

Valoración económica de los efectos del cambio climático en España en el sector de recursos hídricos.

DOCUMENTO DE SÍNTESIS

Autores:

Emilio Cerdá (coordinador), Zaira Fernández-Haddad, Sebastien Foudi, Ibon Galaraga. Alba Martínez, Pablo Martínez, Álvaro H. Montoya, David Nortes, Sonia Quiroga, Cristina Suárez.

Marzo de 2017

ÍNDICE:

1. Introducción.....	3
2. Cambio climático y recursos hídricos.....	14
3. Abastecimiento de agua en los hogares de España.....	30
4. El uso del agua en la industria en España.....	40
5. Usos productivos del Agua: el impacto del cambio climático y las políticas de adaptación relacionadas con la gestión del agua sobre la agricultura.....	50
6. Aportaciones de la economía a la gestión del riesgo por Inundación.....	61

Capítulo 1

Introducción

Los recursos hídricos, entendidos como activos económicos, comprenden todos los ecosistemas que sirven para regular el ciclo hidrológico (bosques de cabecera, riberas, suelos, llanuras de inundación, lagunas, deltas, etcétera), así como todas las infraestructuras (embalses, canales, plantas de tratamientos de aguas residuales, etcétera) destinadas a adaptar la disponibilidad natural del recurso a las necesidades de la economía. Los recursos hídricos y los servicios que estos prestan son cruciales para la satisfacción de las necesidades humanas. Estos servicios son incorporados a los vectores de satisfactores, tanto de forma directa, mediante su consumo directo por parte de la población, como de forma indirecta, a través de su incorporación a procesos productivos de bienes y servicios. Juegan también un papel fundamental en la conservación de otros ecosistemas, además de constituir ecosistemas por sí mismos, afectando, por tanto, a la capacidad del resto de servicios ambientales para satisfacer necesidades humanas.

Tal como se señala en el Segundo Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, el agua es esencial para la supervivencia y el bienestar humanos, y es importante para muchos sectores de la economía. Los recursos hídricos se encuentran repartidos de manera desigual en el espacio y el tiempo, y sometidos a presión debido a las actividades humanas. Se ha demostrado que los cambios en el clima están afectando a la disponibilidad de agua.

El presente estudio tiene por objeto mostrar el efecto potencial que el cambio climático tendrá en España sobre distintos sectores económicos, a través de sus efectos sobre los recursos hídricos. Se comienza aportando una visión general sobre el cambio climático y sus impactos en los recursos hídricos en el mundo, en la Unión Europea y en España. Se analizan futuras demandas de agua por parte de diferentes sectores donde el recurso es de gran importancia: hogares, industria y agricultura. La demanda se analiza bajo diferentes escenarios de cambio climático (A2 y B2), y se compara teniendo en cuenta posibles cambios en la productividad del agua, para así desarrollar análisis de sensibilidad. También se aborda el problema de sequía, así como los impactos del cambio climático en la distribución de la renta de los agricultores, para de esta forma incluir temas de equidad dentro de este estudio. Finalmente se estudia el problema de las inundaciones, desarrollando una metodología común que sirva para evaluar los impactos de las inundaciones desde una perspectiva económica.

España, con la excepción de las cuencas situadas en el Norte del Atlántico, muestra todas las características del clima Mediterráneo semiárido (que se caracteriza por precipitaciones escasas, donde las lluvias anuales están entre los 200 y los 400 mm), con pluviosidad baja (85% de la media de la Unión Europea) y alta evapotranspiración potencial (entre las mayores del continente). Todo ello hace que España sea el país más árido de la Unión Europea.

