse)
Norte	-2	-3	10	9
Duero	-6	-5	56	20
Tajo	-7	-7	102	39
Guadiana	-10	-6	176	25
Guadalquivir	-8	-3	103	7
Sur	-7	-4	56	8
Segura	-11	-9	152	79
Júcar	-9	-8	98	94
Ebro	-5	-3	43	11
C.I. Cataluña	-5	-4	28	14
Total Península	-5	-4	51	25

Tabla 3.11: Efectos de los sistemas de explotación en las disponibilidades en situación de cambio climático, según Garrote et al. (1999)

Del mismo modo, las reglas de gestión de los sistemas de explotación pueden compensar significativamente la reducción en las aportaciones naturales. Las medidas de gestión de la demanda pueden conseguir una disminución progresiva de las necesidades mucho mayor que la que se produce naturalmente como consecuencia del cambio climático. Para ello es necesario coordinar una serie de actuaciones en materia de concienciación y educación de la población, inversión en conservación, mantenimiento y mejora de instalaciones, establecimiento de reglas de intercambio de usos e incremento de la flexibilidad de la operación.

3.8 Presiones e impactos sobre el sistema de abastecimiento a Madrid

Es muy difícil determinar el efecto que podrían tener los diferentes escenarios de cambio climático sobre el sistema de abastecimiento de Madrid, debido a la dispersión que presentan las distintas proyecciones para cada escenario y a la gran complejidad del sistema. El único antecedente son los ya mencionados estudios realizados con ocasión de la redacción del Libro Blanco del Agua, donde se analizó el recurso disponible en los escenarios moderado y acusado de cambio climático.

En la Tabla 3.12 se presenta el detalle de los resultados obtenidos en las cuencas del abastecimiento de Madrid. Estos estudios se realizaron con las series de aportaciones estimadas mediante el modelo SIMPA, que en la cuenca del Jarama presentan una gran discrepancia con relación a los valores obtenidos mediante el modelo Sacramento utilizado en la redacción del Plan Hidrológico del Tajo de 1998. Por este motivo, los resultados no son muy representativos del funcionamiento real del sistema de explotación. A pesar de ello, sí puede deducirse que el sistema se encuentra en una situación de gran exposición frente a la reducción de aportaciones, ya que se comprueba que los porcentajes de reducción de la aportación y su disponibilidad son muy similares en la mayor parte de los embalses. Esto indica que, salvo en el caso de los ríos Sorbe y Jarama, los recursos propios en los ríos de la Comunidad con los que cuenta el abastecimiento de Madrid se encuentran próximos a la máxima regulación posible, dadas las características hidrológicas de sus aportaciones.

EMPLAZAMIENTO	APORTACIÓN MEDIA (hm ³ /año)	VOLUMEN DE EMBALSE (hm ³)	DISPONIBILIDAD (hm ³ /año)	ESCENARIO MODERADO (% Reducción)		ESCENARIO ACUSADO (% Reducción)	
				Aportación	Disponibilidad	Aportación	Disponibilidad
Manzanares en E. Manzanares	79,52	91	19,51	7	7,74	17	16,91
Navacerrada en E. Navacerrada	11,73	11	2,97	7	7,74	17	16,84
Lozoya en E. Atazar	210,67	588	64,31	7	7,79	17	20,07
Jarosa en E. Jarosa	14,94	7	2,09	7	10,53	17	13,88
Jarama en E. El Vado	121,14	55	37,32	7	7,61	17	17,98
Guadalix en E. Predrezuela	47,98	39	12,86	7	9,41	17	18,66
Aulencia en E. Valmayor	26,18	124	2,37	7	7,59	17	16,88
Total abastecimiento Madrid	516,83	915	141,42	7	7,82	17	18,75

Tabla 3.12: Disponibilidad de agua regulada en diversos puntos del sistema de abastecimiento a Madrid



En consecuencia, las medidas de adaptación al cambio climático en la cuenca deben centrarse fundamentalmente en la gestión de la demanda y en la obtención de recursos complementarios fuera de la Comunidad, puesto que los recursos procedentes de la reutilización de aguas residuales regeneradas tienen una utilización limitada y exigen grandes inversiones en infraestructura de distribución. En cualquier caso, en las transferencias de recursos desde otras cuencas próximas habrá que tener en cuenta los impactos sociales y ambientales que puedan presentarse.

La situación de la Comunidad de Madrid con relación a la eficiencia de uso del agua es ya muy favorable, en parte debido a los esfuerzos del CYII en el contexto de la gestión de la demanda (tarifas por bloques y estacionales) e iniciativas de sensibilización y educación. Existen instrumentos de planificación (como el Plan Municipal de Gestión de la Demanda de Agua) y normativos (Ordenanza Municipal de Uso Eficiente del Agua), que constituyen la base para iniciar una acción decidida de gestión de la demanda. Junto a ello, está en marcha un programa de reutilización de aguas residuales regeneradas, que ofrece este servicio a distintos usuarios.

3.9 Efectos de los escenarios de cambio climático en las inundaciones

CONTEXTO GENERAL

A partir de los años ochenta del siglo pasado, y desde una perspectiva mundial, es evidente el incremento de los daños por catástrofes naturales. Hasta el momento no ha podido establecerse cuál es la incidencia del cambio climático en esta evolución con relación a las catástrofes climáticas, aunque los expertos señalan indicios de su influencia. Las principales reaseguradoras atribuyen la carga causal de ese incremento a otros factores más determinantes que el cambio climático, entre los que cabe citar: la concentración de personas y valores; la ocupación de zonas de riesgo; el incremento del valor de las exposiciones, y malas prácticas en la gestión medioambiental y de los usos del suelo.

En las evaluaciones de IPCC, algunos autores afirman que hay una cierta tendencia al aumento de la ocurrencia de inundaciones al menos en algunos ríos europeos, pero esta tendencia no es generalizada y no se puede atribuir inequívocamente al cambio climático. Las inundaciones son sucesos extremos, y su escasa frecuencia hace muy difícil la identificación de tendencias, que resultan enmascaradas por la variabilidad natural. La alteración por estructuras y los patrones de ocupación del terreno están relacionados con las consecuencias de los fenómenos.

En el proyecto PESETA se realizó una evaluación preliminar del efecto del cambio climático en las inundaciones mediante modelación física de caudales circulantes a escala diaria a partir de los resultados de los modelos climáticos regionales, obteniendo resultados muy variables en las distintas zonas geográficas y en los dos escenarios de emisiones analizados (Ciscar et al., 2009). La Figura 3.23 muestra la variación de los caudales de 100 años de periodo de retorno en dos escenarios de emisiones en el horizonte 2070-2100 con relación al periodo de control 1960-1990 para la zona analizada. En concreto, en la Península Ibérica coexisten tendencias positivas y negativas, que son además diferentes en los dos escenarios de emisiones analizados.

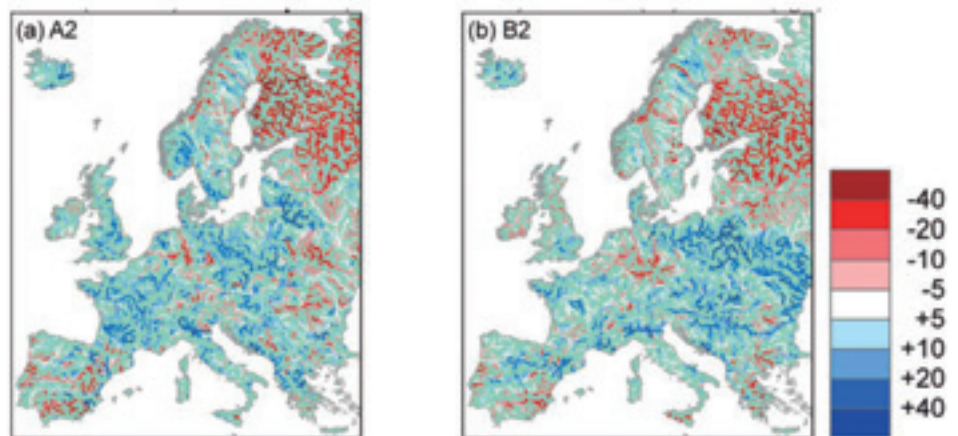


Figura 3.23: Cambio relativo del caudal de 100 años de periodo de retorno en el horizonte 2070-2100 con relación al periodo de control 1960-1990 en los ríos principales de la zona analizada en el proyecto PESETA. Fuente: Ciscar et al., 2009

ESPAÑA Y LA COMUNIDAD DE MADRID

Hasta el momento no se ha realizado un estudio generalizado del impacto del cambio climático en las inundaciones a escala nacional en España. El Centro de Estudios Hidrográficos dedicó una parte de su estudio sobre Evaluación del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en España al análisis de las precipitaciones máximas diarias, encontrando dificultades en el análisis debido a que, en general, las propiedades estadísticas de las series de lluvia máxima diaria de las proyecciones están infravaloradas y que sus distribuciones de frecuencia son distintas de las procedentes de las series observadas. Como ejemplo se presenta la Figura 3.24, que corresponde a la comparación en la zona de Madrid (303) entre la lluvia máxima diaria observada y la proyectada por los modelos en el periodo de control 1960-1990, y el diagrama QQ (comparación de cuantiles) en las mismas condiciones para las distintas proyecciones. Las proyecciones con las que se trabajó en el estudio de máximos son resultado de un conjunto de modelos de circulación global, CGCM2, ECHAM4, HadAM3 y HadCM3, y de procedimientos de regionalización estadística: método de análogos FIC para tres de ellos y regresión lineal SDSM para el último

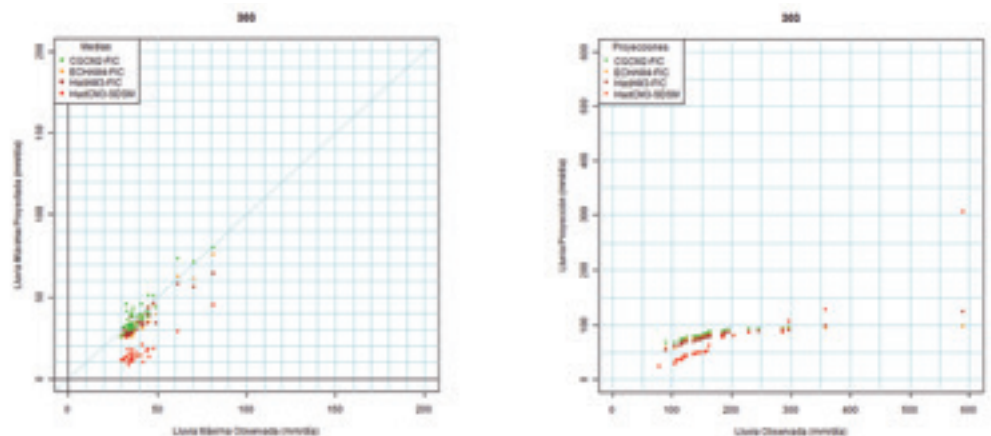


Figura 3.24: Comparación de la lluvia máxima diaria (izquierda) y los cuantiles de la distribución (derecha) en el periodo de control 1960-1990 para la zona 303 (Madrid). Fuente: (CEDEX, 2011)

En el estudio de tendencias realizado sobre 8 series representativas no se encontró incremento de la precipitación máxima diaria, sino una ligera tendencia decreciente. En la Figura 3.25 se presenta la comparación entre las medias de las precipitaciones máximas diarias de los distintos modelos estudiados en la situación de control (1960-1990) y el escenario de emisiones A2 en el horizonte 2070-2100. En la figura no se aprecian variaciones significativas entre las dos situaciones.

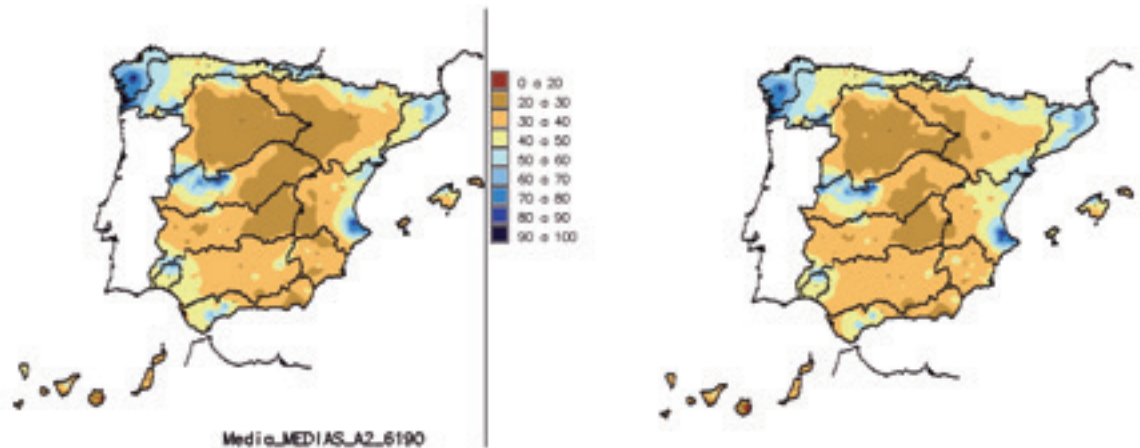


Figura 3.25: Comparación entre las medias de las precipitaciones máximas diarias de los distintos modelos estudiados en la situación de control en 1960-1990 (izquierda) y el escenario de emisiones A2 en el horizonte 2070-2100 (derecha). Fuente: (CEDEX, 2011)

En cuanto a la lluvia asociada a un periodo de retorno, se muestra en la Figura 3.26 la variación de la lluvia máxima diaria de 100 años de periodo de retorno entre la situación de control (1960-1990) y el escenario de emisiones A2 en el horizonte 2070-2100 para tres proyecciones diferentes (CGCM2-FIC, ECHAM4-FIC y HadCM3-SDSM). La distribución de la variación es irregular, y en gran parte de la Península Ibérica se producen disminuciones de la lluvia de 100 años de periodo de retorno.



Figura 3.26: Variación en % de la lluvia máxima diaria de 100 años de periodo de retorno entre la situación de control en 1960-1990 y el escenario de emisiones A2 en el horizonte 2070-2100 para tres proyecciones diferentes: CGCM2-FIC (izquierda), ECHAM4-FIC (centro) y HadCM3-SDSM (derecha). Fuente: (CEDEX, 2010)

Las discrepancias entre valores observados y proyectados añaden incertidumbre a las conclusiones del análisis del CEDEX, pero, en líneas generales, los análisis de tendencia realizados sobre máximos diarios no permitieron identificar un crecimiento monótono de la lluvia máxima para el conjunto de regiones en España (Tabla 3.13). Al contrario, en la mayoría de las regiones, las lluvias máximas diarias tienen una componente decreciente. Estas conclusiones contrastan con las consideraciones del informe técnico del IPCC, que sugieren impactos más claros en el régimen de extremos para los cambios previstos en temperatura y precipitación total en España.

Tanto el Informe del IPCC Grupo Trabajo II: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad como el Informe ACACIA (*A Concerted Action Towards a Comprehensive Impacts and Adaptations Assessment for the European Union*), centrado en la región mediterránea, prevén un incremento del carácter torrencial de las precipitaciones en la zona y en consecuencia un aumento del peligro y riesgo potencial por inundación. Posiblemente este efecto se manifieste a través de chubascos de corta duración difícilmente apreciable a través de los valores máximos diarios.



4 Impactos inducidos en sectores que dependen del agua

4.1 Introducción

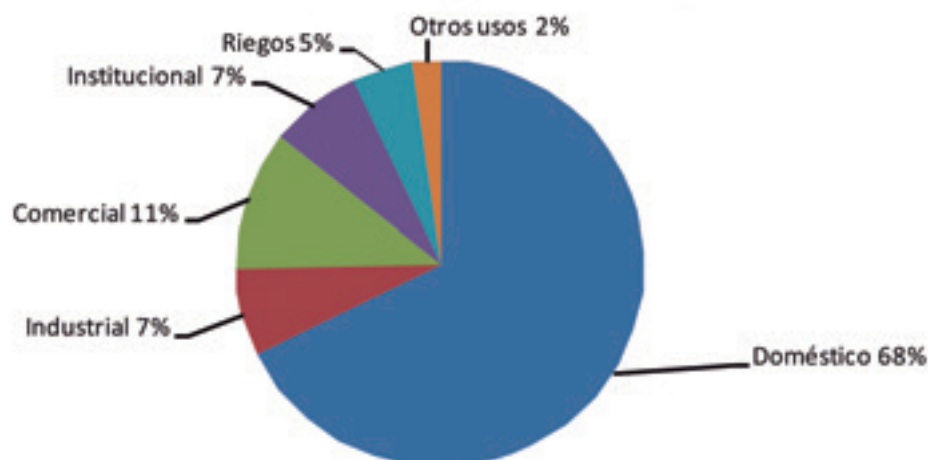
Además de los impactos sobre los propios sistemas de explotación, los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos pueden dejarse sentir en varias actividades dependientes de ellos. En algunos casos la disponibilidad de los recursos hídricos puede constituir un factor decisivo para la viabilidad de la actividad a largo plazo de la actividad, mientras que en otros será un condicionante más a tener en cuenta en el futuro. En este capítulo se presenta un estudio de la repercusión del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en otros sectores en la Comunidad de Madrid. De acuerdo con lo expresado en el apartado 1.3, en este estudio se han considerado los siguientes sectores:

- Vegetación natural y biodiversidad
- Sector agrícola
- Industria y energía
- Turismo
- Seguros
- Urbanismo y construcción
- Demografía y migraciones
- Salud



En la Figura 4.1 se presenta la distribución sectorial de los consumos de agua en el Municipio y en la Comunidad de Madrid. La vinculación de cada sector con el agua ha sido estudiada con detalle en (Naredo et al., 2009). Según datos del Canal de Isabel II, el consumo doméstico constituye aproximadamente el 68,5% del consumo total de agua del Canal. Los sectores industrial, comercial e institucional tienen un peso en el consumo del 7,7%, 10,56 y 5,6% respectivamente. Los riegos urbanos controlados suponen el 2,9% del total, y el resto se atribuye a “otros usos”.

Distribución de la demanda de agua en el municipio de Madrid



Distribución de la demanda de agua en la Comunidad de Madrid

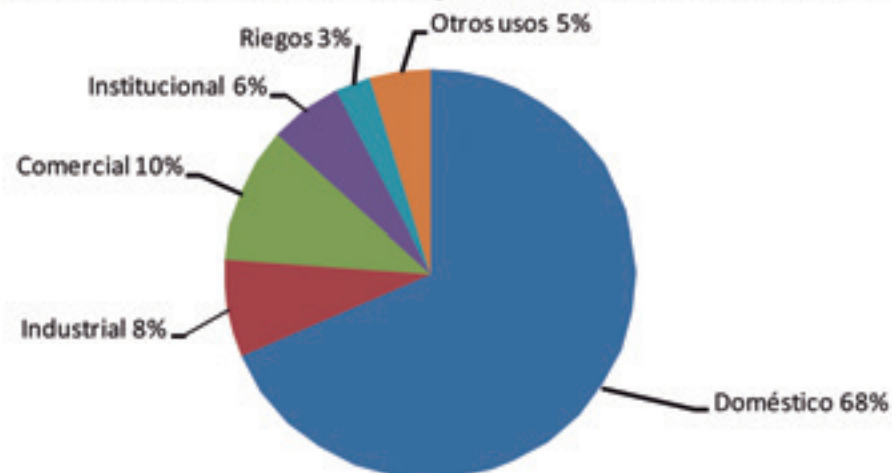


Figura 4.1: Distribución de la demanda en el municipio de Madrid, 2003 (Fuente: Ayuntamiento de Madrid, 2005) y en la Comunidad de Madrid (Fuente: Naredo et al., 2009)

En la Tabla 4.1 se caracterizan y contextualiza la importancia de los sectores directamente relacionados con el agua, y que son los que se analizan en detalle en los apartados siguientes.

SECTORES	RELACIÓN CON EL AGUA	IMPORTANCIA ECONÓMICA EN LA COMUNIDAD DE MADRID
Vegetación natural y biodiversidad	Numerosos lugares de interés ecológico o paisajístico están asociados a ecosistemas acuáticos creados por cursos fluviales.	Los espacios naturales tienen una importancia estratégica en la Comunidad de Madrid, debido a la preponderancia del uso de suelo urbano.
Agricultura	<p>En 2006 se dispusieron 17.473 hm³ de agua para el regadío en España. El 80% del agua es superficial y el 19% subterránea (INE, 2006)</p> <p>La producción depende en gran medida de la disponibilidad de agua para la agricultura y de la distribución regional de las precipitaciones, factores que permanecen inciertos.</p>	<p>La agricultura supuso el 0,13% del PIB de la Comunidad en el 2007.</p> <p>El sector ocupaba a 29.000 personas en el 2006 (Comunidad de Madrid, 2009)</p>
Industria y energía	<p>En la industria el agua se utiliza para limpiar, calentar, enfriar, generar vapor, como materia prima, como disolvente, como parte constitutiva del propio producto etc. (INE, 2006b). Del total de agua utilizada por las industrias manufactureras un 35% no retorna al medio ambiente (INE, 2006b). Según un estudio llevado a cabo por Prointec las instalaciones IPPC en la Comunidad de Madrid consumen 23.384.099 m³ anuales.</p> <p>Por otro lado el vertido de las aguas de origen industrial también tiene impactos considerables para los riegos (INE, 2006b)</p>	<p>El importe neto de la cifra de negocios industrial alcanzó los 628.903 millones de euros en el 2008. (INE, 2008)</p> <p>El sector industrial empleó a 2.514.397 personas en el 2008 (INE, 2008)</p> <p>En el 2008 el consumo de energía final para la Comunidad fue de 11.566 ktep, casi el 11% del total nacional (FENERCOM, 2008)</p> <p>Dentro de ese consumo, el transporte supuso 5.798 ktep, prácticamente el 50% del consumo total de la Comunidad (FENERCOM, 2008).</p>
Turismo	<p>La escasez de agua provocará problemas de funcionalidad o viabilidad económica de ciertos destinos.</p> <p>La elevación del nivel del mar amenazaría la localización actual de determinados asentamientos turísticos y de sus infraestructuras.</p>	<p>En 2007 el turismo supuso el 6.3% del PIB de la Comunidad de Madrid y generó más de 12.000 millones de Euros (Comunidad de Madrid, 2007)</p> <p>En el 2008 el sector turístico empleó a un total de 395.647 personas. (ITA, 2008)</p>
Seguros	Inundaciones y sequías	La actividad aseguradora representó en España el año 2009 el 5,9% del PIB
Urbanismo y construcción	El modelo de urbanismo extensivo imperante en nuestro país plantea problemas de aumento del uso de recursos por vivienda	La rápida urbanización en los últimos años, sobre todo en la ciudad de Madrid, ha sido uno de los principales motores económicos de la región
Demografía y migraciones	La escasez de agua puede acarrear movimientos migratorios en masa.	Madrid es un foco de atracción para migraciones procedentes del norte de África. La inmigración puede suponer un fuerte crecimiento de la demanda
Salud	Hay muchas enfermedades cuya transmisión está asociada al agua	Puede incrementarse la incidencia de enfermedades exóticas

Tabla 4.1: Resumen de los sectores afectados por el agua e importancia económica en la Comunidad de Madrid

4.2 Ecosistemas

LOS ESPACIOS NATURALES EN LA COMUNIDAD DE MADRID

A pesar de que la Comunidad de Madrid es preponderantemente urbana (o, posiblemente debido a ello), los espacios naturales tienen una importancia estratégica; los Espacios protegidos integrados en la Red Natura 2000 están constituidos por 7 Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), uno de ellos declarado como Zona Especial de Conservación (ZEC), y 7 Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). Los Espacios Protegidos de la Red Natura 2000 en la Comunidad de Madrid representan aproximadamente el 40% de su territorio.

Los espacios naturales más destacados son el Parque Natural de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara, el Parque Regional del curso medio del Guadarrama, el Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares, el Parque Regional del Sureste, en los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama, el Hayedo de Montejo, la Reserva Natural del Mar de Ontígola en Aranjuez, el Pinar de Abantos y el Monte de El Pardo. Varios de estos parques están asociados a los ecosistemas acuáticos creados por los cursos fluviales del Manzanares, Jarama, Guadarrama y Tajo. Destacan los siguientes:

- El Parque Natural de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara protege 768 hectáreas en la zona central de la Sierra de Guadarrama. Incluye el pico más alto de la Sierra de Guadarrama (Peñalara), tres pequeños circos, dos morrenas y unas veinte lagunas de origen glaciar. Durante las estaciones más húmedas (otoño y primavera), manan de las lagunas mayores una serie de arroyos que constituyen la cabecera de la cuenca del río Lozoya.
- La vegetación de este parque natural está compuesta por formaciones arbustivas de alta montaña, pastizales y bosques de pino silvestre que sólo se dan en las zonas más bajas. En las partes más altas predominan las praderas alpinas y los roquedales. Algunas especies animales que habitan este paraje son el buitre negro, el águila imperial, pequeños mamíferos y anfibios en las lagunas. Al parque se accede por varios caminos que salen del puerto de Cotos, un centro turístico de la región. En el espacio natural, muy visitado en días festivos, se puede practicar el senderismo, la escalada y el esquí de fondo durante el invierno.
- El Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares incluye en sus 52.796 ha algunos de los ecosistemas mejor conservados de la Comunidad, con sotos fluviales, zonas húmedas, bosques y zonas de interés paisajístico, como la Pedriza del Manzanares. La fauna es variada, con diversidad de rapaces, rebecos, jabalí y cabra montesa, junto con especies en peligro de extinción como el buitre leonado y el águila imperial. El parque incluye el Monte de El Pardo, que es una zona boscosa situada al noroeste de Madrid, a lo largo del curso medio del río Manzanares. Se trata del bosque mediterráneo más importante de la Comunidad de Madrid. El Alto Manzanares es también reserva de la biosfera.
- El Parque Regional del Sureste ocupa una superficie de 31.552 ha que se extienden a lo largo del río Jarama, e incluyen también la zona baja del Manzanares. En el parque hay ecosistemas

variados: sotos y riberas de ríos, humedales y lagunas, llanuras cerealistas, cerros con cortados y cantiles yesíferos, etc. Su fauna incluye pequeños mamíferos, como la comadreja, erizo, gato montés, liebre, murciélago, etc., gran variedad de aves típicas de los humedales y de la meseta castellana, incluso con presencia de la avutarda, reptiles y anfibios y distintas especies de peces (black bass, trucha arco iris, tenca, perca, gobio, lucio, etc.).

- El Parque Regional del curso medio del Guadarrama ocupa 22.116 ha de la zona oeste de la región. Se trata de una franja de unos 50 km de longitud y unos 5 km de anchura a lo largo de las riberas del río Guadarrama e incluyendo también el embalse de Valmayor en el río Aulencia. Sus ecosistemas principales son los sotos y riberas, encinares, pastizales y matorrales, los pinares y los cultivos de secano. La vegetación de ribera acoge numerosos anfibios (sapo común, sapo partero y sapo corredor y reptiles (galápago leproso, culebra de agua). También hay numerosas aves acuáticas, como la garza, el ánade real, el somormujo, etc. En los encinares nidifican numerosas aves, y las zonas cerealistas dan cobijo a pequeños mamíferos (liebre y conejo) y aves (perdiz y avutarda). Es uno de los parques más influenciados por la presión demográfica, con urbanizaciones que llegan incluso al borde mismo del río.

- La Reserva del Regajal-Mar de Ontígola es un humedal situado en la ciudad de Aranjuez. Es una laguna artificial de unos 700 m de largo por unos 150 m de ancho que data del siglo XVI y ha ido integrándose en el paisaje con el tiempo, de forma que en la actualidad tiene una apariencia totalmente natural. Consta de 635 ha que fueron declaradas reserva Natural en 1994. En la mayor parte del humedal se encuentra presente el carrizo, enea y juncos, vegetación tipo palustre, que prácticamente cubre la laguna y da cobijo a numerosas aves acuáticas. A pesar de su pequeño tamaño, es considerado como uno de los espacios más importantes entomológicos de Europa.

Junto a estos espacios reconocidos actualmente mediante figuras de protección legal se debe resaltar el futuro Parque Nacional de Guadarrama, que pretende proteger unas 30.000 ha de la vertiente sureste de la Sierra de Guadarrama en la Comunidad de Madrid. El parque incluye parte de las cuencas de los ríos Guadarrama, Manzanares y Lozoya, junto con varias pequeñas lagunas de origen glaciar que están protegidas en el entorno de Peñalara.

LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Según (Locatelli y Kanninen, 2010) los ecosistemas proveen tres tipos de servicios a la sociedad (Tabla 4.2): los servicios de suministro (que contribuyen a producir productos útiles para la sociedad, como alimentos, fuentes de energía, componentes bioquímicos, recursos genéticos, fibras y madera), los servicios de regulación (como la regulación del clima, de la cantidad y calidad de agua, de la fuerza de los vientos o las olas) y los servicios culturales (por ejemplo, espirituales, religiosos o educativos).

Los servicios ecosistémicos, a su vez, contribuyen al bienestar humano, puesto que aportan seguridad, bienes materiales, salud y facilitan las relaciones sociales. Estos vínculos entre servicios ecosistémicos y bienestar pueden

referirse a la vulnerabilidad frente al cambio climático. Los servicios de regulación reducen la exposición a eventos climáticos: pueden compensar la reducción de precipitación, moderar la fuerza del viento, reducir la temperatura del aire durante olas de calor, etc.

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS		COMPONENTES DEL BIENESTAR
Servicios de base Servicios necesarios para la producción de los demás servicios ecosistémicos <ul style="list-style-type: none"> - Formación de suelo - Ciclo de nutrientes - Producción primaria - Provisión de hábitat 	Servicios de suministro Productos que se obtienen de los ecosistemas <ul style="list-style-type: none"> - Alimentos - Leña - Fibras - Bioquímicos - Recursos genéticos - Vivienda ambientalmente segura - Seguridad en el acceso a recursos - Seguridad frente a desastres 	Seguridad <ul style="list-style-type: none"> - Vivienda ambientalmente segura - Seguridad en el acceso a recursos - Seguridad frente a desastres
	Servicios de regulación Beneficios que se obtienen de la regulación de los procesos de los ecosistemas <ul style="list-style-type: none"> - Regulación del clima - Regulación de enfermedades - Regulación del agua 	Bienes materiales para una buena vida <ul style="list-style-type: none"> - Recursos - Ingresos - Alimentación - Medios de subsistencia
	Servicios culturales Beneficios intangibles que se obtienen de los ecosistemas <ul style="list-style-type: none"> - Espirituales - Recreativos y ecoturismo - Estéticos - De inspiración - Educativos - Sentido de identidad - Herencia cultural 	Salud. <ul style="list-style-type: none"> - Vigor, libre de enfermedades - Agua y aire limpios
		Buenas relaciones sociales <ul style="list-style-type: none"> - Cohesión social - Respeto mutuo - Capacidad para ayudar a los demás

Tabla 4.2: Los servicios ecosistémicos como proveedores de bienestar (adaptado de Locatelli y Kanninen, 2010)

En la Comunidad de Madrid las cuencas vertientes a los embalses de regulación del Canal de Isabel II prestan servicios ecosistémicos significativos. De estas cuencas procede la escorrentía que nutre de aportaciones a los embalses. Igualmente contribuyen a la conservación de la calidad del agua mediante los servicios de autodepuración, que permiten neutralizar parte de la emisión de contaminantes que se producen en la cuenca. La conservación de las cuencas que vierten a puntos de captación de agua para el consumo humano de es un objetivo central de la planificación hidrológica. Para poder producir estos servicios los ecosistemas deben funcionar de manera correcta y poder desarrollar sus servicios de base: adecuada provisión de hábitat, formación de suelo, ciclos de nutrientes, etc. Si el ecosistema se ve alterado por

presiones externas, parte de los servicios primarios pueden verse perturbados, distorsionados o incluso interrumpidos, lo que repercute en los servicios sociales que se extraen de ellos. En muchos casos se establecen medidas de gestión en las cuencas vertientes a puntos de captación para abastecimiento tendentes a la conservación de los servicios ecosistémicos. Las restricciones impuestas por estas medidas condicionan la gestión del territorio y alteran el modo de vida de sus habitantes. Dado que los habitantes beneficiados por ello son, en general, distintos de los afectados por las medidas, se ha planteado en numerosas ocasiones el establecimiento de una compensación económica para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos.

Para poder establecer una compensación económica resulta necesario valorar los servicios ecosistémicos. Los servicios ecosistémicos asociados a suministros son fáciles de valorar. Sin embargo, otros beneficios ecosistémicos, especialmente los servicios de regulación (la regulación del clima mediante secuestro de dióxido de carbono, la depuración del agua, etc.) o los culturales (espirituales, recreativos, etc.), son más difíciles de valorar. Se trata de valores de uso indirecto. En la Figura 4.2 se presentan algunas alternativas propuestas por (TEEB, 2010) para su valoración. Cuando se ha procedido a contabilizar estos valores indirectos, se ha obtenido en muchos casos que estos valores constituyen la parte fundamental de la contribución de los ecosistemas al bienestar humano.

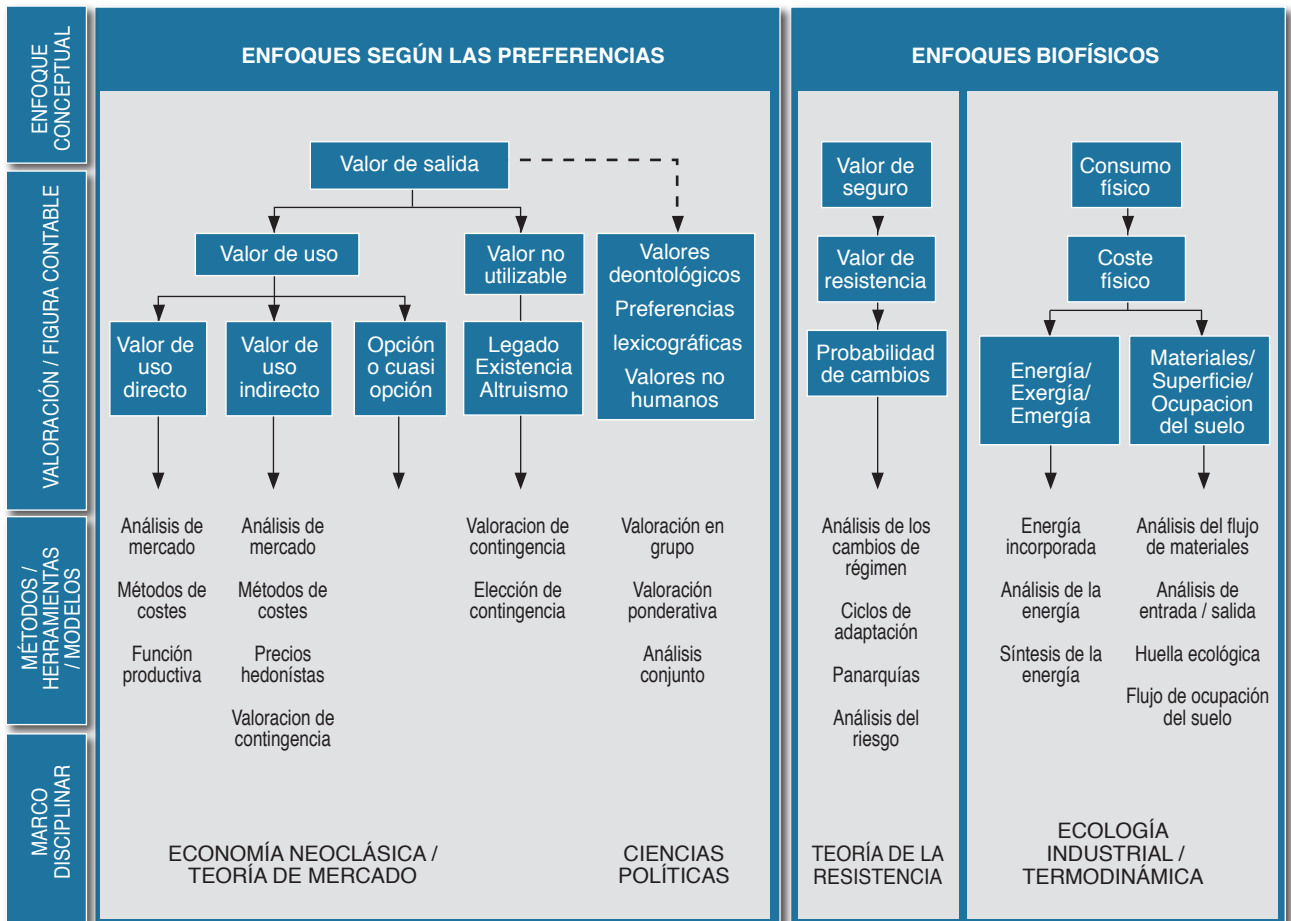


Figura 4.2: Métodos de valoración de los servicios ecosistémicos (Fuente: TEEB, 2010)





EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ECOSISTEMAS

Los ecosistemas reaccionarán a los factores de exposición debidos a los cambios del clima y la variabilidad climática. Los factores de exposición más inmediatos son el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, el aumento de la temperatura, cambios en la media o en la estacionalidad de la precipitación, cambios en los fenómenos extremos (sequías, tormentas, huracanes), el aumento del nivel del mar, etc. Junto a ellos se superponen otros factores de exposición que en muchas ocasiones son más intensos que los climáticos, como los cambios en los usos del suelo, el aprovechamiento intensivo de los recursos naturales, la fragmentación del hábitat, la contaminación, etc.

El efecto del cambio climático o del cambio global en los sistemas dependerá de la sensibilidad del sistema, su vulnerabilidad y su capacidad de adaptación. La sensibilidad indica en qué medida resulta afectado un sistema como consecuencia de sus factores de exposición. La sensibilidad puede inducir cambios en los procesos en la vegetación (productividad y crecimiento), los suelos, la distribución geográfica de las especies o en la respuesta a las perturbaciones (incendios y plagas). La vulnerabilidad es la susceptibilidad del sistema de enfrentarse a factores adversos, como el cambio climático. Esta susceptibilidad está matizada por su capacidad de adaptación. Las especies que componen un ecosistema pueden adaptarse a los cambios mediante distintos mecanismos: aclimatación, migración o evolución adaptativa. La capacidad adaptativa de los ecosistemas depende de la capacidad adaptativa de las especies, la diversidad de grupos funcionales y la diversidad de especies dentro de los grupos funcionales, por la redundancia que provee la diversidad.

Una modificación de las características climáticas actuales afectaría a la distribución de la vegetación natural, puesto que la radiación solar, el agua y las temperaturas controlan el crecimiento y la reproducción de las plantas, y también afectaría a la disponibilidad de agua. Por otra parte, la vegetación responde directamente a un incremento en la concentración de dióxido de carbono atmosférico (CO₂) incrementando -en teoría- su biomasa y su eficiencia en el uso del agua. Sin embargo estudios recientes cuestionan hasta que punto estos efectos directos del CO₂ se manifiestan en condiciones donde la planta está sometida a condiciones limitantes de otros factores que influyen en el crecimiento. Al mismo tiempo, el cambio climático implica una modificación de factores clave para la vegetación que tienen especial interés en la región de Madrid: deterioro de la calidad del agua y erosión del suelo, disminución de los recursos hídricos y de las reservas de agua subterránea.

La Tabla 4.3 muestra los posibles efectos positivos y negativos de las variables meteorológicas en la vegetación natural. La biodiversidad también está amenazada por importantes cambios edáficos y cambios en el régimen de incendios. Las plagas y enfermedades de todos los ecosistemas pueden jugar un papel fundamental en su fragmentación.

La gran diversidad biológica de los ecosistemas mediterráneos es extremadamente vulnerable al cambio climático. La magnitud de los cambios es difícil de estimar pero los ecosistemas de lagos, lagunas, ríos y arroyos de alta montaña (1.600 - 2.500 m), humedales costeros y ambientes dependientes de las aguas subterráneas tienen gran peligro.

FACTOR DE CAMBIO	POSIBLES BENEFICIOS	POSIBLES EFECTOS NEGATIVOS
Aumento de temperatura	Periodos de crecimiento más largos Periodos de crecimiento más rápidos	Aumento del estrés térmico por las temperaturas ambientales Aumento de malas hierbas, plagas y enfermedades Aumento de la demanda de agua
Variación de la precipitación	Aumento de la productividad de los cultivos Disminución de la demanda de agua Aumento de las garantías de abastecimiento de agua	Aumento de inundaciones y salinización Aumento de la frecuencia de sequías Disminución de las garantías de abastecimiento de agua Aumento de malas hierbas, plagas y enfermedades Aumento de la erosión
Aumento de gases de efecto invernadero	Incremento de la fertilización por la mayor concentración de CO ₂ atmosférico	Efectos negativos de otros gases (por ejemplo del SO ₄)

Tabla 4.3: Posibles efectos positivos y negativos del clima en la vegetación natural en la Comunidad de Madrid

Los ecosistemas terrestres que se encuentran en su límite ecológico o geográfico, especialmente los ecosistemas de zonas áridas, pueden transformarse y verse sometidos a gran competencia por otros adyacentes. Por ejemplo, los melojares de *Quercus pyrenaica* se expandirán a expensas de robledales y bosques atlánticos y los fragmentos aislados de estos últimos que quedan dispersos en rincones del Sistema Central (Peña de Francia, Sierra de Gredos, Sierra de Guadarrama) tenderán a desaparecer; los componentes boreo-alpinos de los pastizales de alta montaña en el Pirineo catalán son y serán los más afectados por el calentamiento.

Además de las presiones climáticas directas, los espacios naturales de la Comunidad de Madrid estarán sometidos a la presión indirecta que supondría la reducción de los recursos hídricos. La mayor parte de los cauces fluviales y ecosistemas asociados en los espacios naturales corresponden a ríos regulados, en los que se derivan aguas para el abastecimiento de Madrid (Guadarrama, Manzanares y Jarama) y en los que se vierten retornos de agua utilizada. No obstante las cabeceras de dichos ríos conservan aún tramos poco alterados por el hombre que habría que proteger. Cabe la posibilidad de que el mantenimiento del buen estado ecológico de estos ríos entre en conflicto con la garantía del abastecimiento. En estos casos, siempre se ha optado por garantizar el abastecimiento urbano en detrimento de los caudales ecológicos. Si estas situaciones se produjeran con frecuencia en el futuro, podrían conducir a un deterioro adicional de los ecosistemas, que se sumaría al originado por los cambios de temperatura. Igualmente, los procesos de incremento de la mejora en la eficiencia del agua reducirán el volumen de los retornos e incrementarán la concentración de contaminantes, lo que hará más difícil conseguir una correcta depuración de los vertidos. El posible deterioro de la calidad del agua podría

influir negativamente en el atractivo paisajístico del medio natural, afectando actividades importantes, como el turismo rural. Otros efectos perjudiciales serían la alteración de la composición y funcionamiento de las comunidades animales y vegetales, la reducción de hábitat propio de las comunidades piscícolas autóctonas (cabecera Lozoya...), la pérdida de biodiversidad y efectos sobre actividades recreativas como caza y pesca.



4.3 Agricultura

CONTEXTO EUROPEO

La Figura 4.3 muestra los cambios en la productividad de los cultivos en Europa que se han modelado en el proyecto PESETA para los escenarios HadCM3/HIRHAM A2 y B2 para la década de 2080 y para los escenarios ECHAM4/ RCA3 A2 y B2 para la década de 2030. Para la obtención de estos resultados, se han tenido en cuenta los efectos positivos directos del CO₂ en los cultivos; las condiciones de secano y regadío en cada región; los cambios en la distribución de los cultivos bajo cada escenario debidos a la modificación de los cultivos que son idóneos en condiciones más cálidas; y posibles mecanismos de adaptación exógenos.

Sin embargo, es muy importante señalar que no se han considerado restricciones en la disponibilidad de agua para riego debidas a cambios en las políticas vigentes, y tampoco se han incluido, en ningún caso, restricciones en la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Por lo tanto, los resultados deben considerarse optimistas desde el punto de vista de la producción y pesimistas desde el medioambiental. Aun así cabe destacar el carácter marcadamente negativo de casi todas las proyecciones que prevén un descenso radical en la producción agrícola de la Península Ibérica.