El Índice de Explotación del Agua (*WEI*) sirve para señalar si las tasas de extracción de agua de los países son sostenibles a largo plazo. Se define como:

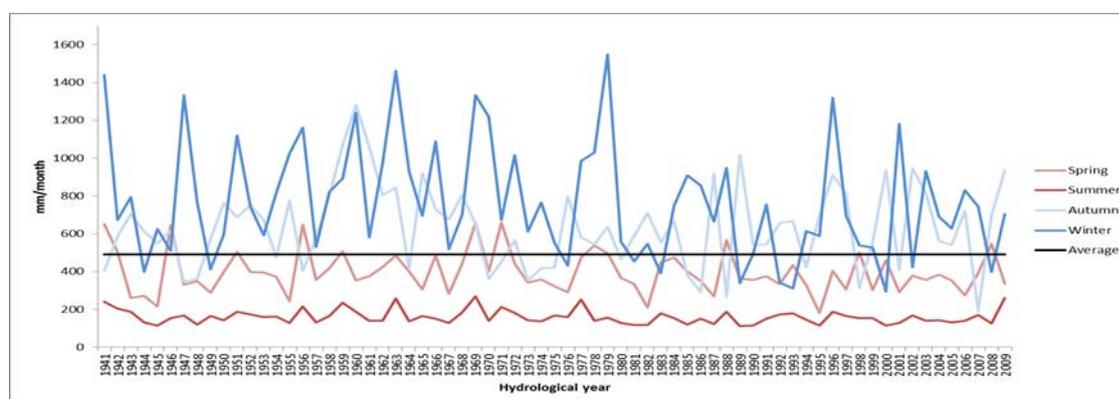
$$\text{Cantidad total captada en un año} / \text{Cantidad media renovable del recurso a largo plazo}$$

Si se supera el 20% se considera que hay stress hídrico. Además, si se supera el 40% hay stress hídrico severo, lo que indica que hay muy fuerte competencia por el recurso.

España, con un índice de 33,6% es el tercer país de la Unión Europea con mayor stress hídrico en el año 2012, tras Chipre y Malta. Además, el índice global para España enmascara diferencias importantes entre cuencas españolas. Entre las 13 cuencas europeas con mayor stress hídrico hay 8 españolas.

Este hecho, unido a la alta variabilidad interanual e inter-estacional (Gráfico 1.1) y a grandes reducciones de flujos de agua en los meses de verano (especialmente en las cuencas más meridionales) incrementa la complejidad en la gestión de los recursos hídricos en España. Sin infraestructuras hídricas, sólo el 10% de los recursos de agua pueden ser usados, subiendo hasta el 40% tal proporción con la construcción de embalses, la disposición de agua subterránea y el uso de recursos no convencionales (European Commission, 2013). Con una capacidad de embalse de 56,57 km³ en 2013 (MAGRAMA, 2015), España se sitúa como la primera de Europa, siendo capaz de almacenar más del 50 por ciento de los recursos hídricos renovables totales¹.

Gráfico 1.1. Variabilidad interanual e inter-estacional de la escorrentía en España (mm/mes)



Fuente: Elaboración propia a partir de MAGRAMA, 2013

Debido a los patrones climáticos, el agua ha sido siempre un factor crítico y limitativo para el crecimiento económico y el desarrollo en España, ya que tradicionalmente España ha concentrado sus usos del agua fundamentalmente en agricultura, energía, turismo y desarrollo urbano (MMA, 2007). La agricultura y el turismo son las áreas que dependen más profundamente de la provisión de los servicios de agua. Sin embargo, como en otros países, tales como Australia, y en otras regiones, como California, la economía española ha sido capaz de superar las limitaciones con respecto a este recurso y desarrollar una economía dependiente del agua.