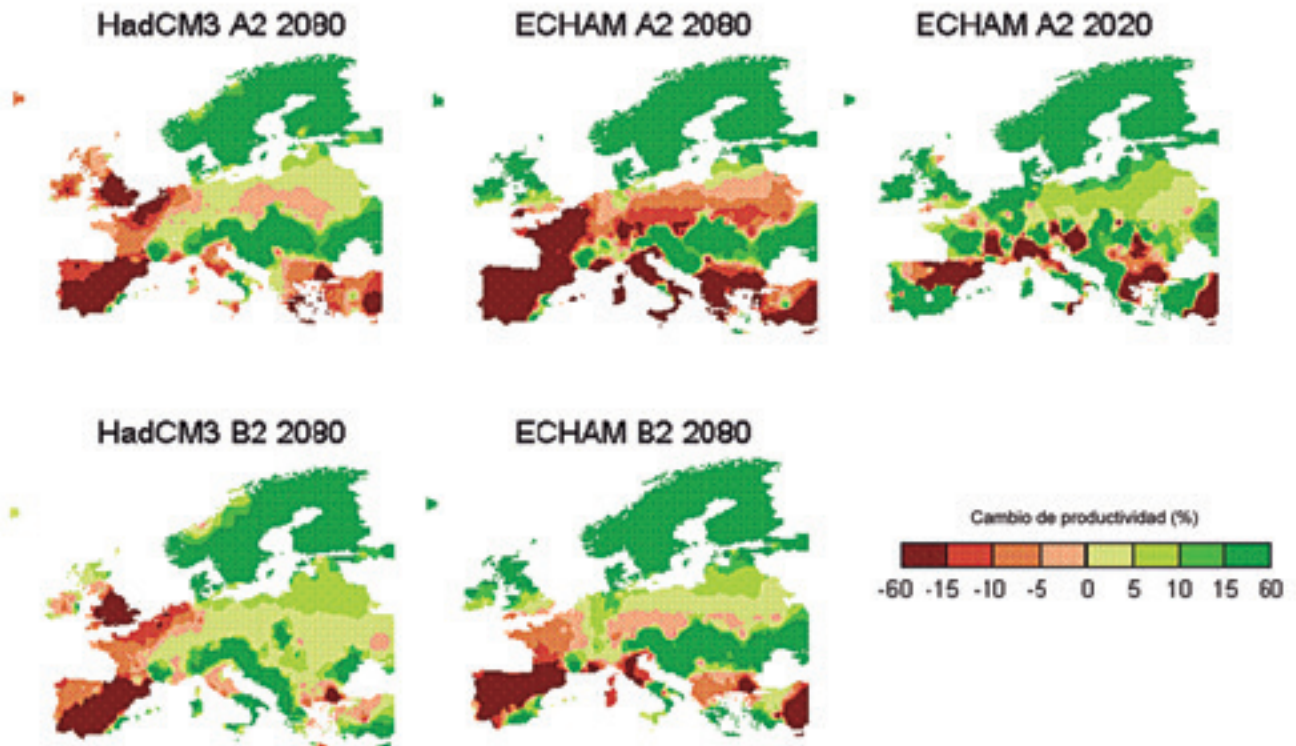


Figura 4.3: Cambios en la productividad de cultivos, comparada con la productividad actual, en los escenarios para el periodo 2080 en los escenarios HadCM3/HIRHAM A2 y B2 y ECHAM4/ RCA3 A2 y B2 y para el periodo 2020 para el escenario ECHAM4/ RCA3 A2

IMPLICACIONES PARA LA COMUNIDAD DE MADRID

Si bien la agricultura no es uno de los sectores más significativos para la Comunidad de Madrid en cuanto a su contribución al PIB, es quizás el sector que sufrirá más drásticamente los efectos del cambio climático. Esto se debe primordialmente a los fuertes vínculos que existen entre la agricultura y el régimen hidrológico.

Respecto a los impactos potenciales del cambio climático en la agricultura, se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- Los cambios en el clima probablemente tengan como consecuencia una variación en las zonas de producción óptima de distintos cultivos. Como consecuencia de los cambios en zonificación y productividad, la posición de la agricultura española frente a los mercados internacionales puede verse afectada. No obstante la pérdida de potencial agrícola puede fomentar la migración de zonas rurales fuera de la Comunidad pero en el área de influencia de la aglomeración urbana de Madrid, hacia grandes ciudades como el propio Madrid, incrementando los problemas de desempleo e infraviviendas y concentrando la demanda urbana de agua.
- Las proyecciones de cambio climático pueden suponer un incremento de inundaciones y sequías, dependiendo de la época del año y de la zona. Estas variaciones condicionarán tanto la productividad agraria como el área de distribución e intensidad de las plagas y enfermedades, puesto que la vegetación más húmeda promueve la germinación de las esporas y la proliferación de bacterias, hongos, y nematodos. Los periodos de sequía prolongados también pueden incrementar otras plagas y enfermedades.
- El cambio climático puede suponer una necesidad de incrementar el uso de productos fitosanitarios que tienen un riesgo asociado para la salud pública, el medioambiente, y los gastos económicos de las explotaciones.
- Si el cambio climático continúa intensificándose, la agricultura puede resultar crecientemente inestable y vulnerable a cambios en las plagas y enfermedades. Los agricultores españoles pueden enfrentarse a una planificación más complicada.

Los impactos regionales dependen del tipo de clima y del cultivo. En general hay un gran contraste entre los impactos negativos potenciales en la agricultura de regadío y las ventajas potenciales en algunas zonas de pasto y frutales de montaña (Tabla 4.4). Las principales conclusiones que emergen son:

- Incrementos en la temperatura alargarán la estación de crecimiento de los cultivos en regiones donde el potencial del cultivo está hoy en día limitado por el frío y por tanto el cambio climático podría verse, en general, como ventajoso para los cultivos.
- En las principales regiones de producción en secano, las altas temperaturas inducirán una maduración más temprana de los cultivos y disminuirán el período de llenado del grano, con consiguientes reducciones del rendimiento; estas reducciones no siempre se podrán compensar con cambios en el manejo de los cultivos.

- En las zonas de regadío, los efectos negativos para la mayoría de los cultivos serán generalizados, especialmente en regiones donde hay una mayor competencia por el uso del agua en la actualidad. Sin embargo, los resultados dependen en gran medida de la disponibilidad de agua para la agricultura y de la distribución regional de las precipitaciones, factores que permanecen inciertos.

DESCRIPCIÓN	AGRICULTURA DE SECANO	ZONA DE MONTAÑA	AGRICULTURA DE REGADÍO
RIESGOS			
Cambios de superficie de cultivo, debido a disminución de las condiciones de cultivo óptimo	M	M	A
Disminución de la productividad de los cultivos	M	M	M
Aumento del riesgo de plagas agrícolas, enfermedades, malas hierbas	A	M	A
Disminución de cultivos de calidad	M		A
Aumento del riesgo de inundaciones		A	
Aumento del riesgo de la sequía y la escasez de agua	A	A	A
El aumento de las necesidades de riego	A		A
Deterioro de la calidad del agua		A	
La erosión de los suelos, la salinización, la desertificación	A	A	A
Deterioro de las condiciones para la producción ganadera	B	A	M
OPORTUNIDADES			
Cambios en la distribución de cultivos para aumentar la agricultura en óptimas condiciones	A	A	M
Aumenta la productividad de los cultivos		A	
Aumenta la disponibilidad de agua para el pasto en invierno		M	
Disminución de los costes de la energía para invernaderos	M		M
Mejora en la productividad de la ganadería		M	

A=Alto M=Medio B=Bajo

Tabla 4.4: Riesgos y oportunidades del cambio climático en distintas zonas agro-climáticas de la Comunidad de Madrid.

El clima también afecta a las plagas y las enfermedades que atacan a los cultivos. La distribución y proliferación de insectos y malas hierbas está condicionada por el clima, ya que la luz, la temperatura y el agua son imprescindibles para su crecimiento y desarrollo. En general, la mayoría de las especies de plagas se ven favorecidas por condiciones templadas y húmedas, sin embargo, un cultivo débil durante una época de sequía, puede ser infectado más fácilmente por un hongo que en condiciones normales.

El clima también está relacionado con los pesticidas usados para controlar o prevenir la aparición de plagas. En un clima distinto al actual y cambiante, las plagas podrían volverse más activas todavía y los agricultores tendrían que usar aún más productos químicos para combatirlos (incluso a pesar de las técnicas alternativas que existen para hacerles frente) y esto tendría enormes costes ambientales y de salud.

Los distintos cultivos de la Comunidad de Madrid no se verán afectados de manera uniforme. La Tabla 4.5 resume los impactos de cambio climático sobre los principales grupos de cultivo de la Comunidad de Madrid.

CULTIVO O TIPO DE CULTIVO	IMPLICACIONES DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO
Cereales de primavera y forrajes	Beneficios potenciales al incrementarse el periodo libre de heladas periodo libre de heladas Daños por estrés térmico y sequía en primavera
Cereales de invierno	Daños en la vernalización por incremento de temperaturas en invierno Daños por estrés térmico y sequía en primavera
Hortícolas	Incremento de las necesidades de riego Aumento de plagas y enfermedades durante todo el ciclo
Hortícolas protegidos	Disminución del apoyo de calefacción y posibilidad de ampliar calendarios y gama de productos
Viñedo	Variación de la calidad y del grado alcohólico para vinificación Necesidad de introducir nuevas variedades Necesidad de intensificar la superficie regada y el volumen de agua por superficie
Almendro	Daños por la sequía en primavera
Ganadería	Pérdida de competitividad: - Incremento regadíos para cultivos forrajeros - Menor productividad pastos naturales de montaña - Mayor riesgo de propagación enfermedades cabaña ganadera
Bosques y silvicultura	Modificaciones en la composición y estructura. Retroceso de ciertas especies y avance de otras. Efectos sobre el potencial forestal y sobre la población dedicada a esa actividad. Incremento riesgo de incendios.

Tabla 4.5: Posibles implicaciones del cambio climático en algunos grupos de cultivos de la Comunidad de Madrid

4.4 Industria, energía

Los sectores de industria y energía son ciertamente relevantes en la Comunidad de Madrid. Constituyen, junto con los transportes y el sector servicios, la columna vertebral de la economía madrileña. El importe neto de la cifra de negocios industrial alcanzó los 628.903 millones de euros y el sector industrial empleó a 2.514.397 personas en 2008 (INE, 2008). Como consecuencia de su propia naturaleza y de su alto volumen de actividad, son grandes consumidores de recursos. En 2008 el consumo de energía final para la Comunidad fue de 11.566 ktep, casi el 11% del total nacional, y de esta cifra, el transporte supuso 5.798 ktep, prácticamente el 50% del consumo total de la Comunidad (FENERCOM, 2008).

Desde el punto de vista de su relación con el agua la industria y la energía son los usos más relevantes tras el abastecimiento urbano y la agricultura.

CONSUMO DE AGUA EN LA INDUSTRIA EN LA COMUNIDAD DE MADRID

El consumo de agua por parte del sector industrial en la Comunidad de Madrid resulta muy difícil de estimar, a la vista de las discrepancias entre las distintas estadísticas publicadas. Esta dificultad ya fue puesta de manifiesto por el Libro Blanco del Agua: *“Existe, por otra parte, un escaso conocimiento sobre la demanda real de cada una de las industrias, debido a su gran dispersión (tanto territorial como sectorial), a la propia complejidad del uso industrial, y a la falta de controles estadísticos sistemáticos sobre el consumo de agua, más allá de la facturación en el caso en que se adquiera de la red municipal”* (MMA, 2000). En la práctica la demanda industrial se estima en muchas ocasiones a partir de dotaciones en función de la superficie ocupada o del número de empleados.

El Esquema de Temas Importantes del Plan Hidrológico del Tajo estima la demanda industrial en el conjunto de la cuenca para el horizonte de referencia (2005) en 250 hm³/año, desglosados en 187,8 hm³/año de demanda industrial conectada a las redes de abastecimiento urbano (el 23,8% de la total) y 62,2 hm³/año de demanda industrial en captaciones propias. En su proyección para 2027 el consumo de la industria se incrementa casi un 50%, hasta 371,2 hm³/año, de los que 285,7 hm³/año corresponden a toma directa de la red (21,5% de la total) y 85,5 hm³/año a captaciones propias. Las demandas industrial y de abastecimiento de la Comunidad de Madrid son claramente preponderantes en el conjunto de las de la cuenca del Tajo. En los documentos previos al Plan Hidrológico del Tajo, y concretamente en el de descripción de la demarcación, se indicaba que la demanda suministrada en el año 2003 a la Comunidad de Madrid fue de 700,3 hm³, lo que supone el 89% del total de la demarcación en 2005. Esta cifra global se distribuye entre el Canal de Isabel II (607,3 hm³) y la Mancomunidad de Aguas del Sorbe (28 hm³), más 65 hm³ correspondientes a captaciones directas del detrítico no gestionadas por el CYII y otras fuentes. Manteniendo una proporción similar (89% del total), la demanda industrial de la Comunidad de Madrid podría fijarse en 222,5 hm³/año, de los que 167,1 hm³/año serían captados de la red y 55,4 hm³/año con tomas directas. Estas cifras subirían hasta 330,4 hm³/año en el horizonte 2027 (254,3 hm³/año captados de la red y 76,1 hm³/año mediante captación directa). Comparando estas cifras con el gráfico presentado en la Figura 4.1, se concluye que el Esquema de Temas Importantes ha agrupado la demanda industrial que capta de la red con la asociada a actividades comerciales. Manteniendo la misma proporción entre ambas partes, la demanda industrial captada de la red sería de 79,2 hm³/año, que sumado a los 55,4 hm³/año de tomas directas, darían una cifra global de 134,6 hm³/año.

Las cifras de la CHT, a la que debe suponerse un buen conocimiento de la gestión del agua en la cuenca, contrastan con las cifras proporcionadas por otras fuentes. El Instituto Nacional de Estadística ha realizado dos estudios de consumo de agua en la industria, en los años 1999 y 2006. Los estudios se realizaron a partir de encuestas, en las que se determinó el consumo global clasificado en sectores de actividad industrial, identificando la procedencia del suministro (red de abastecimiento o captación propia). En el estudio de 1999 se ofrecen cifras de consumo desglosadas por comunidades autónomas, mientras que del estudio de 2006 sólo hay cifras globales. Los resultados se presentan en la Tabla 4.6.



La cifra global de demanda industrial estimada para Madrid (27,4 hm³/año en 1999) aparentemente no coincide con el volumen estimado por la CHT. La discrepancia puede ser debida a muchos factores, pero el más relevante es que el estudio del INE se refiere al consumo, es decir, al volumen de agua que después de su uso no retorna al medio ambiente, mientras que la demanda

o uso de agua en la industria hace referencia al volumen de agua utilizada, es decir, que tiene entrada en el establecimiento industrial para proveer a las necesidades del proceso productivo. Si al consumo de 27,4 hm³/año se aplica un coeficiente de retorno de 0,8, que es el valor medio contemplado en la Instrucción de Planificación Hidrológica, (BOE, 2008), se obtendría una demanda de 137 hm³/año en 1999, que ya resulta mucho más acorde con la cifra de la CHT. Además, el valor de la demanda de agua incluye las posibles pérdidas en la captación, transporte y distribución, que suponiendo un 30% en 1999 arrojaría la cifra total de 198 hm³/año.

SECTOR INDUSTRIAL	ESTUDIO 1999			ESTUDIO 2006				
	ESPAÑA	MADRID		TOTAL	PROPIA		RED	
	hm ³ /a	hm ³ /a	%	hm ³ /a	hm ³ /a	%	hm ³ /a	%
Total industria extractiva	123,83	5,87	4,74	73,00	5,09	7,0	67,90	93,0
Alimentación, bebida y tabaco	128,41	2,00	1,56	337,83	111,40	33,0	226,44	67,0
Textil, confección, cuero y calzado	120,02	0,00	0,00	52,73	13,87	26,3	38,86	73,7
Madera y del corcho	23,59	0,00	0,00	6,00	2,03	33,9	3,96	66,1
Papel, edición, artes gráficas y reproducción	259,25	2,68	1,03	168,34	14,09	8,4	154,25	91,6
Refino de petróleo y combustibles nucleares	15,45	1,00	6,47	55,27	47,29	85,6	7,98	14,4
Química	561,83	11,22	2,00	420,60	83,32	19,8	337,28	80,2
Caucho y materias plásticas				64,31	50,35	78,3	13,96	21,7
Otros productos minerales no metálicos				64,52	24,41	37,8	40,11	62,2
Metalurgia y productos metálicos	238,85	3,68	1,54	166,62	51,85	31,1	114,78	68,9
Maquinaria y equipo mecánico	16,29	0,77	4,70	11,83	5,67	47,9	6,16	52,1
Equipo eléctrico, electrónico y óptico				7,26	5,37	74,0	1,89	26,0
Fabricación de material de transporte				24,93	18,45	74,0	6,49	26,0
Fabricación de muebles	66,44	0,20	0,30					
Manufactureras diversas				12,49	3,99	31,9	8,50	68,1
Total industria manufacturera	1.430,14	21,54	1,51	1.392,71	432,07	31,0	960,64	69,0
Total industria extractiva y manufacturera	1.553,97	27,41	1,76	1.465,71	437,16	29,8	1.028,54	70,2

Tabla 4.6: Resultados de los estudios de consumo de agua en la industria realizados por el INE

Entre los resultados del estudio del INE destaca que se ha producido una reducción en el consumo de agua en la industria entre los años 1999 y 2006, habiéndose reducido la cifra de consumo estimada para el total nacional en más de un 5%. Esta circunstancia contrasta con la estimación de crecimiento de la demanda industrial supuesta por la CHT. También resulta destacable el hecho de que el consumo de agua industrial en la Comunidad de Madrid en 1999 es sólo el 1,76% del total nacional, lo que indica que las actividades industriales desarrolladas en Madrid no son grandes consumidoras de agua. Por sectores, los mayores consumos de agua se producen en la industria química (40% del total) y de productos metálicos (13%), seguidos por el papel (10%) y la alimentación (7%).

El estudio del INE de 2006 también realizó una estimación del coste de la utilización del agua por parte de la industria. El coste unitario del agua suministrada por la red de suministro se estimó en 0,65 €/m³ y el del saneamiento (alcantarillado y depuración) a 0,24 €/m³. Estos costes se refieren al total nacional, no habiéndose efectuado un desglose por ramas de actividad económica.

El estudio de Naredo et al. (2009) presenta datos de la evolución del consumo de agua industrial registrado en la Comunidad de Madrid desde 1984 a 2005, tomado de datos de facturación del Canal de Isabel II. Sus resultados se reproducen en la Figura 4.4. Aunque no se especifica, posiblemente se trate de datos de demanda bruta de agua, y no de consumo neto descontando los retornos. Como puede apreciarse en la figura, la tendencia desde el año 1991 es decreciente. Este cambio de tendencia está asociado a la sequía de 1993-96, que fue especialmente acusada en el abastecimiento de Madrid, e indica claramente que la demanda industrial es sensible a las presiones que se ejercen durante la sequía para reducir los consumos. El estudio de Naredo et al. (2009) también presenta un desglose del consumo por actividad, comparando datos de 1984 con una estimación realizada para 2005. Los resultados contrastan con el estudio del INE de 2006, ya que sobre un total de 54,7 hm³ de consumo de agua en 2005, el sector de alimentación, bebidas y tabaco supone el 49,3% del consumo total, seguido de la industria química (12,8%). Posiblemente las discrepancias puedan ser explicadas por el distinto concepto de demanda y consumo neto, que pueden dar resultados muy diferentes en cada uno de los sectores.

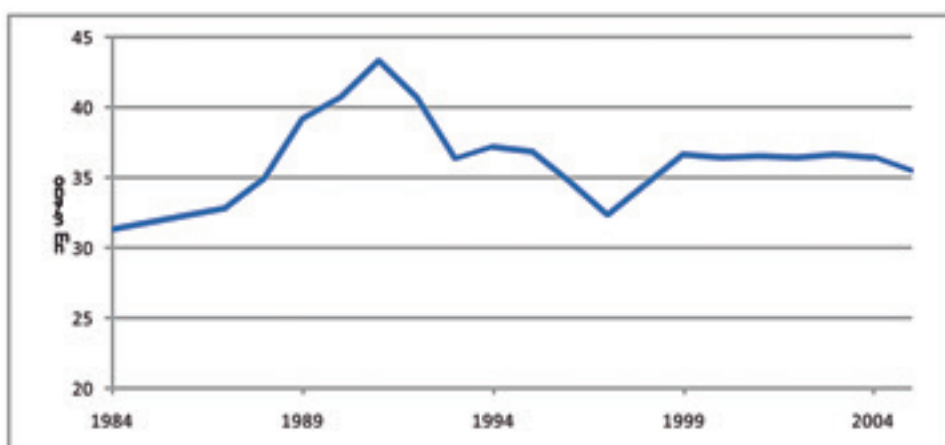


Figura 4.4: Evolución del consumo de agua en la industria Fuente: Naredo et al. (2009)

Finalmente, se dispone de la información de un estudio de la Comunidad de Madrid realizado sobre 109 instalaciones industriales que solicitaron la Autorización Ambiental Integrada. Estas instalaciones totalizaron un consumo anual de 23,4 hm³ (al igual que en el caso anterior, se intuye que los datos se refieren a demanda de agua, y no a consumo efectivo). En este estudio se obtuvieron los mayores consumos en el sector del papel y cartón (27%) e industria química (25%), seguidos de industrias agroalimentarias (17%) y transformación de metales (13%).

CONSUMO DE AGUA EN PRODUCCIÓN ENERGÉTICA EN LA COMUNIDAD DE MADRID

En cuanto a la producción de energía hidroeléctrica, las centrales más significativas emplazadas en la Comunidad de Madrid son las de San Juan y Picadas, ambas en el río Alberche. La central de San Juan tiene un salto bruto de 63 m y un caudal máximo 62,6 m³/s, con una potencia instalada de 33.400 kW. La potencia instalada en Picadas es de 20.000 kW, con un salto bruto de 57,5 m y un caudal de equipo de 50,2 m³/s. La producción anual media en San Juan es de unos 70 GWh/año, mientras que la de Picadas está en torno a los 50 GWh/año. La producción de energía hidroeléctrica no consume agua, salvo el incremento de evaporación debido a la regulación. Sin embargo, la explotación de estas dos centrales está directamente relacionada con el abastecimiento de Madrid a través de las captaciones que éste tiene en el río Alberche y con el suministro de agua para riego a través del Canal Bajo del Alberche a la zona de Talavera (Toledo).

Según el Plan de Energías Renovables (IDAE 2011), en la Comunidad Autónoma de Madrid en 2004 había instalados 45,5 MW en centrales minihidráulicas (con potencia instalada menor de 10 MW). La mayor parte de estas centrales (totalizando 39,1 MW) está también asociada al sistema de abastecimiento de Madrid, donde se turbinan parte de los caudales derivados para consumo del Canal de Isabel II. Aparte de este sistema, quedan únicamente 6,4 MW instalados en minicentrales con aprovechamientos independientes.

Aunque no se encuentra estrictamente en la provincia de Madrid, debe mencionarse también en el capítulo de energía la Central Térmica de Aceca, que toma su agua de refrigeración del río Tajo en uno de los tramos en que éste es frontera entre Madrid y Toledo. Esta central tiene una necesidad de refrigeración de unos 500 hm³/año, aunque la mayor parte de este caudal es devuelto al río Tajo tras su uso.

La Tabla 4.7 resume las características de las principales centrales hidroeléctricas implantadas en la Comunidad de Madrid.

CENTRAL	CAUDAL	SALTO	POTENCIA	PRODUCCIÓN MEDIA
	m ³ /s	m	kW	GWh/año
San Juan	62,6	63,0	33.400	70
Picadas	50,2	57,5	20.000	50
Pinilla	10,0	24,5	2.320	6
Riosequillo	18,0	44,0	7.200	16
Puentes Viejas	18,0	44,0	7.200	20
El Villar	17,0	37,0	5.680	20
El Atazar	7,5	56,0	8.640	42
Navallar	4,0	91,5	3.500	13
Torrelaguna	3,5	150,0	4.560	25
TOTAL			92.500	262

Tabla 4.7: Principales centrales hidroeléctricas de la Comunidad de Madrid

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE INDUSTRIA Y ENERGÍA

El principal efecto del cambio climático sobre los sectores de industria y producción de energía se producirá a través de la variable energía. En un escenario de control de emisiones, deberán modificarse profundamente los sistemas de producción de energía para reducir el volumen global de emisiones, lo que obligará igualmente a una reducción drástica de los consumos de energía en todos los sectores. Esta necesidad de incrementar la eficiencia energética transformará los procesos productivos, suponiendo alteraciones muy profundas en la actividad de los sectores.

Los escenarios de cambio climático para gran parte de la Península Ibérica indican un aumento de temperatura acompañado de un descenso de la precipitación, lo que supondrá un incremento de la demanda eléctrica. La posibilidad de responder a este aumento con energía hidráulica es poco probable. En estas condiciones, la producción de biomasa para energía también tiene grandes limitaciones. Un aumento de las necesidades de refrigeración de centrales térmicas y nucleares refrigeradas en circuito abierto implicará una mayor necesidad de recursos hídricos destinados para ello.

Como ya se ha establecido, en la Comunidad de Madrid el sector industrial es uno de los más relevantes por su contribución al PIB de la región. Esto indica que el cambio climático puede llegar a crear serios problemas en cuanto se incremente la necesidad tanto de agua como de energía. Sin embargo, discernir estas amenazas también supone el reconocimiento de unas oportunidades a futuro, que son especialmente relevantes en el caso de la generación y consumo de energía, donde se plantea la necesidad estratégica de adaptarse al cambio climático como medida ahorrativa a largo plazo.



Desde el punto de vista de las medidas de adaptación, parece evidente que deben revisarse los esquemas de demanda energética, ajustándolos a una realidad inminente de disminución de la disponibilidad de energía procedente de los combustibles fósiles, ante la necesidad de reducir las emisiones. También debe esperarse una disminución importante en la generación de la energía hidráulica, más aún ante la necesidad de preservar los ya muy alterados y contaminados ecosistemas acuáticos ante una disminución de los caudales. En el sector energético resultarán imprescindibles las acciones destinadas a reducir la demanda de energía y a aumentar la eficiencia energética de las instalaciones. Con esta finalidad se irán estableciendo códigos más estrictos en el uso y conservación de la energía y se promoverá una mejor educación ambiental para sensibilizar a la población. La utilización de las energías renovables y el desarrollo de tecnologías que maximicen su eficiencia serán con seguridad una prioridad en las políticas públicas.

En principio, el cambio en el régimen hidrológico no debería suponer mayores inconvenientes para la industria y la producción de energía no hidráulica, aunque sus necesidades de refrigeración pueden establecer severas restricciones a la explotación de los sistemas hidráulicos que lleguen a perjudicar la garantía de suministro de agua a otros usos. Sin embargo, además de los efectos directos que sufrirá el sector como consecuencia del cambio climático, fundamentalmente vinculados a su consumo de energía, en la Comunidad de Madrid se verá expuesto a una presión adicional como consecuencia de una posible escasez de agua. Ello hará que se incrementen las medidas tendentes a mejorar la eficiencia en el uso del agua en los procesos industriales.

4.5 Turismo y ocio

EL TURISMO Y OCIO EN LA COMUNIDAD DE MADRID

El turismo en la Comunidad de Madrid es uno de los sectores más dinámicos e innovadores que contribuyen al crecimiento económico de la Región, siendo su oferta turística una de las más sólidas y diversificadas de Europa. La Tabla 4.8 presenta el número de instalaciones turísticas relacionadas con el alojamiento y la instalación disponibles en la Comunidad de Madrid en 2010.

INSTALACIÓN	CANTIDAD	Nº DE PLAZAS
Hoteles	445	85.245
5 estrellas	24	9.329
4 estrellas	178	47.290
3 estrellas	138	19.691
2 estrellas	72	7.324
1 estrella	33	1.611
Hostales	430	14.438
Pensiones	539	6.999
Turismo Rural	192	2.778
Aptos. Turísticos	105	8.814
Campings	22	18.419
TOTAL ALOJAMIENTO	1.733	136.693
Restaurantes	9.214	
Cafeterías	2.531	
Bares	39.222	
Catering	12	
TOTAL RESTAURACIÓN	50.979	

Tabla 4.8: Estadística de instalaciones de turismo en la Comunidad de Madrid

Según el Informe de resultados sobre el turismo en la Comunidad de Madrid, en 2010, se recibieron 9.812.455 turistas -el 56% del nacional- que se alojaron en hoteles de la región, lo que representa un crecimiento del 11,02% con respecto a 2009. Esta cifra casi duplica la media nacional, que registró un crecimiento del 6,11%. El turismo interior en la Comunidad es también significativo.

La Comunidad de Madrid es un destino turístico que ofrece una gran variedad de atractivos, tanto desde el punto de vista cultural (patrimonio histórico y museos) como desde otros puntos de vista y motivaciones, como los negocios, los estudios, la práctica del deporte, la naturaleza o los espectáculos (Figura

4.5). La actividad no sólo se centra en la capital, Madrid, sino que incluye los municipios y entornos que la circundan, posibilitando el turismo rural y activo que invita a practicar actividades de ocio disfrutando la naturaleza.



Figura 4.5: Reparto del motivo de los viajes para turismo extranjero y nacional. Fuente: Turismo en la Comunidad de Madrid. Informe de resultados año 2010

La Figura 4.6 muestra la distribución estacional de la ocupación hotelera, donde destaca el mes de agosto, cuando se presenta un mínimo fundamentalmente debido al descenso de los viajes con motivos profesionales.

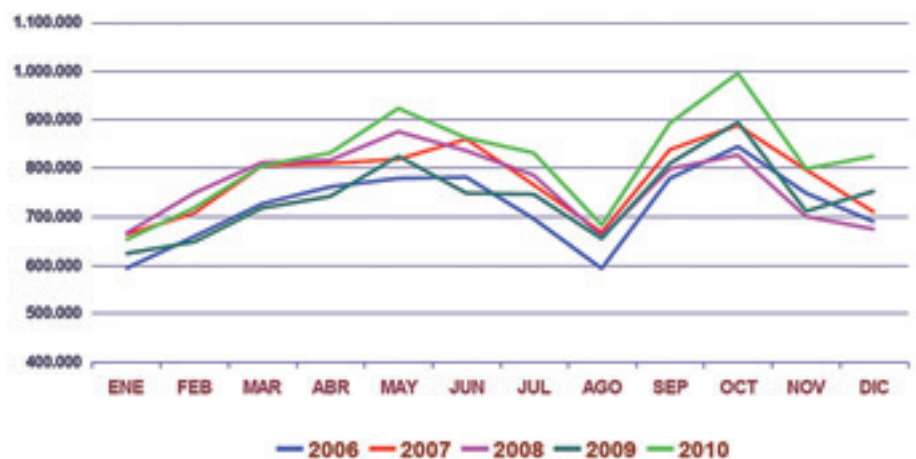


Figura 4.6: Evolución de flujos turísticos en la Comunidad de Madrid (nº de turistas alojados en hoteles). Fuente: (Comunidad de Madrid 2010) Efectos del cambio climático sobre el turismo

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL TURISMO

La sensibilidad del turismo al clima es muy elevada en España ya que sus buenas condiciones climatológicas, sobre todo en el litoral mediterráneo, suponen un factor de influencia decisivo sobre las zonas geográficas de atracción, los calendarios de actividad, las infraestructuras turísticas y su funcionamiento y las condiciones de disfrute y bienestar de los turistas. Los impactos del cambio climático afectarán, en primer lugar, al espacio geográfico-turístico, y pueden producir alteraciones en los ecosistemas, ya en condiciones de alta fragilidad, dejando de reportar los beneficios sociales, económicos y ambientales disfrutados hasta el momento. Las zonas más vulnerables al cambio climático se localizan en el espacio litoral (con un alto grado de artificialización), que configura el principal producto turístico español, turismo de sol y playa, y las zonas de montaña, sobre todo en el turismo de nieve. La escasez de agua provocará problemas de funcionalidad o viabilidad económica de ciertos destinos. El incremento de las temperaturas puede modificar los calendarios de actividad. La elevación del nivel del mar amenazaría la localización actual de determinados asentamientos turísticos y de sus infraestructuras. Los turistas pueden disminuir la estancia media en cada destino, retrasar el momento de la decisión del viaje y cambiar la dirección de sus visitas hacia otros lugares: los turistas extranjeros quedándose en sus propios países y los nacionales con desplazamientos hacia las costas del norte o el interior.

Sin lugar a dudas el turismo en Madrid es uno de los sectores más importantes en cuanto a la generación de ingresos y de empleo. Si bien como destino turístico no se enfrenta a las amenazas que se ciernen sobre las zonas costeras, la sequía y el aumento de las temperaturas, sobre todo en las zonas estivales y de más concurrencia turística, pueden llegar a mermar el atractivo turístico de la zona. Sin embargo, esto podría llegar a crear oportunidades interesantes para el turismo rural particularmente en las zonas de la serranía madrileña. En cuanto al turismo con destino a la ciudad de Madrid y otros núcleos urbanos de valor turístico en la Región, la sequía puede no ser un factor tan dañino ya que la oferta turística de estos sitios se basa primordialmente en atractivos como los museos, iglesias o conjuntos históricos los cuales no sufrirán de la sequía directamente.

Por tanto cabe distinguir entre el turismo cuyo atractivo central son los paisajes naturales y aquellos donde el atrayente sea más bien histórico-cultural. En el primero de estos casos el cambio climático puede suponer riesgos considerables ya que si los turistas se verán impulsados a escoger otros destinos donde los efectos del cambio climático sean menores. Sin embargo, para los destinos de la segunda categoría el cambio climático es una amenaza de menor gravedad cuyos efectos repercutirán de modo más bien indirecto a través de los otros sectores que se analizan en este Capítulo.

Existen además algunas cuestiones puntuales en las que los recursos hídricos pueden condicionar de manera determinante la actividad turística. Por ejemplo, Madrid es la única capital europea que cuenta con estaciones de esquí a menos de una hora. El cambio climático supone una seria amenaza a la viabilidad de esta actividad, tanto desde el punto de vista de la disponibilidad natural de nieve, como de la disponibilidad de los recursos hídricos y energía para la generación de nieve artificial. Como elemento fundamental en el ocio de la Región, la falta de agua puede llevar a una situación donde el regadío para jardines deba atenderse con agua reutilizada o pueda verse comprometido el uso de agua para piscinas en determinadas épocas de sequía.

Otro factor determinante son los usos recreativos de los embalses. Hay numerosos embalses que ofrecen importantes oportunidades para el ocio, desde el punto de vista paisajístico, senderismo, deportes náuticos o incluso baño. Para estas actividades, resulta fundamental que el embalse mantenga una lámina de agua estable, al menos durante la temporada alta. Una progresiva reducción de la aportación natural conservando las demandas tendría como consecuencia una reducción de los valores medios de las reservas embalsadas, lo que haría descender la lámina de agua, y un incremento de sus oscilaciones de nivel, lo que comprometería parte de los usos recreativos. Esta circunstancia ya se ha puesto de manifiesto en algunos casos, como en los embalses de San Juan, Entrepeñas y Buendía durante los recientes episodios de sequía.

Otro ejemplo de incidencia de los recursos hídricos en el turismo son las instalaciones deportivas que requieren de agua de riego, como los campos de golf. En Madrid, la presión sobre los recursos ha obligado ya a establecer para los campos de golf la obligatoriedad de realizar el riego de las zonas verdes con agua regenerada y/o mediante sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales u otros recursos hídricos alternativos al agua de la red de abastecimiento, y en numerosos casos se cuestiona la conveniencia de establecer este tipo de instalaciones.

4.6 Seguros

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS SEGUROS

El sector de las aseguradoras puede ser, económicamente hablando, uno de los que más rápida e intensamente se vea afectado por el cambio climático. Las tormentas y las inundaciones son los eventos más numerosos y de mayor factura que interesan al sector, y fundamentalmente al Consorcio de Compensación de Seguros, que es la entidad que cubre esos riesgos en España. Las inundaciones son el riesgo natural que mayor cantidad de daños humanos y materiales producen en España, alcanzando un valor medio anual próximo al 0,1 % del PIB. El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Consorcio de Compensación de Seguros (CSS) han estudiado las pérdidas producidas por las inundaciones durante el período 1987-2002, ascendiendo a casi 12.000 millones de euros. Dentro del mismo estudio, se prevén pérdidas de más de 800 millones al año hasta el año 2033. La importancia de las inundaciones está reconocida por la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, que introduce criterios para la gestión de este tipo de riesgos que deben ser aplicados por los países miembros de la Unión Europea. En su segundo considerando, la Directiva establece que: *“Las inundaciones son fenómenos naturales que no pueden evitarse. No obstante, algunas actividades humanas (como el incremento de los asentamientos humanos y los bienes económicos en las llanuras aluviales y la reducción de la capacidad natural de retención de las aguas por el suelo) y el cambio climático están contribuyendo a aumentar las probabilidades de que ocurran, así como su impacto negativo”*

En España, los riesgos correspondientes a eventos climáticos extremos relativos a inundación, a fenómenos de tipo ciclónico (rachas de viento superiores a 135 km/h), a tornados y a embates del mar son cubiertos por el seguro, pero no son asumidos individualmente por las entidades aseguradoras. En el marco del sistema español de cobertura de riesgos extraordinarios, éstos





son asumidos por el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), que es una entidad pública empresarial, dependiente del Ministerio de Economía y Hacienda. El CCS indemniza a los asegurados por los daños producidos por los peligros citados, no con una póliza propia emitida al efecto, sino sobre la base de las pólizas ordinarias emitidas por las entidades aseguradoras en la mayoría de ramos de daños en los bienes, en pérdida de beneficios y en daños a personas (accidentes y vida). Esas pólizas incluyen obligatoriamente una cláusula relativa a la cobertura de los riesgos extraordinarios, que incluyen los ya mencionados eventos climáticos, además de eventos de origen geológico (terremoto, tsunami, erupción volcánica) o de tipo político-social (terrorismo).

El reaseguro internacional destaca que en el posible escenario de aumento en el nivel de pérdidas por el cambio climático, los ramos del seguro que se verán más afectados son los daños (patrimoniales, industria, ingeniería e incendios), representativo del aumento del valor de los bienes en zonas con una elevada exposición al impacto climático y, en menor medida, salud, vida y responsabilidad civil. Según datos del seguro agrario, la mitad oriental de la Península, por elevada peligrosidad de los fenómenos meteorológicos y climáticos, y por la concentración de cultivos sensibles a dichas variables, se confirma como la zona más sensible a un cambio climático.

La Evaluación Preliminar General de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático (MMA, 2005) que fue publicado como resultado del proyecto ECCE trata, en su apartado 15, sobre los impactos sobre el sector del Seguro a nivel nacional. De aquí se deducen algunas conclusiones que son válidas también para la Comunidad de Madrid. La detección de los efectos del cambio climático en el seguro español se ha centrado principalmente en el análisis de la siniestralidad de coberturas clave relacionadas con el agua y las precipitaciones como son las inundaciones, tormentas, granizo y la sequía. Estos fenómenos climáticos pueden cambiar tanto de intensidad como de frecuencia y por lo tanto afectarían a las coberturas aseguradoras de riesgos catastróficos de la naturaleza incluidos tanto en el marco del Seguro de Riesgos Extraordinarios como en el del Seguro Agrario Combinado. No obstante, hasta el momento no se ha podido determinar ni precisar claramente la incidencia del cambio climático en la evolución de la siniestralidad ocasionada por eventos climáticos extremos, aunque se está estudiando su importancia tanto para las aseguradoras como para los asegurados y la actividad económica en general.

4.7 Urbanismo y construcción

PERSPECTIVA GENERAL

Las estrategias de ordenación del territorio y los planes urbanísticos deben prestar una atención especial a la información climática y a los efectos del cambio climático, de forma que las propuestas de ocupación y distribución en el territorio de los distintos usos y actividades -asentamientos humanos, actividades económicas, infraestructuras, etc-, integren entre sus objetivos impedir y prevenir la degradación de los recursos naturales con influencia negativa sobre el clima, a la vez que tengan en cuenta el mejor aprovechamiento y adaptación a las características del clima y a los efectos del cambio climático. El urbanismo extensivo que se está desarrollando en nuestro país plantea problemas de aumento del uso de recursos por vivienda, incluyendo agua, energía y mayores necesidades de transporte, por lo que genera impactos en sinergia con



otros sectores. Dentro del espacio urbano, las zonas que pueden verse más directamente afectadas por los cambios climáticos son las llamadas zonas verdes en general (parques y jardines). En la edificación, el conocimiento de los datos climáticos relacionados con el viento, la lluvia la nieve, la temperatura y humedad del aire, la radiación solar, las descargas eléctricas, etc., resulta necesario tanto para la elaboración de la normativa técnica sobre edificación como para una adecuada realización de los proyectos que considere la situación climática de la localidad donde se ubican los edificios. En la edificación, la repercusión de los cambios climáticos conlleva nuevas necesidades para atender los aspectos de habitabilidad de los edificios, que requieren instalaciones de climatización y ventilación que, a su vez, repercuten sobre el microclima de la localidad.

En Madrid, sobre todo en la capital, la variabilidad e incertidumbre que conlleva el cambio climático suponen un desafío en cuanto a los aspectos técnicos y normativos de la edificación. Además la mayor incidencia de sequías y la falta de agua pueden degradar la calidad del agua y hacer aun más compleja su administración. Del mismo modo el mayor consumo de energía que hará falta para enfriar los sitios domésticos y de trabajo requerirá de un alto grado de previsión para evitar el colapso de los centros urbanos. A largo plazo, la variabilidad climática puede llevar a una redistribución de la población, dando lugar a una situación de mayor éxodo vacacional durante los meses más calurosos y secos del año, o distorsionando el patrón de asentamientos urbanos en busca de unas mejores condiciones climáticas.

EFECTO DEL AGUA SOBRE URBANISMO Y CONSTRUCCIÓN EN LA COMUNIDAD DE MADRID

Dado que el consumo doméstico de agua es dominante en Madrid, el sector de la vivienda y urbanismo será el más afectado por la presión adicional generada por el cambio climático en la gestión de los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid. La perspectiva de una reducción de los recursos hace pensar que podría ser necesario reducir los consumos o ampliar las fuentes de suministro en un futuro. En cualquiera de los casos, el incremento de la eficiencia en el uso del agua será un instrumento imprescindible de adaptación al cambio climático, y esto tendrá efectos significativos sobre el modo en que se construyan las casas.

Además de las cuestiones relacionadas con el consumo de agua, otro aspecto relevante en un contexto de cambio climático es el riesgo de inundación en zona urbana. La Comunidad de Madrid es una región altamente urbanizada, en la que se ha producido un fuerte incremento de la superficie urbanizada en las últimas décadas. En la Figura 4.7 se presentan los cambios en la ocupación del suelo entre 1987 y 2000 (OSE, 2006b). Puede apreciarse que la mayor parte de las modificaciones corresponden a la expansión de superficies artificiales debidas a la urbanización. Este incremento de la superficie urbanizada tiene efectos muy significativos en el riesgo de inundación, ya que la urbanización incrementa sustancialmente el coeficiente de escorrentía del terreno y aumenta la velocidad de circulación de la escorrentía superficial. Además, resulta muy difícil mantener al día la capacidad de evacuación de la infraestructura de drenaje urbano, lo que compromete la seguridad de algunas zonas frente al riesgo de inundación.

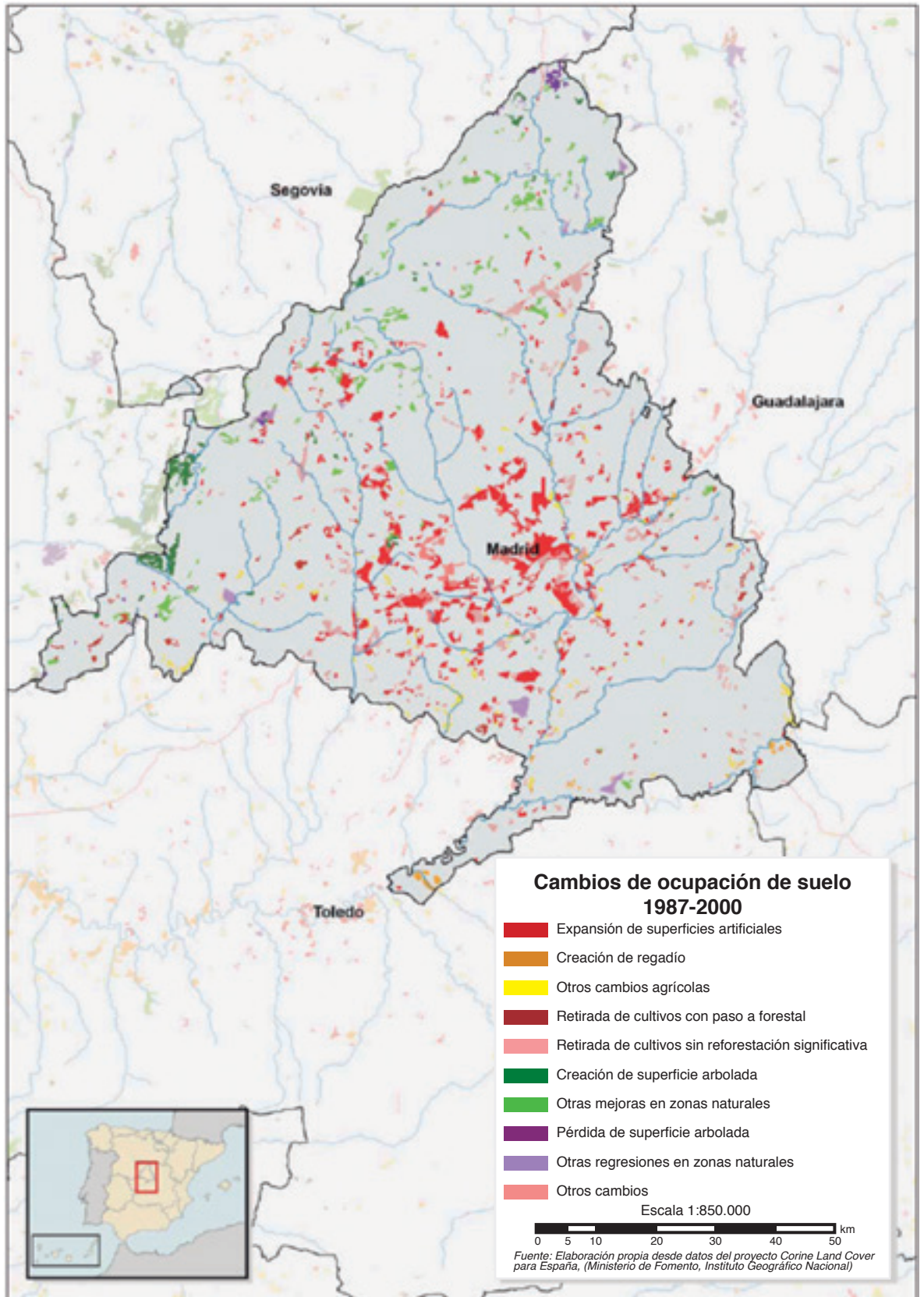


Figura 4.7: Modificación en los usos del suelo en la Comunidad de Madrid entre 1987 y 2000.
Fuente: OSE, 2006b

4.8 Demografía y migraciones

El cambio climático puede originar fenómenos significativos de desplazamiento de población, que busca condiciones más favorables para su subsistencia. Las grandes ciudades como el área metropolitana madrileña ofrecen, en general, mayores oportunidades de negocio y empleo por lo que es previsible que las posibles condiciones desfavorables en determinadas regiones impulsen movimientos migratorios de las zonas más desfavorecidas (y de zonas rurales en las que la situación agraria empeore) y conviertan a Madrid en nueva zona de acogida:

Las limitaciones de agua pueden producir impactos muy diferentes en los países en función de sus propias capacidades (Mora, 2008). También a nivel interno el impacto social es diferenciado, castigando más severamente a las clases más desprotegidas. En este sentido existen otros factores adicionales que pueden producir fuertes movimientos migratorios. Entre ellos cabe citar:

- La inexistencia de un marco legal y de un sistema de control operativo que garanticen los derechos de una parte de la población sobre el agua puede dar lugar al declive de las actividades y el consecuente éxodo masivo, como sucedió en Senegal, Mauritania y la India (distrito de Jodhpur).
- La preexistencia de condiciones de fragilidad social, económica o medioambiental que hace determinadas regiones o colectivos especialmente vulnerables. Es decir, pequeños cambios en la disponibilidad del recurso pueden provocar importantes consecuencias en las condiciones locales.
- La estructura económica. La dependencia del sector agrícola, tanto desde el punto de vista económico como de suministro de alimentos para el autoconsumo, por la importante incidencia de las variaciones del suministro de agua en la producción agraria.

Teniendo en cuenta lo anterior, es de prever un empeoramiento de las condiciones de la zona subsahariana, disminuyendo su producción agrícola e incrementándose las sequías (IPCC 2007, Grupo Trabajo II: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad). Estas circunstancias pueden tener unos efectos claramente muy desfavorables debido a la gran dependencia económica y de suministro de alimentos de su propia producción agrícola. El riesgo de hambrunas aumentará, acentuándose los factores propiciatorios de nuevos movimientos migratorios.

La llegada masiva de población inmigrante sin recursos puede originar serios problemas en las áreas receptoras, como incremento de desempleo, aumento de las demandas de consumo, especialmente para el suministro de agua, proliferación de infraviviendas o efectos sobre la salud.

4.9 Salud

El Cuarto Informe del (IPCC, 2007), en lo referente a los posibles impactos del cambio climático sobre la salud, prevé con carácter general:

- Incremento de malnutrición y sus consecuencias sobre el crecimiento y desarrollo infantil
- El incremento de olas de calor , inundaciones, tormentas, fuegos y sequías, propiciarán más muertes y enfermedades
- Incremento de enfermedades diarreicas
- Incremento de problemas cardio-respiratorios por aumento de concentración del ozono a nivel del suelo
- Alteración de la distribución espacial de vectores de transmisión de enfermedades infecciosas
- Efectos mixtos sobre transmisión de la malaria en África
- Disminución de muertes por frío
- Necesidad de educación, cuidado de la salud, iniciativas públicas sobre la salud e infraestructuras y desarrollo.

En la Comunidad de Madrid es de prever la posibilidad de que se incremente la incidencia de enfermedades exóticas o poco frecuentes hasta la fecha con motivo del incremento de temperatura, la modificación del estado de las masas de agua y la incidencia de migraciones procedentes de otros países potencialmente transmisores o en los que determinadas enfermedades - consideradas erradicadas en España – aún son endémicas en sus lugar de origen.





5 Medidas de adaptación

En la Comunidad de Madrid todavía no se ha elaborado un plan de adaptación que complemente lo contemplado en el Plan Azul sobre control de emisiones, aunque se están realizando estudios para evaluar los impactos, la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la Comunidad en los sectores de la salud pública, turismo, bosques y agricultura (MMA, 2007).

Este Capítulo aporta elementos para elaborar un borrador de Plan de Adaptación en la Comunidad de Madrid. En primer lugar se resumen los esfuerzos internacionales y nacionales aportando ejemplos concretos sobre planes de adaptación, para, posteriormente, analizar las medidas específicas de adaptación para los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid.

5.1 Afrontar los impactos potenciales en la Comunidad de Madrid

PRESIONES E IMPACTOS

El cambio climático es una de las muchas presiones a las que debe enfrentarse la gestión de recursos hídricos en la Comunidad de Madrid. Por una parte, es previsible que la demanda de agua sea creciente, especialmente en las zonas donde la escasez es más acusada. Al mismo tiempo crece la presión social para la mejora de las condiciones medioambientales de las masas de agua, refrendada por los criterios establecidos en la Directiva Marco del Agua.

Los impactos analizados en los Capítulos anteriores son la base fundamental para establecer prioridades de adaptación de los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid. Como consecuencia del cambio climático, la reducción de las aportaciones naturales producirá episodios de escasez que serán cada vez más frecuentes e intensos. También está previsto que se produzcan alteraciones en la variabilidad de los recursos, intensificando la frecuencia de ocurrencia de situaciones extremas, como inundaciones y sequías, cuyos efectos sobre la población pueden ser muy acusados. El cambio del clima también afectará a la calidad del agua; existen muchas posibles vías de afección, como son la disminución de los caudales de dilución, el incremento de la temperatura, con los consiguientes cambios en la actividad de los procesos biológicos y químicos, la modificación del flujo del agua a través del suelo, con la alteración del transporte de nutrientes y contaminantes, etc. Aunque existen muchos procesos implicados, los resultados hasta ahora apuntan hacia un probable deterioro de la calidad del recurso.

El previsible incremento de presiones sobre los usos consuntivos supondrá una mayor intervención humana sobre el ciclo hidrológico, que tendrá su repercusión sobre el entorno natural. Será necesario canalizar adecuadamente la intervención humana para minimizar los impactos medioambientales, aunque debe tenderse hacia una nueva situación de equilibrio, ya que no sería razonable intentar revertir el cambio climático mediante la conservación artificial de los ecosistemas existentes antes del cambio. El reto consiste en anticipar los efectos negativos del cambio climático mediante el análisis de escenarios y adoptar estrategias de gestión que sean positivas en la situación actual y no empeoren la situación en el caso de un cambio climático adverso.

APRENDER DEL PASADO

La sequía, la escasez de agua, así como las inundaciones y las olas de calor, representan un riesgo potencial importante para la mayoría de las zonas agroclimáticas de la Comunidad de Madrid, aunque dicho riesgo a lo largo de las distintas regiones no es ni mucho menos homogéneo. En concreto, las sequías han sido más frecuentes desde 1970 y con importantes pérdidas económicas y todos los escenarios sugieren un aumento de sequías.

Las medidas que se han desarrollado para hacer frente a estos fenómenos, incluidas las sequías y las inundaciones, pueden servir de base para diseñar medidas de adaptación al cambio climático. Sin embargo la respuesta de adaptación al cambio climático tiene que incluir más elementos puesto que se trata de una combinación de los cambios a largo plazo (mayores temperaturas medias) unidos a un mayor número de eventos extremos (sequías), al mismo tiempo que se dará un aumento de la demanda de agua. Es importante considerar estos cambios socio-económicos como parte del cambio global. Los cambios sociales, a través de aumentos poblacionales incrementan la presión sobre los recursos hídricos y los cambios en el modelo medio ambiental podrían implicar una mayor competencia en el reparto de los recursos (Iglesias et al. 2009).

En este contexto de incertidumbre, el desarrollo y generalización del uso de nuevas tecnologías tendrá un papel fundamental a la hora de reducir la vulnerabilidad y por lo tanto el riesgo asociado al cambio climático en los recursos hídricos. La reutilización de agua ha evolucionado significativamente en los últimos años; en ese sentido cabe señalar como ejemplo que a pesar de que la cuenca Mediterránea representa apenas un 8% del total de área cultivada en el mundo y no más de un 10% del agua que se usa para riego en el planeta, la región mediterránea presenta un 64% del agua reutilizada en todo el mundo.

5.2 El contexto Europeo y nacional

EL LIBRO BLANCO DE LA ADAPTACION DE LA UE

La Unión Europea publicó en 2009 el *Libro Blanco de Adaptación al cambio climático: Hacia un marco europeo de actuación* (UE, 2009), que establece un marco para reducir la vulnerabilidad de la UE al impacto del cambio climático. El Libro Blanco, que se elaboró teniendo en cuenta las respuestas enviadas al *Libro Verde sobre Adaptación al cambio climático en Europa: Opciones de actuación para la UE*, de 2007, pretende respaldar y reforzar, mediante una estrategia integrada y coordinada a nivel de la UE, las medidas que se adopten a nivel nacional o local, que es el ámbito más apropiado para la adaptación, debido a la variabilidad regional de la gravedad de los impactos climáticos.

El Libro Blanco establece una estrategia en dos fases para la adaptación a los impactos del cambio climático en la UE, que complementa las medidas adoptadas por los Estados miembros a través de un planteamiento integrado y coordinado. La primera fase se desarrolla hasta el año 2012 y sienta las bases para la preparación de una estrategia global de adaptación de la UE a partir de 2013. Se centra actualmente en conocer mejor el cambio climático y evaluar las posibles medidas de adaptación, y en cómo integrar la adaptación en las principales políticas de la UE.

Con respecto a los recursos hídricos, el Libro Blanco se remite a la Directiva Marco sobre el Agua y a los planes hidrológicos de cuenca, ya que son los que tienen en cuenta los impactos del cambio climático. También establece la necesidad de regular las normas para equipos y sectores que consumen agua con el fin de mejorar su eficiencia, así como la necesidad de explorar opciones para aumentar la capacidad de almacenamiento de agua de los ecosistemas con objeto de reforzar su resistencia ante sequías.

DIRECTIVA DE INUNDACIONES

La Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación tiene como objetivo crear un marco común que permita evaluar y reducir en la Unión Europea los riesgos de las inundaciones para la salud humana, el medio ambiente, los bienes y las actividades económicas. La Directiva cubre los distintos tipos de inundaciones que pueden producirse, incluidas las que son ocasionadas en el medio urbano por la escorrentía o por la saturación de la red de drenaje y desagüe.

La Directiva, que ha sido traspuesta en España en el Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación, de 9 de julio 2010, requiere la preparación de Mapas de riesgos de inundación antes del final de 2013 y la elaboración de planes de gestión de riesgos de inundación antes del final de 2015. Actualmente, la Comunidad de Madrid cuenta con el Plan de Actuación en caso de Inundaciones, aprobado por la Comisión de Protección Civil de la Comunidad de Madrid el 25 de abril de 1997 con el objetivo de coordinar las actuaciones y los medios necesarios para el control de las emergencias por inundaciones. Este plan está siendo revisado para adaptarlo a la nueva legislación.

EL PLAN NACIONAL DE ADAPTACION

En España en febrero de 2006 se elaboró el I Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (MMA, 2006), concebido como un marco de referencia para la coordinación entre las Administraciones Públicas en las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. El Plan contempla una gran variedad de sectores, como son biodiversidad, recursos hídricos, bosques, sector agrícola, zonas costeras, caza y pesca continental, zonas de montaña, suelos, pesca y ecosistemas marinos, transporte, salud humana, industria y energía, turismo, finanzas-seguros y urbanismo y construcción.

En el marco del segundo programa de trabajo del PNACC se han establecido cuatro ejes de acción que coordinan las estrategias de adaptación para cada sector a nivel nacional. El primero de ellos busca llevar a cabo una evaluación sectorial de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático. El segundo prioriza la integración de la adaptación al cambio climático en la normativa sectorial. El tercero enfatiza la movilización de actores clave en los sectores incluidos en el PNACC. Finalmente el cuarto eje promueve el establecimiento de un sistema de indicadores de los impactos y la adaptación al cambio climático (MMA, 2006).

El avance de estas estrategias se ha plasmado en la quinta *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC)*, que fue presentada en Diciembre de 2009. Las comunicaciones al UNFCCC sirven principalmente para presentar el inventario de gases de efecto invernadero a escala nacional así como proporcionar información acerca de la vulnerabilidad

al cambio climático, las medidas de adaptación implementadas así como las proyecciones para el futuro. En cuanto a los impactos y la adaptación, la Comunicación hace referencia al Informe de *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efectos del Cambio Climático* (MMA, 2005), en el que se recogen los resultados del desarrollo del proyecto ECCE y que se ha descrito con más detalle en el apartado 3.

El PNACC tiene como objetivo final “la integración de la adaptación al cambio climático en la planificación de los distintos sectores y/o sistemas.” Para ello cuenta con varios objetivos específicos para distintas fases de su implementación que por el momento incluyen el desarrollo de escenarios climáticos y herramientas para evaluar impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático así como lo promoción de la participación pública y la elaboración de informes relativos al PNACC.

La importancia de los recursos hídricos está reconocida en el PNACC ya que cuenta con un apartado específico que menciona una probable reducción de las aportaciones hídricas como consecuencia del cambio climático. Las medidas, actividades y líneas de trabajo para las evaluaciones de impactos, vulnerabilidad y adaptación relativas a los recursos hídricos identificados en el PNACC incluyen los siguientes:

- Desarrollo de modelos regionales acoplados clima-hidrología que permitan obtener escenarios fiables de todos los términos y procesos del ciclo hidrológico, incluidos eventos extremos
- Desarrollo de modelos de la calidad ecológica de las masas de agua, compatible con el esquema de aplicación de la Directiva Marco de Aguas (DMA)
- Aplicación de los escenarios hidrológicos generados para el siglo XXI a otros sectores altamente dependientes de los recursos hídricos (energía, agricultura, bosques, turismo, etc.)
- Identificación de los indicadores más sensibles al cambio climático dentro del esquema de aplicación de la DMA
- Evaluación de las posibilidades del sistema de gestión hidrológica bajo los escenarios hidrológicos generados para el siglo XXI
- Desarrollo de directrices para incorporar en los procesos de Evaluación de Impacto Ambiental y de Evaluación Ambiental Estratégica las consideraciones relativas a los impactos del cambio climático para los planes y proyectos del sector hidrológico.

EJEMPLO: CASO DE ESTUDIO EN CALIFORNIA

Debido a los problemas de abastecimiento de las necesidades hídricas en el Estado de California, el cambio climático y los posibles impactos han sido estudiados detalladamente y posibles medidas de adaptación han sido desarrollados. Como resultado, el Departamento de Recursos de Agua ha publicado el documento “Gestionando un Futuro incierto: Estrategias de Adaptación al Cambio Climático para el Agua de California” (DWR, 2008). El caso de California puede ser un referente interesante para la Comunidad de Madrid.

Entre las diez estrategias que se identifican en el documento las que son relevantes para la Comunidad de Madrid son las siguientes:

- Desarrollar el potencial de la gestión integral y regional del agua que equilibra la gestión de la demanda y la gestión del suministro y que puede formar la base para programas generales regionales de adaptación al cambio climático
- Mejorar la eficiencia del uso del agua a través de la mejora de las infraestructuras, la implementación de programas de eficiencia para distintos usos del agua y con programas informativos
- Mejorar y sostener ecosistemas naturales para reducir la vulnerabilidad del sistema ante las sequías e inundaciones. Los sistemas de abastecimiento de aguas y gestión de sequías son más sostenibles y económicamente viables cuando se conserva, mejora y recupera las funciones naturales de los ecosistemas por lo que se crean sistemas integrados que sufren menos daños y se recuperan más rápidos después de eventos extremos naturales como son la sequía y las inundaciones.
- Mejorar la recogida de datos y la observación así como el análisis de datos para poder proyectar mejor el impacto en cambios del clima sobre el sistema hídrico y poder preparar para los cambios que se avecinan.
- Identificar y apoyar la investigación enfocada a los impactos del cambio climático y la adaptación a ello para reducir el rango de incertidumbre que existe actualmente en este campo y para aumentar el conocimiento sobre impactos futuros a una escala espacial más específico.

EJEMPLO: CASO DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE LONDRES

La ciudad de Londres comparte varias características con la Comunidad de Madrid. El abastecimiento de una de las mayores ciudades del mundo se enfrenta históricamente a varios problemas climáticos entre los que se incluyen las inundaciones y la sequía. Las proyecciones de cambio climático auguran un aumento en la intensidad y frecuencia de estos fenómenos. A ello se añade el riesgo que presenta la subida del nivel del mar, tanto directamente para la región urbana como indirectamente a través de su impacto sobre acuíferos, suelos y sectores productivos como la agricultura.

Confrontada con estos problemas, la ciudad de Londres está en el proceso de elaborar una estrategia de adaptación y otra de mitigación, en un contexto que integra afectados y la población en general. Un borrador de la denominada “*Estrategia de Adaptación al Cambio Climática del Alcalde*” (Greater London Authority, 2010) fue publicada en Febrero de 2010 para consulta pública. La estrategia tiene tres objetivos: identificar a los afectados, analizar como el cambio climático cambiará el riesgo de inundaciones, sequías y olas de calor y finalmente, identificar las medidas que son necesarias para responder a estos riesgos.

Las principales medidas propuestas en el borrador actual de la estrategia son:

- Mejorar el conocimiento y la gestión de los riesgos de inundaciones
- Una apuesta por el reverdecimiento urbano para amortiguar los impactos de las inundaciones y de las olas de calor.
- Mejorar la eficiencia del uso de agua de los hogares y trabajar con

las empresas de abastecimiento de agua para mantener el balance entre la demanda y la disponibilidad del agua

5.3 Necesidad de sinergias con otras medidas

La propuesta de políticas y estrategias de adaptación frente al cambio climático se basa en dos principios básicos de evaluación. En primer lugar, resulta necesario establecer políticas específicas en la gestión de recursos hídricos que orienten la evolución del sector en función de las previsiones de cambio climático. A pesar de que los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos pueden ser muy significativos, los efectos de las políticas públicas de gestión pueden ser comparativamente mucho mayores, por lo que existe un gran potencial para orientar a largo plazo una adaptación racional al escenario de cambio climático en el sector que, además de compensar sus efectos, pueda incluso mejorar sustancialmente la realidad actual. Basta con volver la vista atrás y analizar la situación del abastecimiento a Madrid en el año de la fundación del Canal de Isabel II en comparación con la situación actual para verificar que, con una adecuada orientación, las políticas públicas pueden originar una profunda transformación de la situación de partida en función de las necesidades sociales. En este caso se trataba de una política de incremento de disponibilidad del recurso y mejora de la garantía para hacer frente a las necesidades crecientes de la población de Madrid. En una situación económica comparativamente mucho más difícil que la actual, se consiguió en un plazo de pocas décadas incrementar de manera exponencial la disponibilidad del recurso, a costa de un importante esfuerzo económico, social y medioambiental que fue gestionado desde los poderes públicos. En el siglo XXI los retos de la política hidráulica en la Comunidad de Madrid son sustancialmente diferentes, pero persiste la capacidad de organizar racionalmente el proceso desde las Administraciones Públicas en función de los fines que se persigan. Si se establecen claramente los objetivos a largo plazo de la planificación hidrológica, existen medios técnicos para llevarlos a cabo originando una profunda transformación del sector, que, al igual que sucedió en el pasado, no estará exenta de dificultades.

En segundo lugar, la mayor parte de los problemas que se anticipan como consecuencia del cambio climático son una intensificación de problemas debidos a la escasez de agua que ya han aparecido en la actualidad en el abastecimiento de Madrid, si bien con carácter coyuntural. Las políticas 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. En este sentido, la toma de conciencia social del problema del cambio climático puede resultar una oportunidad para abordar de manera definitiva la solución de los actuales retos en la gestión de los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid y para la corrección de importantes problemas medioambientales.

5.4 Tipos de medidas en gestión del agua

Está previsto que se extiendan e intensifiquen los conflictos asociados a la disponibilidad de agua. Teniendo en cuenta el alto grado de aprovechamiento actual de los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid, la necesaria reserva

para usos de naturaleza medioambiental y el escaso margen para incrementar la disponibilidad con recursos propios en un escenario de reducción de recursos naturales, no podrán mantenerse todos los usos actuales, por lo que la estrategia futura debe consistir en una reducción progresiva de la demanda y una reasignación de disponibilidades a los usos que socialmente se estimen más adecuados. Para hacer frente al proceso es necesario actuar en distintas líneas, que se desarrollan a continuación.

La Tabla 5.1, resume los tipos de medidas propuestas, agrupándolas según se refieran a medidas institucionales, de gestión o estructurales. Algunas medidas podrían tener cabida en más de uno de estos grupos y otras dependerán, directa o indirectamente del cumplimiento de otras. Por lo tanto, la atribución a una columna en concreto solo debería entenderse como indicativa ya que la interpretación dependerá de varios factores que no se analizan aquí por estar fuera del alcance de este estudio.


ESPECIFICIDAD	INSTITUCIONAL	GESTIÓN	GESTIÓN DE LA DEMANDA	ESTRUCTURAL
General	Flexibilización del marco institucional para agilizar la toma de decisiones y que sea rápida y eficaz	Gestión integrada de los sistemas de recursos hídricos	Mejoras en el sistema de distribución del agua para reducir pérdidas	
	Coordinación entre instituciones y políticas sectoriales para planificación territorial e hidrológica conjunta	Gestión e implantación de medidas proactivas ante cambios futuros: incorporación de escenarios climáticos en la toma de decisiones	Implantación de instrumentación para mejorar el conocimiento sobre los recursos gestionados	Adaptación de la infraestructura para adecuarla a aportaciones menores y más variables
	Coordinación entre instituciones a distintos niveles: municipal, autonómico, nacional	Desarrollo de sistemas de gestión integrada de la información		
	Fomento de la participación de usuarios en los órganos encargados de la toma de decisiones	Evaluación de la efectividad de las medidas que se apliquen y supervisión detallada	Instalación de contadores individuales	
	Desarrollo del marco y régimen económico financiero para potenciar usos racionales	Información y educación de la población general y de personas que emplean el agua para usos productivos		Construcción de la infraestructura necesaria para aumentar la reutilización de aguas residuales
	Establecimiento de un marco normativo apropiado para el intercambio de derechos de uso de agua	Reasignación de las disponibilidades de agua	Instalación y fomento de tecnologías de mejora de la eficiencia del uso de agua (electrodomésticos, regadío etc)	
Específica				

Tabla 5.1: Resumen de las principales medidas institucionales, de gestión y estructurales propuestas para la Comunidad de Madrid

MARCO DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

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 establecer 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. En la actualidad la planificación hidrológica carece de este marco global, lo que limita su coordinación con otras políticas sectoriales, si bien los balances disponibilidad / demandas se realizan por Sistemas de explotación lo que permite una visión geográfica desagregada del déficit hídrico. Son frecuentes las situaciones en las que se pretende impulsar desarrollos urbanísticos u otros cambios en el uso del suelo, que suponen un incremento en la demanda de agua sin garantizar que se dispondrá de los recursos hídricos necesarios. Estos desarrollos suelen consolidarse a medio plazo como demandas insatisfechas de agua que son finalmente atendidas mediante mecanismos reactivos, como obras de emergencia en situación de escasez, fuera del marco establecido de planificación hidrológica. Estas circunstancias limitan la capacidad de la planificación hidrológica como instrumento de preparación para el futuro y, en particular, de adaptación al cambio climático.

La planificación hidrológica debe establecer como objetivo conseguir que los recursos hídricos no sean un factor limitante para un desarrollo territorial sostenible. Para ello es necesario identificar y priorizar las demandas que deben atenderse a medio y largo plazo en el marco de la política territorial. La adaptación progresiva se conseguirá mediante la gestión integrada de los sistemas de recursos hídricos para conseguir un uso eficiente del agua en las demandas de interés social.

Desde el punto de vista del riesgo de inundación, el instrumento más eficaz de adaptación en un contexto de planificación territorial será la puesta en práctica de las actividades contempladas en la Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo (Directiva de Inundaciones). En ella se establece la obligatoriedad de que la Administración hidráulica disponga de una herramienta eficaz de gestión del riesgo de inundación. En su desarrollo está prevista la creación del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), que aportará una información muy valiosa en relación con los eventos de inundación y su cobertura aseguradora, y que será imprescindible para incrementar la seguridad de los ciudadanos.

FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL DE LA ADMINISTRACIÓN HIDRÁULICA

La naturaleza de las funciones que debe desempeñar la Administración Hidráulica en los escenarios planteados en el contexto del cambio climático será sustancialmente diferente a la del pasado. Tradicionalmente, la función de la Administración Hidráulica ha sido la de garantizar e incrementar la disponibilidad de recursos hídricos mediante la ejecución de infraestructuras y el control de los usos. Según los escenarios de cambio climático, la disponibilidad efectiva del recurso probablemente se reducirá de manera sustancial en la Comunidad de Madrid, habiendo agotado en gran medida las posibilidades de incrementar la disponibilidad en los ríos de la Comunidad mediante obras de infraestructura de regulación, en el caso de que se descartase la regulación adicional del Jarama y Sorbe. Por este motivo, la Administración Hidráulica deberá ser el gestor público de la escasez. Tendrá como función primordial garantizar la

economía y racionalidad de los usos del agua y administrar el reparto de los recursos disponibles entre los distintos usos. Será necesario dotarla de los medios adecuados para la naturaleza de estas funciones, lo requerirá dos líneas prioritarias de actuación.

En primer lugar, será necesario diversificar y flexibilizar el marco legal y normativo de la gestión pública del agua. La trascendencia de las tareas de control y gestión que se encomendarán a las Administraciones Públicas requieren del desarrollo de instrumentos normativos adecuados a los objetivos que se establezcan. En concreto, el modelo concesional, desarrollado para la protección de los intereses de los usuarios que realizan una inversión a medio plazo para el aprovechamiento de nuevos recursos, deberá ser revisado. En un escenario de reducción de disponibilidad no es esperable que se desarrollen nuevos recursos, sino que se establezca una reasignación de los recursos existentes en función de las nuevas necesidades sociales. Lógicamente, se otorgará prioridad al agua destinada a consumo humano, por lo que los sistemas de abastecimiento urbano deberán obtener los recursos actualmente asignados a otros usos, como el regadío, que socialmente tienen menor prioridad. En este contexto, la protección a medio y largo plazo de los derechos de los usuarios tradicionales puede suponer un obstáculo importante para la consecución de los fines de asignación racional del recurso. En consecuencia, a medida que se vaya alcanzando la fecha de caducidad de las concesiones reguladas por la Ley de Aguas de 1985, será necesario modificar el modelo de regulación legal de utilización del agua, para adaptarlo a un escenario en el que se persiga la reasignación de usos en mayor medida que el desarrollo de nuevos recursos. También será importante el desarrollo de otro tipo de instrumentos en el marco del régimen económico-financiero o en el régimen sancionador, para conseguir potenciar los usos racionales y evitar los usos perjudiciales.

En segundo lugar, deberán potenciarse las instituciones públicas de gestión del agua, tanto en el nivel estatal como en el autonómico y municipal. Es importante que estas instituciones dispongan a medio plazo de los medios necesarios para llevar a cabo sus funciones, especificando claramente sus competencias en relación con otros sectores y administraciones y dotándolas de los medios técnicos y recursos humanos adecuados para el desempeño de las tareas de reasignación de usos.

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.

INCORPORACIÓN DE LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS A LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

Como ya se ha puesto en evidencia, los resultados de los estudios realizados hasta ahora predicen con un alto grado de probabilidad importantes reducciones de los recursos hídricos en el futuro para la Comunidad de Madrid, con un margen lógico de incertidumbre sobre su cuantificación. Esta circunstancia debe ser necesariamente tenida en cuenta en los procesos de planificación hidrológica.

Como respuesta a esta circunstancia, deberá modificarse el propio concepto de planificación hidrológica, que dejará de ser una actividad fundamentalmente

encaminada al incremento de la disponibilidad de recursos para atender una demanda creciente, y deberá orientarse hacia el desarrollo de modos efectivos de gestionar la creciente escasez del recurso. El problema es que los métodos y técnicas de la planificación hidrológica han sido desarrollados para situaciones de estacionariedad del régimen hidrológico, y deben adaptarse para tener en cuenta su posible disminución.

El marco normativo europeo en materia de aguas (la Directiva 2000/60/CE) fue redactado partiendo de una situación estable de relativa abundancia de agua. A lo largo de su texto no se menciona el cambio climático y se considera que las situaciones de escasez son excepcionales y coyunturales. Si, como es previsible, los procesos de cambio climático desencadenan situaciones más frecuentes de escasez, deberá ampliarse el marco establecido en la Directiva para contemplar también estas situaciones como parte de la gestión normal de los recursos hídricos, y no como una excepción transitoria.

El proceso de toma de decisiones en planificación hidrológica deberá incorporar los escenarios climáticos y otros posibles escenarios de futuro. 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.

INTENSIFICACIÓN DE LAS POLÍTICAS DE GESTIÓN DE LA DEMANDA E INCREMENTO DE LA OFERTA

Desde el punto de vista de la elaboración de programas concretos de actuación, deben intensificarse las políticas ya en marcha de incremento de oferta de recursos y gestión de la demanda de agua, 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. En el caso del consumo de agua en el medio urbano, las actuaciones, entre otras, deben basarse 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 y una disminución de la demanda pública mediante el empleo de especies vegetales de bajo consumo y el fomento del agua reciclada para los usos compatibles.

Una vez que estén definidas las demandas, será necesario obtener los recursos actuando sobre las posibilidades de oferta, en un escenario de reducción de aportaciones naturales. Resultará esencial la búsqueda de nuevas fuentes de suministro, incluyendo transferencias desde cuencas próximas y recursos alternativos. En la Comunidad de Madrid es previsible que las medidas convencionales de incremento de la oferta por sí solas no puedan corregir la disminución de recursos naturales y deberán combinarse con otro tipo de actuaciones, potenciando 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 de acuíferos. En este contexto, es destacable la iniciativa del Canal de Isabel II se emprender un proyecto de investigación destinado a estudiar la posibilidad de generación de lluvia artificial en las cuencas vertientes a sus embalses.

Todas estas estrategias de adaptación a la escasez supondrán costes significativos: inversión en infraestructuras, externalidades medioambientales, limitaciones al consumo, pérdida de derechos legalmente establecidos, etc. En algunos casos, las prácticas de adaptación pueden llegar a ser radicales, suponiendo alteraciones de los modos de gestión establecidos en la práctica, por lo que deben acometerse progresivamente y con la imprescindible prudencia.

FOMENTO DE LA GESTIÓN INTEGRADA DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

En un escenario de creciente escasez la oferta y demanda de recursos deben gestionarse eficazmente, procurando la ampliación y diversificación de las fuentes de suministro y su integración sistemas únicos, respondiendo al principio básico de solidaridad para atender el bien común. 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. Incluso recursos de la misma naturaleza (por ejemplo, procedentes de la regulación de aguas superficiales), pero correspondientes a distintos emplazamientos, presentarán las diferencias lógicas en función del régimen hidrológico de cada emplazamiento y de las características del sistema hidráulico de aprovechamiento. 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. Un sistema que puede utilizar recursos de distinta procedencia ofrece un amplio abanico de estrategias de gestión, que puede adaptarse a cada situación concreta. Los recursos pueden clasificarse en ordinarios, extraordinarios, estratégicos y de emergencia, y activar su utilización en función de las previsiones de evolución de la coyuntura. De este modo se puede garantizar disponibilidades en distinta cuantía en función de la gravedad de la situación.

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. 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 los 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.

Para conseguir esta integración de fuentes de suministro y demandas en sistemas más robustos es necesario superar dos obstáculos. En primer lugar, debe establecerse un marco normativo apropiado para el intercambio de derechos de uso. Existen en la actualidad derechos concesionales que dificultan la adopción de medidas encaminadas a la asignación racional del recurso. En escenarios de abundancia de recursos se regula el derecho al uso privativo del agua mediante fórmulas legales que garantizan la permanencia de dichos derechos a largo plazo. Pueden citarse, por ejemplo, el modelo de concesión adoptado en la legislación española o los modelos “riparian” (ribereño) o “prior appropriation” (precedencia temporal) adoptados en la legislación americana. Mediante este mecanismo, el agente que realiza una inversión para incrementar la disponibilidad del recurso se asegura que dispondrá de un plazo prudencial para amortizarla. El Estado otorga dicho derecho porque entiende que el aprovechamiento del recurso redundará en el bien común y que el usuario no realizaría la inversión si su derecho al uso privativo no estuviera protegido. En escenarios próximos al agotamiento de los recursos, el modelo concesional puede no ser el óptimo, ya que protege derechos de los usuarios sin que exista ya contraprestación social (en algunos casos, incluso en contra del interés común). Si no se trata de establecer nuevos aprovechamientos de recursos hídricos, el derecho al uso privativo del agua debe regularse de manera diferente, condicionándolo a la disponibilidad global en función de la prioridad de los distintos usos.

En segundo lugar, se debe garantizar que pueda ser realmente efectiva la utilización alternativa de varias fuentes de suministro o el intercambio de agua entre distintos usuarios. Esto exige una densificación de las redes de transporte y distribución de agua, para conseguir interconectar el mayor número posible de fuentes de suministro y demandas. En muchos casos, las redes cubrirán extensiones territoriales significativas, en función de las dimensiones del problema. Debe tenerse en cuenta que, posiblemente, el cambio climático afecte en distinto grado a los distintos territorios, por lo que puede suceder que los recursos que puedan negociarse se encuentren a distancias importantes de los centros de consumo dispuestos a adquirirlos.

ADAPTACIÓN INMEDIATA, CON INTENSIFICACIÓN PLANIFICADA Y PROGRESIVA

La existencia de un proceso de cambio climático de origen antropocéntrico está absolutamente contrastada desde el punto de vista científico. Los efectos de este proceso sobre los recursos hídricos serán, previsiblemente, muy importantes. En la actualidad ya se han detectado, y se espera una intensificación progresiva y acelerada en un futuro inmediato. De acuerdo con los resultados de los modelos, la inacción produciría efectos catastróficos en muchos sistemas de recursos hídricos, con una reducción progresiva de las garantías de las demandas hasta llegar a niveles que harían inviable la explotación, lo que originaría unos costes de mitigación mucho mayores que los costes de prevención. En consecuencia, es necesario comenzar de inmediato a implantar las medidas de adaptación, y

planificar adecuadamente la intensificación progresiva de dichas medidas en el futuro, en función de la evolución de la situación y de los resultados de las políticas que se vayan aplicando

Para ello, resulta esencial adaptar las redes hidrométricas para realizar un seguimiento del impacto del cambio climático en los recursos hídricos. Las redes de medida de recursos hídricos fueron diseñadas prioritariamente para la obtención de los valores medios y la variabilidad, estacional e interanual, de las series naturales de aportaciones en una hipótesis de estacionariedad. En la actualidad resulta difícil incluso obtener estos valores, debido a la profunda intervención humana sobre el ciclo hidrológico. La restitución de las series observadas a su régimen natural es, en muchos casos, un ejercicio de modelización de complejidad similar a la propia transformación lluvia-escorrentía, dada la imposibilidad de cerrar los balances hídricos a partir de las observaciones. Con estas incertidumbres, queda descartado que se puedan detectar variaciones progresivas de los valores medios, teniendo en cuenta que el ruido de las series debido a la variabilidad natural puede ser mucho mayor que la señal que se pretende detectar. Sin embargo, resulta crítico poder detectar el impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural para el establecimiento progresivo de las políticas de adaptación y el seguimiento de su implantación. En consecuencia, será necesaria una profunda revisión de las redes de medida, estableciendo las redundancias suficientes como para poder realizar con garantías la restitución a régimen natural a partir de las observaciones, cerrando los balances en cada una de las subcuencas.

Igualmente deben potenciarse los sistemas de archivo y recuperación de datos relativos a la gestión del agua, superando las actuales carencias en el control público de los usos del agua. Deben desarrollarse sistemas de gestión integrada de la información, partiendo de los actuales registros de usuarios y demandas, inventarios de infraestructuras, sistemas de indicadores hidrológicos, cartografías temáticas, etc, que permitan realizar el seguimiento detallado de las disponibilidades y de los consumos, identificar los puntos críticos y las carencias más significativas. Los procesos de toma de decisiones en la gestión del agua serán mucho más complejos que en la actualidad, y es previsible que dependan en mayor medida de los resultados de modelos de simulación del ciclo hidrológico y de optimización de sistemas de explotación de recursos hídricos. Deberán potenciarse las actividades de I+D para la mejora de este tipo de herramientas y para su integración en los órganos de las Administraciones Públicas encargadas de la gestión del agua, configurados en forma de sistemas de soporte de la decisión integrados con los sistemas de información de los organismos, que permitan la detección temprana de situaciones de riesgo de escasez y la activación de los planes de medidas especiales desarrollados al efecto.

Desde el punto de vista tecnológico, la intensificación de las políticas de adaptación debe basarse en la potenciación de las actividades de I+D+i: apoyo al desarrollo de sistemas que mejoren la eficiencia de los usos del agua en el consumo domiciliario, los procesos industriales y el regadío, las técnicas de tratamiento de aguas residuales, la eficiencia energética de la desalación, la corrección de impactos ambientales de las obras de captación, regulación, depuración y vertido, los métodos y técnicas de planificación hidrológica, los sistemas de soporte de decisión para gestión, el estudio y prevención de sequías e inundaciones, y un largo etc. De esta manera podrán anticiparse las soluciones tecnológicas a los problemas a medida que éstos vayan apareciendo. La gestión preventiva de las situaciones de crisis es siempre más eficaz en la disminución de impactos que las medidas de tipo correctivo, especialmente

tratándose de problemas de naturaleza tecnológica, que necesitan un largo ciclo de maduración y puesta a punto. La Administración Hidráulica debe asumir un papel de agente dinamizador de las actividades de investigación, fomentando la constitución de grupos estables y orientando su trabajo hacia los objetivos prioritarios y específicos, acordes con nuestra singular situación con relación al panorama internacional.



5.5 Tipos de medidas en sectores dependientes del agua

En este apartado se incluye un conjunto de medidas de adaptación en los sectores productivos inducidas por la presión del cambio climático sobre los recursos hídricos. La relación no es exhaustiva, sino que se limita a los sectores donde la influencia de los recursos hídricos es más evidente y relevante.

En la Tabla 5.2 se resumen los efectos directos del cambio climático, los indirectos que resultan de una reducción en la disponibilidad del agua y las potenciales medidas de adaptación que existen en algunos sectores especialmente dependientes del agua, así como en la vegetación natural y la biodiversidad. En el apartado siguiente se evalúan las características y posibilidades de implementación de las distintas medidas.

SECTOR	EFFECTOS DIRECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	EFFECTOS INDIRECTOS DE LA REDUCCIÓN DEL AGUA DISPONIBLE	POSIBLES MEDIDAS DE ADAPTACIÓN
Agricultura, bosques y vegetación natural	Aumento de la evapotranspiración Aumento de plagas y malas hierbas	Posibles reducciones o pérdidas de cosechas si la reducción es en época clave del crecimiento/maduración de cultivo Posible reducción de la calidad del cultivo Erosión Fragmentación de hábitats	Cambio de tipo de cultivo Riego más eficiente (goteo) Riego deficitario (por debajo de la dotación nominal) Cambio en fechas de plantación, horas de riego, etc. Cambios en la gestión de bosques Introducción de corredores ecológicos
Energía	Mayor necesidad energética	Menor peso de la energía hidroeléctrica en el mix Mayor dificultad de refrigeración de centrales térmicas	Más énfasis en otras fuentes renovables de energía
Industria y transporte	Mayor necesidad de refrigeración Mayor necesidad de climatización para personas y mercancías	Posible inviabilidad de algunas actividades de consumo intensivo de agua	Promoción de ahorro y eficiencia en el uso de agua Identificación de actividades potencialmente afectadas para diseñar programas de adaptación específicos
Turismo	Mayor necesidad de agua y energía para el turismo	Posibilidad de pérdida de actividad turística debido a temperaturas elevadas y restricciones en el uso del agua urbana (piscinas)	Diversificación de la oferta turística
Vivienda y urbanismo	Mayor necesidad de climatización	Limitaciones en las zonas urbanizables	Normas y programas para fomentar el ahorro de agua en las viviendas (riego, piscinas, electrodomésticos) Códigos de edificación que tengan en cuenta el cambio climático
Migraciones	Posibles movimientos de la población	Aumento de la demanda de agua	Intensificación de las medidas de ahorro de agua
Salud	Mayor incidencia de muertes por ola de calor Mayor incidencia de ciertas enfermedades	Mayor incidencia de enfermedades vinculadas a la modificación del estado de masas de agua	Intensificación del control sanitario sobre el agua de abastecimiento

Tabla 5.2: Resumen de los impactos derivados de cambios en los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid

ADAPTACIÓN EN ECOSISTEMAS

Las medidas de adaptación al cambio climático en ecosistemas están orientadas a conseguir que éstos se mantengan en un buen estado de conservación, garantizando que continuarán produciendo los servicios ecosistémicos incluso bajo los efectos negativos de las alteraciones climáticas. Las medidas de adaptación persiguen dos objetivos fundamentales: en primer lugar, amortiguar las perturbaciones y aumentar la resistencia del ecosistema frente a los cambios (por ejemplo, prevenir los incendios forestales, controlar las plagas y las especies invasivas, restaurar el ecosistema después de una perturbación). Si el cambio es inevitable, las medidas de adaptación deben facilitar la transición del ecosistema hacia un nuevo estado de equilibrio, adaptado a las nuevas condiciones. Para ello puede ser necesario combinar distintas medidas de apoyo: modificar la gestión de los ecosistemas mediante plantaciones, aumentar la conectividad del paisaje, reforzar la diversidad genética, etc. En conjunto, debe perseguirse una planificación integrada del sector forestal enmarcada en el paradigma de la sostenibilidad para reducir significativamente la vulnerabilidad de los espacios naturales.

Un primer conjunto de medidas de adaptación debe estar encaminado a definir sistemas de alerta temprana de cambios estructuro-funcionales en los espacios naturales de la Comunidad de Madrid. Su adecuada implementación permitirá focalizar los esfuerzos adaptativos en masas forestales que ya están sufriendo algún tipo de impacto. Dentro de este grupo se encuentra la monitorización de poblaciones forestales de interés, para elaborar un sistema de seguimiento espacio-temporal de los espacios naturales de la Comunidad de Madrid utilizando métodos remotos como imágenes de satélite u ortofotos. En el seguimiento es esencial tener en cuenta valores no sólo económicos, sino también servicios ecosistémicos como son la regulación hídrica o la fertilización de los suelos. También debe hacerse un seguimiento de especies indicadoras de cambio climático. Se deben identificar y monitorizar en el tiempo y en el espacio animales, vegetales u hongos cuyos nichos ecológicos formen parte de alguno de los espacios naturales presentes en la Comunidad de Madrid y cuyas variaciones poblacionales y/o de área de distribución sirvan como alerta temprana de cambio. Las modificaciones en especies de periodo vital corto y metabolismo rápido pueden asociarse a cambios reales en las condiciones ambientales y servir como punto de partida para elaborar planes de acción directos de adaptación. Igualmente es conveniente hacer un seguimiento de los cambios en la estructura socioeconómica del sector forestal asociados al cambio climático. El mercado económico es un sistema muy volátil en el que los cambios se ponen de manifiesto con mucha rapidez y puede funcionar como sistema de alerta.

Otro grupo de medidas de adaptación debe estar enfocado a reducir la vulnerabilidad a largo plazo de los espacios naturales de la región, mediante la mejora de la gestión forestal en consonancia con otras políticas estratégicas, como son el aprovisionamiento energético, la mitigación del cambio climático, la gestión del agua y la conservación de la biodiversidad. Para ello se debe desarrollar un marco legislativo que penalice prácticas forestales poco sostenibles, sobre todo desde el punto de vista del uso del agua. Resulta imprescindible adherirse al principio de precaución no sólo incentivando una gestión sostenible, sino penalizando las prácticas derrochadoras. El marco legal debe identificar las técnicas forestales de gestión más adecuadas para cada actividad silvícola (podas, aclareos, tratamientos fitosanitarios, plantaciones, etc.). También deben regularse desde esta perspectiva la gestión de los residuos forestales, la prevención de incendios, la contaminación difusa y sobre

todo la eficiencia en el uso del agua (limitando el exceso de evapotranspiración, favoreciendo la percolación y los flujos subsuperficiales, etc.). La adaptación también requiere un mejor conocimiento del comportamiento de los sistemas en situación de cambio, para lo que es necesario desarrollar un plan de investigación coordinado que fomente los estudios que caractericen las interacciones planta-animal para las principales plagas forestales en un contexto de calentamiento global, evaluando la posible incidencia y la intensidad de nuevas enfermedades y sus posibles efectos.

Junto a las medidas de adaptación deben desarrollarse las oportunidades potenciales, por ejemplo, mediante una estrategia que potencie el desarrollo de cultivos forestales energéticos o que favorezcan la captura de CO₂ atmosférico. Determinadas plantaciones forestales pueden tener gran valor como biomasa y constituir una fuente de energía limpia, evitando emisiones provenientes del uso de energías convencionales por sustitución. Las necesidades de desarrollo de estas plantaciones energéticas deben equilibrarse con las funciones básicas de los bosques, destinando parte de los recursos forestales de la región a cultivos de desarrollo rápido como fuente energética alternativa, pero manteniendo la integridad ecológica de la región con especies más adaptadas a las condiciones climáticas futuras.

En el conjunto de medidas de adaptación no se debe descartar la intervención directa mediante el riego de sistemas forestales en situación hidrológica crítica. En el marco de la sostenibilidad económica, social y ambiental, puede ser razonable que en situaciones de alto estrés hídrico, algunas formaciones de alto valor que vean muy comprometida su supervivencia, puedan recibir aportes en forma de riego con el fin de preservar los beneficios ambientales derivados de la existencia de dicho bosque. Dado el contexto de escasez hídrica, el empleo de esta medida no puede generalizarse, por lo que habría que estudiar cuidadosamente la relación entre los costes y beneficios de aplicar esta medida a una determinada masa forestal.

Tampoco debe perderse de vista el hecho de que los ecosistemas proveen servicios que contribuyen a reducir la vulnerabilidad de otros sectores económicos. Los servicios ecosistémicos pueden jugar un papel importante en la adaptación, y ofrecen importantes oportunidades asociadas. Resultaría muy beneficioso que los planes de adaptación de los distintos sectores incorporaran la conservación y manejo sostenible de los ecosistemas para favorecer la adaptación en el sector. Por ejemplo, en la adaptación al cambio climático en la gestión de recursos hídricos se debería promover la conservación de la función ecosistémica de producción y regulación los recursos hídricos.

ADAPTACIÓN EN AGRICULTURA

Las medidas de adaptación en agricultura deben contemplar siempre tanto el factor local como las peculiaridades sociales y ambientales de la zona. Las directrices generales que puedan darse deben entenderse como una referencia para el conjunto de agentes locales que son los que efectivamente implantarán las medidas.

Un grupo significativo de medidas de adaptación debe estar encaminado a reducir los efectos de la sequía en la agricultura. Para ello se puede plantear la selección de variedades o la modificación de la rotación de cultivos para optimizar el uso de los recursos hídricos y minimizar la vulnerabilidad de los cultivos ante la sequía. Igualmente resulta importante maximizar la eficiencia en el uso del agua mediante la modernización y mantenimiento eficaz de los sistemas de riego, o

el establecimiento de buenas prácticas que permitan reducir el consumo. Por ejemplo, el Canal de Isabel II tiene en marcha un programa que informa a los usuarios cuándo hace falta regar en función de las previsiones meteorológicas. Igualmente, el Ayuntamiento de Madrid se ha destacado por el fomento del empleo de los recursos hídricos “no convencionales”, como la reutilización del agua residual tratada y el empleo de otras aguas de calidad marginal, para el riego. También se pueden aplicar técnicas de cultivo, como la poda en verde, que disminuye la superficie de transpiración de la planta, el aclarado de frutos, dejando sólo los que previsiblemente puedan desarrollarse adecuadamente en función de las expectativas de riego, o la fertilización diseñada para ayudar a la planta a aumentar su resistencia a la sequía y a recuperarse más rápidamente de sus consecuencias. Finalmente, las técnicas de manejo del suelo permiten reducir las pérdidas de agua, como por ejemplo la labranza fuera de temporada, la labranza profunda o la provisión de barreras vegetales en el entorno con el fin de reducir la velocidad del viento y la evaporación.

La reducción en la disponibilidad de agua tiene como efecto indirecto el riesgo de erosión. Por ello, la adaptación debe contemplar también medidas encaminadas a prevenir, corregir o mitigar la pérdida erosiva de suelos. En este grupo puede encuadrarse el fomento de las prácticas agrícolas protectoras del suelo, como la construcción de bancales en laderas de pendiente acusada o el labrado de la tierra siguiendo las curvas de nivel, perpendicularmente al sentido de la pendiente, con el fin de frenar la velocidad del agua y permitiendo así que ésta se infiltre en el suelo. La realización de labranzas conservacionistas como la siembra directa, resulta muy eficaz en la prevención y control de la erosión. También resulta muy eficaz el empleo de cultivos adecuados, tanto en las especies como en el método de explotación, englobando el sistema de riego y abonado y el control del pastoreo, evitando la sobrecarga del mismo.

Junto a las medidas específicamente agronómicas, pueden emplearse medidas de tipo socioeconómico, como una adecuada tarificación del agua, el control de su uso y la penalización del consumo ilegal, el empleo de incentivos económicos para influir en el volumen total del consumo y en las pautas de uso del agua. En algunas regiones se plantea la potenciación de los cultivos energéticos. Para ello es necesario realizar estudios que contengan una detallada zonificación de las zonas aptas para los diferentes cultivos energéticos bajo los diferentes escenarios de cambio climático. Desde el punto de vista institucional, es imprescindible la puesta en marcha de programas de formación para agricultores cuya finalidad sea la aplicación de técnicas de adaptación al cambio climático. El agricultor debe recibir orientación, de modo que las políticas, planes, programas, actuaciones e información, sean puestas a su disposición para que puedan ser llevadas a la realidad del campo madrileño.

El efecto del cambio climático en el sector agrícola está sujeto a enormes incertidumbres, de manera que los efectos pueden ser positivos en unos casos y negativos en otros, siendo necesario el establecimiento de un sistema de indicadores que permita realizar un seguimiento y disponer de un instrumento de evaluación que cuantifique los beneficios o perjuicios de las actuaciones llevadas a cabo.

ADAPTACIÓN EN LA INDUSTRIA

El mayor riesgo del cambio climático para la producción industrial puede venir a través del incremento de los precios de la producción que se den por la necesidad de garantizar los procesos industriales vinculados a la energía o al agua. Por ello, las medidas de adaptación al cambio climático en la industria

estarán fundamentalmente orientadas a incrementar la eficiencia energética para hacer frente a un previsible aumento del coste de la energía.

A pesar de que el agua consumida no es, en general, uno de los factores más significativos de su estructura de costes, es de esperar que la propia industria adopte de manera autónoma medidas específicas para reducir también su consumo de agua, por numerosos motivos. En primer lugar, el impacto del consumo energético y del agua en los costes de explotación de cualquier actividad tiene una importancia capital, por lo que la propia empresa será la primera interesada en optimizar su ciclo de producción para mejorar sus rendimientos económicos. Por otra parte, la sociedad es cada vez más sensible al enorme potencial de ahorro que la industria tiene a su alcance, simplemente planteando la eficiencia en el uso del agua como uno de los objetivos específicos en el diseño de la producción. Finalmente, por motivos comerciales, ya que la preocupación y concienciación medioambiental está ganando en visibilidad y las empresas lo perciben como una oportunidad promocional. Como se deduce de la tendencia decreciente de los consumos específicos de agua en la industria en los últimos años, las industrias madrileñas ya han puesto en marcha numerosas medidas destinadas a reducir y racionalizar su consumo de agua y es de esperar que esta tendencia se intensifique en el futuro.

Junto a las iniciativas de adaptación autónoma, los poderes públicos deberán establecer políticas conducentes a mejorar la eficiencia en el uso de agua, con distintos grados de obligatoriedad en función de la coyuntura. En Madrid ya se dispone de la Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua (BOCM, 2006, que contiene un capítulo específico destinado a los sectores industrial, dotacional y de servicios, donde se establece la obligatoriedad de elaborar un plan de gestión sostenible del agua para grandes consumidores sujeto a auditorías bienales. Igualmente, el Plan Municipal de Gestión de la Demanda de Agua en la ciudad de Madrid contiene un Anexo donde se trata la gestión de ahorro de agua en empresas de producción y servicio, con indicaciones para establecer un sistema de gestión del ahorro de agua y propuesta de medidas de ahorro. El reto es, por una parte, implementar efectivamente el Plan y asegurar el cumplimiento de la Ordenanza. Luego, extenderla al resto de municipios

Un instrumento importante en la implantación de la eficiencia en el consumo de agua son las auditorías hídricas, que permiten conocer el consumo de agua total anual y sus fluctuaciones, realizar un diagnóstico de la situación de eficiencia en el uso del agua y en su vertido y proponer recomendaciones y posibles implantaciones de medidas de corrección, incluyendo su viabilidad técnico-económica. Es muy posible que en un futuro las auditorías hídricas sean obligatorias para determinados tipos de industria, o constituyan un requisito para la obtención de determinadas ventajas o subvenciones.

ADAPTACIÓN EN SEGUROS

Desde el punto de vista del sector de los seguros, el cambio climático no se considera un riesgo en sí mismo, sino un fenómeno que, en su manifestación concreta en el tiempo y en el espacio, puede agravar o mitigar riesgos ya existentes, o crear otros nuevos. Los riesgos naturales -tanto de origen climático como de origen geológico-, con relación a otros que desde el punto de vista asegurador se podrían considerar ordinarios (incendios, robos, daños por agua, etc.), tienen un comportamiento errático, tanto en frecuencia (períodos de recurrencia que pueden ser muy amplios) como en intensidad (alcance del daño, sobre todo por la concentración de expuestos y la simultaneidad de su afectación). Esto es, este tipo de riesgos no son frecuentes,

pero cuando ocurren pueden originar graves catástrofes, con grandes pérdidas en vidas y en bienes.

Desde el punto de vista de la fortaleza institucional, cabe destacar que dos conceptos fundamentales en el tratamiento del cambio climático y sus posibles escenarios e impactos, como son la incertidumbre y la adaptación, no son en absoluto extraños en la actividad aseguradora de catástrofes naturales llevada a cabo por el Consorcio de Compensación de Seguros. Más bien se diría que son consustanciales a esa actividad.

El componente de incertidumbre en la cobertura de los peligros de la naturaleza proviene del citado comportamiento errático, que lleva aparejada una dificultad de previsión, toda vez que la experiencia siniestral (grandes periodos de retorno) no permite la elaboración de estadísticas que resulten técnicamente relevantes a la hora de hacer predicciones de siniestros y pérdidas, o de establecer las tarifas más adecuadas. En el contexto internacional esta dificultad se ha intentado salvar, desde el huracán Andrew en 1992, con el diseño y desarrollo de modelos matemáticos que, no obstante, dejan todavía mucho margen a la incertidumbre en el tratamiento de los riesgos catastróficos de la naturaleza, razón por la cual están en continua revisión.

Esa incertidumbre en el comportamiento de los citados riesgos lleva a una constante actitud de adaptación, que, en el caso del español del CCS, le viene reclamada asimismo por su papel de instrumento al servicio del mercado asegurador nacional, atento a las vicisitudes y necesidades del mismo en el tratamiento de estos riesgos. Y cabe resaltar que el CCS tiene más de 60 años de experiencia como solución aseguradora de peligros de la naturaleza, solución que se basa en una alta capacidad financiera y en una eficiente capacidad de gestión de la siniestralidad.

No obstante, siendo que las estrategias de adaptación dependen fundamentalmente de la previsión de pérdidas, las medidas de respuesta del CCS a la evolución del cambio climático y sus impactos, dependen además de factores externos, como son el nivel de conocimiento sobre los riesgos y su comportamiento (importancia de los mapas de peligrosidad y riesgo), la concreción de los impactos del cambio climático en el tiempo y en el espacio, las políticas de adaptación en otros ámbitos (ordenación territorial, usos del suelo, planificación urbanística, gestión medioambiental, códigos de construcción), la evolución de las técnicas que con mayor precisión identifiquen futuros escenarios u otros descubrimientos que puedan ir apareciendo en materia de reducción de impactos.

De acuerdo con lo anterior, la respuesta del CCS ante los diferentes escenarios que se presenten, en su caso con mayor componente de incertidumbre y manteniendo viva su actitud de adaptación, pasará por seguir garantizando una suficiente capacidad financiera y una eficiente capacidad de gestión. Por lo demás, y desde una perspectiva general e integral de la gestión de los peligros de la naturaleza, la adaptación pasa por hacer hincapié en la prevención y, concretamente, en la reducción de la vulnerabilidad atacando los principales factores de incidencia, como son los ya mencionados y relativos al conocimiento de los riesgos, la regulación de los usos del suelo, la planificación del territorio, los códigos de construcción y la gestión medioambiental.

Las especiales características de los peligros de la naturaleza (frecuencia, intensidad, cúmulos, simultaneidad, incertidumbre, irrelevancia estadística) requieren de instrumentos específicos para su tratamiento asegurador (capacidad financiera y de gestión, reserva de fluctuación de la siniestralidad). La mayoría

de los sistemas de cobertura de catástrofes que existen en el mundo tienen un componente de obligatoriedad, como forma de hacer frente a dos cuestiones fundamentales: garantizar una mutualización del riesgo lo más amplia posible, con una gran masa de asegurados (posibilitando una tarifa asequible) y evitar la antiselección (que sólo los potenciales asegurados con bienes más expuestos se adhieran al sistema).

El sistema español de cobertura de catástrofes naturales tiene tres principios o pilares fundamentales, que son: la solidaridad (entre todos los asegurados), la compensación y la colaboración (con el mercado asegurador privado español). El principio de compensación se da en tres niveles: a) compensación de riesgos; b) compensación geográfica (todas las zonas tienen idéntica consideración independientemente de los riesgos y de su nivel de vulnerabilidad), y c) compensación temporal (los años con resultados positivos sirven para compensar los años desfavorables).

La solidaridad y la compensación geográfica y de riesgos fundamentan y justifican el establecimiento de una tarifa indiferenciada para todo el territorio nacional y para todos los riesgos incluidos en el sistema. La tarifa sólo se diferencia por el tipo de interés asegurado: bienes, según sean viviendas, oficinas, comercios, industrias, obras civiles y automóviles (no responsabilidad civil), y personas (accidentes y vida).

En cuanto al riesgo moral (cierta predisposición que virtualmente se asienta en los asegurados para despreocuparse de la protección de sus bienes cuando están cubiertos por el seguro) hay que señalar que es algo que puede afectar a todo tipo de seguros, y que el nivel de ese riesgo o predisposición no se ha demostrado sea mayor en las coberturas de catástrofes que en otras coberturas ordinarias.

ADAPTACIÓN EN VIVIENDA Y URBANISMO

El principal requisito de adaptación en el sector de vivienda y urbanismo impuesto por los posibles efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos es la mejora en la eficiencia en el uso del agua. La mejora de la eficiencia se logrará con una mejor educación ambiental de los ciudadanos y con el apoyo de un conjunto de instrumentos de carácter normativo que establecerá el estándar de eficiencia exigido a cada tipo de instalación. De hecho, en la Comunidad de Madrid ya ha iniciado este proceso, con el Plan Municipal de Gestión de la Demanda de Agua del Ayuntamiento de Madrid (Ayto Madrid, 2005), que está en marcha desde 2005, y con la Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid (BOCM, 2006), de mayo de 2006, que persigue otorgar el mayor protagonismo a la gestión de la demanda frente al aumento de la oferta, primando el ahorro y la eficiencia en el uso del agua. Este instrumento normativo inicialmente tiene carácter de obligatorio únicamente en edificios de nueva construcción y nuevos desarrollos urbanísticos, pero previsiblemente se irá extendiendo la aplicación de medidas similares a las edificaciones existentes y desarrollos urbanísticos consolidados, a medida que la presión sobre los recursos hídricos vaya siendo cada vez mayor.

Desde el punto de vista de la edificación y la vivienda, se irán desarrollando progresivamente medidas destinadas a fomentar el ahorro del agua en edificios destinados a uso residencial, oficinas o cualquier otro tipo de uso público, tales como contadores individualizados de agua, instalación de elementos de fontanería para reducción de consumos en grifos, duchas y cisternas en viviendas particulares y dispositivos de eficiencia dotados de limitadores,

temporizadores o sensores de presencia en edificios destinados a uso público (hoteles, oficinas, etc.). Igualmente, los códigos de edificación incluirán medidas para mejorar el rendimiento energético de los edificios, combinando el uso de mejores materiales para el aislamiento térmico con técnicas modernas de diseño que favorezcan la climatización.

Desde el punto de vista de la planificación urbanística, los nuevos desarrollos urbanísticos deberán estar condicionados por normativas que fomenten la eficiencia en el uso del agua. La Comunidad de Madrid dispone aún de una importante superficie de suelo vacante o en proceso de urbanización. De hecho, el suelo clasificado como urbanizable casi duplica la ciudad existente. Resulta fundamental que las nuevas actuaciones contemplen esta filosofía de eficiencia en el uso del agua. Igualmente, las modificaciones de las infraestructuras o las actuaciones de rehabilitación y acondicionamiento de barrios o zonas ya consolidadas deben optimizar el uso del agua. En un futuro, podría darse el caso de acometer tareas de remodelación urbanística motivadas exclusiva o principalmente por la conveniencia de racionalizar el consumo de agua, o incluso se podría establecer la obligatoriedad para las zonas consolidadas de cumplir los mismos requisitos que ahora se aplican a los nuevos desarrollos.

El tipo de medidas que se incluirán en los instrumentos urbanísticos para una gestión eficaz de los recursos hídricos, incluyen las siguientes:

- Medidas para la utilización de recursos hídricos alternativos, estableciendo sistemas de captación, almacenamiento y tratamiento de las aguas de lluvia en los edificios, en vías urbanas y aparcamientos y en campos y pistas deportivas y sistemas de reciclado de aguas grises en instalaciones domésticas.
- Definición de las instalaciones necesarias para abastecerse de la red municipal de reutilización de aguas en los usos previstos
- Posibilidad de ejecutar instalaciones comunitarias de reutilización, reciclado o aprovechamiento de aguas para riego en las promociones de edificios que disponga de zonas ajardinadas significativas.

El agua constituye en la actualidad un importante recurso ambiental, estético y de ocio, y el paisaje urbano se verá modificado para adaptarse a este nuevo planteamiento. La gestión eficiente del agua y, en concreto, la necesidad de extremar el ahorro del recurso y fomentar las fuentes de recursos alternativos supondrán una alteración progresiva del paisaje urbano y de los elementos recreativos y ornamentales relacionados con la presencia de láminas de agua. La planificación urbanística debe tener en cuenta todos estos aspectos a la hora de diseñar los parques y zonas públicas de ocio. En el diseño y proyecto de nuevas instalaciones se tendrán en cuenta los criterios de sostenibilidad y ahorro de agua, tanto en cuanto a su suministro, como a su funcionamiento y mantenimiento.

Se promoverá la utilización racional de la jardinería en entornos urbanos con la finalidad de adaptarla a las características climáticas locales. En el diseño, remodelación y ejecución de proyectos de nuevas zonas verdes públicas o privadas se utilizarán mayoritariamente plantas autóctonas de bajo consumo de agua adaptadas a la climatología de Madrid y se emplearán tecnologías que permitan adecuar el riego a sus necesidades vitales y realizar un cuidado y mantenimiento de las zonas ajardinadas que potencie el ahorro de agua y otros recursos. Las plantas de alto consumo, como las praderas de césped, se limitarán al mínimo.

Esto provocará una alteración de las condiciones ambientales con relación a la situación actual, ya que se reducirá drásticamente la evapotranspiración y se asumirá un mayor riesgo de marras en las plantaciones, por lo que habrá que extremar el cuidado en el diseño de estos entornos, para evitar el proceso de desertificación urbana que ya se aprecia en determinados parques y jardines diseñados bajo esta filosofía.

La presencia de fuentes y láminas de agua tiene un efecto beneficioso en el entorno urbano, tanto en el plano estético como en el ambiental. Sin embargo, debe extremarse el cuidado para evitar que las láminas de agua sean uno de los principales consumidores de agua en los servicios comunes municipales. La ordenanza de uso eficiente del agua impone la obligatoriedad de instalar dispositivos economizadores de agua en las fuentes de la ciudad. Deben funcionar en circuito cerrado, procediendo a su llenado y reposición de pérdidas desde las redes de distribución de agua regenerada o agua de drenaje procedente de la red de infraestructuras subterráneas de Madrid y otros pozos de captación de aguas subterráneas

Junto con una previsible reducción de los recursos hídricos, el cambio climático plantea la amenaza de un incremento de los fenómenos extremos. Esta circunstancia constituye una presión adicional a la que soportan ya actualmente las redes de drenaje urbano como consecuencia del crecimiento urbanístico. Si además de crecer las zonas pavimentadas, las lluvias extremas se hacen más intensas, las probabilidades de fallo de los sistemas de drenaje aumentarán considerablemente. Por este motivo, ya se están planteando iniciativas de adaptación consistentes en la permeabilización de superficies y pavimentos. En el futuro se prevé una transformación progresiva de las superficies y pavimentos de la ciudad para disminuir su permeabilidad. Se trata de limitar la cuantía de pavimentación u ocupación impermeable a lo estrictamente necesario, con la finalidad de disminuir la escorrentía superficial y fomentar la infiltración y la posible captación de aguas pluviales mediante sistemas de drenaje.

La ordenanza de uso eficiente del agua (BOCM, 2006) ya establece la obligatoriedad de emplear un mínimo porcentaje de superficies permeables en todas las actuaciones de urbanización, incluidos los proyectos de urbanización de planeamiento, los proyectos de obra de urbanización de espacios libres públicos y los proyectos de edificación que incluyan el tratamiento de espacios libres de parcela. Se propone el empleo de pavimentos porosos como gravas, arenas y materiales cerámicos porosos, o pavimentos de losetas, empedrados o adoquines ejecutados con juntas permeables. Es muy posible que esta limitación se haga extensiva a las remodelaciones de los espacios actualmente consolidados, e incluso que se acometan obras con la finalidad específica de aumentar la permeabilidad de los pavimentos.

Una iniciativa singular relacionada con la permeabilización de superficies y pavimentos es la propuesta de “tejados verdes” (Pozo, 2008), que consiste en la sustitución de la tradicional cubierta de edificios mediante material impermeable por una zona ajardinada. Con ello se consigue una mayor inercia térmica, reduciendo los costes de calefacción y aire acondicionado y se incrementa la evapotranspiración en el medio urbano, mejorando las condiciones ambientales.

Esta propuesta surgió en Alemania en los años 70 y contó con el apoyo de planificadores y autoridades, que subvencionaron e incluso obligaron a la instalación de este tipo de cubiertas. En los últimos años se han construido unos 130 km² de tejados verdes en Alemania y en la actualidad ocupan el 14% de las nuevas cubiertas planas que se construyen. La idea se ha extendido a otras regiones del mundo, como Estados Unidos, y a grandes ciudades como

Ciudad de Méjico, Río de Janeiro, Tokio o Singapur. En la Comunidad de Madrid se encuentra el tejado verde de mayor extensión del mundo en la Ciudad Financiera del Banco Santander (100.000 m²).

Sin embargo, existe una cierta controversia sobre la adecuación de esta técnica a zonas de clima árido, ya que las ventajas de este tipo de cubiertas se pierden si el terreno se encuentra seco (Werthmann, 2008). Es difícil encontrar especies que no requieran de riego para mantener la humedad, por lo que sería necesario montar un sistema de almacenaje del agua de lluvia para hacer que el tejado sea autosuficiente y bombearla consumiendo energía. Tampoco está claro que el efecto de retención del agua de lluvia sea deseable, especialmente si se desea aprovechar ésta como recurso alternativo. Werthmann, (2008) establece unos criterios para determinar la adecuación de esta técnica en clima Mediterráneo: Los tejados verdes son adecuados si la superficie impermeable supera el 70% del total, si los tejados suponen al menos el 30% de la superficie impermeable y si es factible su implantación al menos en el 20% de las cubiertas.

ADAPTACIÓN EN DEMOGRAFÍA Y MIGRACIÓN

Como se ha visto con anterioridad, el cambio climático puede desencadenar fuertes movimientos migratorios, que tendrán su repercusión sobre la demografía de las grandes ciudades, como Madrid. La alteración del clima continental, en particular el incremento de las temperaturas en verano, podría propiciar un desplazamiento de la población hacia el litoral, donde las temperaturas en verano serán más suaves. Este efecto de reducción de la población puede verse más que compensado por posibles movimientos migratorios internacionales, originados por el endurecimiento de las condiciones de vida en determinadas áreas geográficas. Al ser Madrid un foco internacional de atracción de movimientos migratorios por las oportunidades que ofrece, existe un riesgo significativo de que el cambio climático origine un incremento de la población.

Desde el punto de vista de la adaptación, el aumento de demanda vinculado al crecimiento de la población por inmigración exigirá intensificar las medidas de incremento en la eficiencia de los usos del agua ya mencionadas en repetidas ocasiones. Junto a ello, será necesario mitigar los efectos adversos de la llegada de población con escasos recursos económicos, como pueden ser la marginación social, la proliferación de infraviviendas, el desempleo, etc.

ADAPTACIÓN EN SALUD

La alteración del régimen hidrológico originada por el cambio climático puede tener consecuencias importantes en el sector de la salud, provocando la aparición de nuevas enfermedades desconocidas hasta ahora en la Comunidad de Madrid o intensificando la incidencia de otras. Según la Organización Mundial de la Salud, la adaptación al cambio climático en el sector sanitario debe comenzar por la sensibilización acerca de los efectos del cambio climático en la salud, para impulsar la adopción de medidas de salud pública. Del mismo modo, un mayor conocimiento del problema por parte de los profesionales sanitarios contribuirá a la adopción de estrategias rápidas y amplias de mitigación y adaptación, que mejorarán la salud y reducirán la vulnerabilidad sanitaria.

A pesar de que el área de las enfermedades vinculadas al agua es un sector en el que la investigación ha avanzado de manera sustancial, todavía presenta déficits de conocimientos importantes. Es necesario intensificar la investigación para determinar el impacto actual y el posible impacto futuro de los riesgos relacionados con el clima. Debe caracterizarse el grado de vulnerabilidad de

la población e identificar las características de los grupos vulnerables. también deben establecerse sistemas de vigilancia y alerta y gestión de emergencias, que se basen en indicadores que permitan supervisar y evaluar los criterios de actuación. Finalmente, debe prestarse atención a la formulación y evaluación de políticas de adaptación y mitigación para promover y proteger la salud.



6 Conclusiones del estudio

En este último capítulo se resumen las conclusiones generales más relevantes del estudio, que fueron contrastadas con los participantes en el seminario y con las personas entrevistadas.

- En Madrid el clima es un componente esencial del capital natural y un elemento importante del desarrollo social y del mantenimiento de los ecosistemas. La posibilidad de que se produzcan en un futuro próximo cambios en el clima, alterando el equilibrio actual, es muy significativa. Aun reconociendo las limitaciones del estado del arte actual para poder modelar los procesos de cambio climático y las incertidumbres sobre los escenarios futuros de emisiones, la comunidad científica está de acuerdo en que, aunque se detuviera el crecimiento de las emisiones de los gases con efecto invernadero, el clima seguiría cambiando durante décadas. Esta circunstancia ha sido ampliamente difundida por los distintos informes del IPCC y no puede ser ignorada en los procesos de toma de decisiones.
- En la actualidad se conocen bien las medidas necesarias para disminuir los efectos de la escasez de agua, pero estas medidas probablemente tengan que ser modificadas para responder a los impactos del cambio climático en los recursos hídricos de la Comunidad de Madrid. En este caso es aplicable el principio cautelar de “más vale prevenir que curar”. En la situación actual aún existe margen para la prevención, pero, si no se comienza a aplicar medidas con carácter inmediato, el coste de la mitigación del cambio climático y la adaptación a sus efectos crecerá de manera exponencial. La adaptación incluye medidas técnicas, de gestión, de ocupación del suelo, económicas, de información y de regulación. Las medidas de adaptación no son soluciones únicas, sino que pueden reflejar distintos puntos de vista sobre la gestión de los recursos.
- El sector de los recursos hídricos es particularmente sensible al cambio climático en España en general y en la Comunidad de Madrid en particular. La escorrentía total de la España peninsular disminuye en casi todos los escenarios de cambio climático analizados en este estudio. A pesar de la disparidad de los escenarios, la mayoría de ellos coinciden en pronosticar para España peninsular una reducción de aportaciones muy acusada en el escenario futuro, con una media en torno al 35% para el horizonte 2070-2100. La escorrentía en la Comunidad de Madrid disminuye más drásticamente en la España peninsular. A excepción del modelo ICTP, la mayoría de los modelos analizados coinciden en pronosticar una reducción de escorrentía muy acusada en el escenario futuro para el periodo 2070-2100, que se puede ajustar a una reducción del 48%, valor muy superior a la media peninsular.
- Es muy difícil determinar con precisión el efecto que podrían tener los diferentes escenarios de cambio climático sobre el sistema de abastecimiento de Madrid, debido a la dispersión que presentan las distintas proyecciones para cada escenario y a la gran complejidad del sistema. Sin embargo, está claro que las reducciones previstas

en la escorrentía tendrán un efecto muy importante en el sistema de abastecimiento del Canal de Isabel II, obligando a adoptar medidas de adaptación muy significativas.

- En el sector de los recursos hídricos, la adaptación al cambio climático consiste en la intensificación de medidas de ahorro de agua e incremento en la eficiencia de su uso que ya están en marcha en la Comunidad de Madrid. La Directiva Marco del Agua de la Unión Europea aporta un marco para la gestión del agua con la participación de todos los grupos de interés, esencial para definir las estrategias de adaptación al cambio climático. En un contexto de adaptación al cambio climático es vital que estas políticas consigan cambiar los modos de usar el agua por parte de los usuarios, lo que a su vez supondrá una modificación de sus actividades, ocasionando, a su vez, impactos que requerirán de adaptación.
- En conjunto, los impactos del cambio climático en los recursos hídricos se irán trasladando a otros sectores a través de las medidas de adaptación que se vayan estableciendo. Estos impactos se añadirán a los que cada sector pueda sufrir independientemente como consecuencia directa del cambio climático. En algunos casos, los impactos inducidos por las medidas de adaptación al cambio climático en los recursos hídricos pueden resultar más importantes que los impactos propios del cambio climático en el sector.
- En el sector del medio natural y biodiversidad la mayor influencia inducida por la adaptación en los recursos hídricos se producirá a través de la disponibilidad de agua para el mantenimiento de caudales ecológicos, que podrá influir decisivamente sobre los ecosistemas acuáticos en los ríos de la región.
- En el sector agrícola los escenarios de cambio climático implican la necesidad de aumentar considerablemente los aportes de agua para el regadío. Esta estrategia presenta problemas puesto que la disponibilidad de agua a un coste asumible por la agricultura es cuestionable debido a la competencia entre usos del agua.
- En el sector industrial se prevé una intensificación del control público sobre la eficiencia en el uso de agua, que podrá afectar a las explotaciones industriales en la medida en que éstas sean consumidoras del recurso. Se espera que se establezcan protocolos para auditar el consumo de agua, obligando a las empresas a adaptar sus instalaciones para alcanzar evaluaciones positivas.
- En el sector de ordenación del territorio se espera que el cambio climático pueda inducir movimientos de población, en busca de las zonas con mejor habitabilidad. La intensificación de las políticas públicas para el incremento en la eficiencia del uso del agua también alterará determinados patrones urbanísticos, modificando el papel que puedan jugar elementos como zonas verdes o espejos de agua.



7 Recomendaciones

Los trabajos desarrollados en el marco del presente estudio tienen un marcado carácter generalista, tanto en el alcance como en la profundidad de los análisis realizados. A la vista de los resultados obtenidos se ha elaborado un conjunto de recomendaciones y sugerencias para profundizar en algunos aspectos que han quedado fuera del ámbito de este estudio, o que durante el desarrollo del mismo se ha demostrado que es conveniente tenerlas en cuenta en estudios futuros.

- Es necesario mejorar las metodologías que permiten concretar a escala local las proyecciones de los escenarios climáticos regionales. Estas metodologías – denominadas *downscaling* –, deben contemplar las singularidades climáticas específicas de la Comunidad de Madrid que no están reproducidas en los modelos de baja resolución que se emplean para elaborar las proyecciones climáticas.
- Los modelos climáticos están actualmente orientados a reproducir la evolución de las características medias del clima como respuesta a la concentración de gases de efecto invernadero. El análisis de la gestión de los recursos hídricos exige que los modelos estén también en disposición de reproducir el comportamiento de los extremos, y en especial los ciclos de sequía y los máximos de precipitación y caudal asociados a altos periodos de retorno.
- En el caso de los recursos hídricos, sería muy conveniente realizar un estudio del posible efecto de la pérdida de precipitación en forma de nieve sobre los recursos hídricos que utiliza el Canal de Isabel II, toda vez que tendrá consecuencia en sectores de especial importancia en la Comunidad de Madrid como es el turismo. La precipitación nival proporciona más escorrentía y contribuye a una mejor regulación natural del ciclo hidrológico y los efectos de su posible disminución no han sido cuantificados.
- En el estudio realizado se han detectado varios sectores, como los ecosistemas naturales o el turismo, especialmente sensibles al cambio climático. Es conveniente acometer estudios regionales que determinen el impacto del cambio climático en los sectores económicos relevantes de la Comunidad de Madrid.
- Los efectos del cambio climático sobre los distintos sectores económicos deben ser objeto de seguimiento por parte de las Administraciones Públicas. Para ello sería conveniente poner en marcha un conjunto de indicadores que permitieran identificar dichos efectos y controlar su evolución en el tiempo.
- El cambio climático puede constituir una oportunidad para plantear un enfoque integrado en la gestión de los recursos naturales. La transición de un modelo basado en la explotación de los recursos hacia un modelo basado en su conservación y en la gestión responsable debe contemplar las cuencas hidrográficas como “fábricas de recursos hídricos” que requieren de una cuidadosa gestión para continuar prestando dicho servicio.

- La toma de decisiones en adaptación al cambio climático requiere un enfoque de gestión adaptativa. Muchos de los procesos desencadenados por las alteraciones climáticas son no lineales, y será necesario desarrollar nuevas técnicas de evaluación de inversiones que recojan esta particularidad, primando la capacidad de prestar servicio en un amplio rango de escenarios futuros sobre las meras cuestiones de eficiencia económica.
- Las medidas de adaptación deben evaluarse mediante técnicas analíticas que contemplen la singularidad del proceso; en este sentido, se recomienda las basadas en la consideración sucesiva del factor determinante, la presión, el estado, el impacto y la respuesta, para describir las interacciones entre la actividad humana y el medio ambiente. Serán más efectivas las medidas que actúen sobre los factores determinantes frente a las que actúen sobre los impactos.
- Para la valoración económica de las medidas de adaptación sería interesante realizar un análisis de coste-beneficio, teniendo en cuenta el escenario base de no aplicar medida alguna frente al cambio climático y diferentes escenarios relativos a inversiones, políticas, de prioridades, etc. En este contexto, deben cuantificarse las externalidades ambientales y asignar valor económico a los servicios ambientales.
- Algunas cuestiones, como las migraciones debidas a conflictos vinculados con la disponibilidad de agua, pueden resultar determinantes por su posible afección sobre la demografía de la Comunidad de Madrid. Sería conveniente realizar un análisis más detallado del efecto del cambio climático sobre los posibles escenarios demográficos en la Comunidad.
- Existen en la actualidad instrumentos económicos innovadores que permitirían orientar progresivamente la actividad de los particulares hacia actividades más eficientes en el uso del agua. Es conveniente profundizar en el diseño y la aplicación de estos instrumentos económicos para la gestión de la demanda.



8 Referencias bibliográficas

- Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (2010) Tarifas del agua en España en 2009. Precio de los servicios de abastecimiento y saneamiento. AEAS, 2010.
- Ayala-Carcedo F.J. e Iglesias López A. (1996) Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España peninsular. Instituto Tecnológico y Geominero de España. Tecnoambiente, N°64: 43-48.
- Ayuntamiento de Madrid (2005) Plan Municipal de Gestión de la Demanda de Agua en la Ciudad de Madrid. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Servicios a la Ciudad, 2005.
- Ayuntamiento de Madrid (2006) Estrategia Local de Calidad del Aire en la Ciudad de Madrid, 2006.
- Ayuntamiento de Madrid (2008) Plan de Uso Sostenible de la Energía y Prevención del cambio Climático en la Ciudad de Madrid, 2008.
- Barnett TP, Adam JC, Lettenmaier DP (2005) Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438, 303-309
- Barranco, Luis (2011) Evaluación del impacto hidrológico del cambio climático en España. Valoración de las proyecciones climáticas. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- Bates B, Kundzewicz Z, WU S, Palutikof J (2008) Climate change and water. IPCC, Technical Report, June 2008, Geneva, Switzerland
- Bejarano MC (2002) Los estudios de la isla de calor en Madrid. *Estudios Geográficos*, Vol 63, No 248-249.
- BOCM (2006) Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid. BO. Ayuntamiento de Madrid 22/06/2006 num. 5709 pag. 2410-2443, 2006.
- BOE (2008) Instrucción de Planificación Hidrológica. BO. Estado 22/09/2008 num. 229 pag. 38472-38582, 2008
- Burton I, Diringier E, Smith J (2006) Adaptation to climate change: International policy options. Pew Center on Global Climate Change, 2006.
- Burton I, Lim B (2005) Achieving adequate adaptation in agriculture. *Climatic Change*, 70(1- 2), 191-200
- CEH (1980) El Agua en España. Centro de Estudios Hidrográficos
- CEDEX (1998) Estudio sobre el impacto potencial del cambio climático en los recursos hídricos y demandas de agua de riego en determinadas regiones de España. 1998.
- CEDEX (2011) Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural.
- CES (2009) Situación Económica y Social: Comunidad de Madrid 2009

- CIRCE (2009) Climate Change and Impact Research: the Mediterranean Environment. 2009. Disponible en <http://www.circeproject.eu/>
- Ciscar JC, Iglesias A, Feyen L, Goodess CM and others (2009) Climate change impacts in Europe. Final report of the PESETA research project. EUR 24093 EN. JRC Scientific and Technical Reports, Seville
- Comunidad de Madrid (2007) IMPACTUR: Estudio del impacto económico del turismo sobre la economía y el empleo. Resumen de los principales indicadores.
- Comunidad de Madrid (2009) Programa de desarrollo rural de la Comunidad de Madrid. 2007-2013.
- Comunidad de Madrid (2010) Turismo en la Comunidad de Madrid. Informe de resultados año 2010.
- Cubillo González, F. ,Ibáñez Carranza, J.C. (2003) Manual de Abastecimiento del Canal de Isabel II. Madrid, Canal de Isabel II.
- DWR (2008) Managing an Uncertain Future: Climate Change Adaptation Strategies for California's Water. Department of Water Resources. State of California. 2008
- ENSEMBLES (2008) ENSEMBLES Project Final Report. 2009. Disponible en [http:// http://www.ensembles-eu.org/](http://http://www.ensembles-eu.org/)
- Fankhauser S, Tol RSJ (2005) On Climate Change and Economic Growth. Resource and Energy Economics, 27, 1-17
- FENERCOM (2009) Situación energética de la Comunidad de Madrid
- Fernández Carrasco, P. (2002) Estudio del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos. Aplicación en diecinueve cuencas en España. Tesis Doctoral. ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.
- Fernández García, F. & Rasilla Álvarez, D (2008) Olas de calor e influencia urbana en Madrid y su área metropolitana. Estudios Geográficos, Vol 69, No 265
- Forest CE, Stone PH, Sokolov AP, Allen MR, Webster MD (2002) Quantifying Uncertainties in Climate System Properties with the Use of Recent Climate Observations Science, Vol 295, Issue 5552, 113-117 , 4 January
- Garrote L., Rodríguez I. y Estrada F. (1999) Una evaluación de la capacidad de regulación de las cuencas de la España Peninsular. VI Jornadas Españolas de Presas. Vol 2, 645-656.
- Giorgi F, Lionello P (2008) Climate change projections for the Mediterranean region. Global and Planetary Change, 63 , pp. 90–104
- Greater London Authority (2010) The draft climate change adaptation strategy for London. Disponible en <http://www.london.gov.uk/climatechange/strategy>
- Hernández Barrios, L. (2007) Efectos del cambio climático en los sistemas complejos de recursos hídricos. Aplicación a la cuenca del Júcar. Tesis Doctoral. ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Valencia.
- IDAE (2011) Plan de Energías Renovables 2011-2020. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. 2011

- INE (2006) Encuesta sobre el uso de agua en el sector agrario. Año 2006.
- INE (2006b) Encuesta sobre el uso del agua en el sector industrial. Año 2006.
- INE (2008) Encuesta industrial de empresas. Año 2008.
- IPCC (2000) IPCC Special Report. Emissions Scenarios. 2000
- IPCC (2007) Climate Change 2007: Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge
- ITA (2008) Empleo en el sector turístico: Informe Anual 2008
- Kerr RA (2005) Confronting the bogeyman of the climate system, *Science*, 310, 432–433
- Locatelli, B y M. Kanninen (2010) Servicios ecosistémicos y adaptación al cambio climático. En : Adaptación al cambio climático y servicios ecosistémicos en América Latina. CATIE.
- López Camacho, B. (1996) ¿Nuevas infraestructuras hidráulicas o conservación del agua? *Revista de Obras Públicas*, Vol 143(3356), 19-42.
- Luterbacher J, Dietrich D, Xoplaki E, Grosjean M, Wanner H (2004) European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science*, 303 (5663), 1499-1503
- MARM (2011) Sistema de Información del Agua. Disponible en <http://www.magrama.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/sia-/default.aspx>
- Martín Mendiluce, J.M. (1996) Los embalses en España. Su necesidad y trascendencia económica. *Revista de Obras Públicas*, Vol 143(3354), 7-24.
- MMA (2000) Libro blanco del agua en España. Ministerio de Medio Ambiente.
- MMA (2005) Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Disponible en http://www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico
- MMA (2006) Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
- MMA (2007) Quinta Comunicación Nacional de España ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Mora, J (2008) Los problemas de los menores migrantes en un mundo globalizado. Tema agua, cambio climático y migraciones. Santa Cruz de Tenerife 12 a 14 de mayo 2008
- MOPTMA (1995) Programa Nacional sobre el Clima. 1995
- Naredo JM, Carpintero O, Frías J, Saa A, Gascó JM (2009) El agua virtual y la huella hidrológica en la Comunidad de Madrid. Cuadernos de I+D+i del Canal de Isabel I.
- Observatorio de la Sostenibilidad en España (2006a) Agua y Sostenibilidad: Funcionalidad de las Cuencas. Fundación Universidad de Alcalá, 2006
- Observatorio de la Sostenibilidad en España (2006b) Cambios de Ocupación del Suelo en España. Implicaciones para la sostenibilidad. Fundación Universidad de Alcalá, 2006

- Observatorio de la Sostenibilidad en España (2011) Biodiversidad en España. Base de la sostenibilidad ante el cambio global. Fundación Universidad de Alcalá, 2011
- Pernía Llera, J.M.; Fornés Azcoiti, J.M. (2008) Cambio climático y agua subterránea: Visión para los próximos decenios. IGME. 2008.
- PNUMA (2011) Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. www.unep.org/greeneconomy
- Pozo, C. (2008) Paisajes Urbanos Sostenibles. Expo Zaragoza 2008. Tribuna del Agua. Semana Temática Agua y Ciudad, pp 212-218.
- PRUDENCE (2006) Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects. <http://prudence.dmi.dk/>
- Quiroga S, Iglesias A.. (2007) Projections of economic impacts o climate change in agriculture in Europe. *Economía Agraria y Recursos Naturales* 7(14): 65-82.
- Rosenzweig C, Karoly D, Vicarelli M, Neofotis P, Wu Q, Casassa G, Menzel A, Root TL, Estrella N, Seguin B, Tryjanowski P, Liu C, Rawlins S, Imeson A (2008) Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature* 453, 353-357
- Rosenzweig, C., & Wilbanks, T. (2010) The state of climate change vulnerability, impacts, and adaptation research: Strengthening knowledge base and community. *Climatic Change* 100: 103 - 106
- Stainforth DA, et al. (2005) Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases, *Nature*, 433, 403–406
- Stern N, Peters S, Bakhshi V, Bowen A, Cameron C, Catovsky S, Crane D, Cruickshank S, Dietz S, Edmonson N, Garbett SL, Hamid L, Hoffman G, Ingram D, Jones B, Patmore N, Radcliffe H, Sathiyarajah R, Stock M, Taylor C, Vernon T, Wanjie H, Zenghelis D (2006) *Stern Review: The Economics of Climate Change*, HM Treasury, London
- TEEB (2010) La economía de los ecosistemas y la diversidad: incorporación de los aspectos económicos de la naturaleza. Una síntesis del enfoque, las conclusiones y las recomendaciones del estudio TEEB. 2010.
- Tol RSL (2006) The Stern review of the economics of climate change: A comment. Economic and Social Research Institute Hamburg, Vrije and Carnegie Mellon Universities November 2, 2006. <http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/reports/sternreview.pdf>
- UE (2009) Libro Blanco de Adaptación al cambio climático: Hacia un marco europeo de actuación. 2009. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:Es:PDF>
- UNFCCC (1992) United Nations Framework Convention on Climate Change. FCCC/INFORMAL/84. GE.05-62220 (E) 200705
- Werthmann, C. (2008) Water and Green Roofs in Dry Climates—A Speculation. Expo Zaragoza 2008. Tribuna del Agua. Semana Temática Agua y Ciudad, pp 219-227.
- WWF (2011) *Assessing Water Risk: A Practical Approach for Financial Institutions*. WWF, 2011.



FUNDACIÓN CANAL
Canal de Isabel II



PAPEL RECICLADO