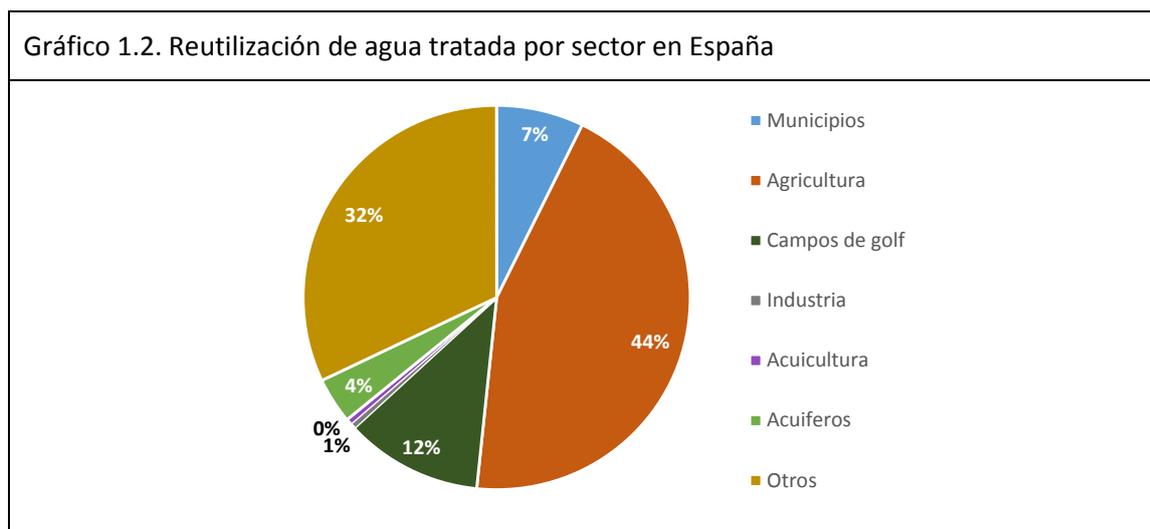
En este contexto, las fuentes de agua dulce son utilizadas en España de manera exhaustiva, especialmente en áreas de alta escasez comparativa, donde tienden a concentrarse tanto población como actividades intensivas en agua. El progreso económico ha requerido, como una condición necesaria, niveles de acuerdos institucionales sofisticados, desde el principio. En tiempos recientes, cuando se han desarrollado nuevas tecnologías, ha habido también inversiones significativas en recursos no convencionales, como la desalación o las aguas residuales tratadas.

¹ Según datos del sistema de información global sobre el agua de la FAO (FAO-Aquasat, 2015) para el periodo 2008-2012.

De acuerdo con datos de FAO-Aquastat (2015), en España, en el año 2008 se extrajeron 32,46 km³ de agua, de los que aproximadamente el 81% corresponde a agua superficial (primaria y secundaria), el 18% a agua subterránea (primaria y secundaria), y casi el 2% a recursos hídricos no convencionales (fundamentalmente uso directo de agua residual tratada y agua desalinizada).

España ocupa la primera posición en Europa y está entre las primeras del mundo en cuanto a volumen de agua desalinizada (FAO-Aquastat, 2015). Las 700 plantas desaladoras en España producen 1,6 hm³ por día, de los que la agricultura demanda en torno a 0,5 hm³ por día (WWF, 2007). Sin embargo, la existencia de grandes subsidios al agua producida por plantas desaladoras (con precios pagados por agricultores entre 0,12 y 0,25 €/m³ y costes de producción de 0,5 €/m³ (European Commission, 2013)) no es suficiente para hacerla atractiva para el sector agrícola, y las autoridades españolas tienen dificultades para hacer que la agricultura utilice y pague por agua desalada, en lugar de utilizar reservas limitadas de agua subterránea.

En cuanto a las aguas residuales, España ha duplicado la cantidad reutilizada en los últimos diez años, pasando de 0,7 hm³/día en el año 2000 a 1,5 hm³/día en 2012, lo que actualmente supone un 11 por ciento del agua residual tratada (INE, 2015). Como muestra el Gráfico 1.2, los principales destinatarios de la reutilización son la agricultura (44 por ciento), los campos de golf (12 por ciento) y los municipios (7 por ciento).



Fuente: MAGRAMA, 2015

Costes según la fuente de agua utilizada

La fuente de suministro de agua más económica en España corresponde a las aguas superficiales, con un coste medio de alrededor de 0,02 €/m³ (MAGRAMA, 2015), seguida de las aguas subterráneas, con un coste medio de 0,12 €/m³ (MAGRAMA, 2015), la reutilización de aguas residuales por un coste medio de unos 0,25 €/m³ (Hernández Sancho & Sala Garrido, 2006) y finalmente las aguas desaladas presentan un coste medio estimado de 0,50 Euros/m³ (MAGRAMA, 2015).

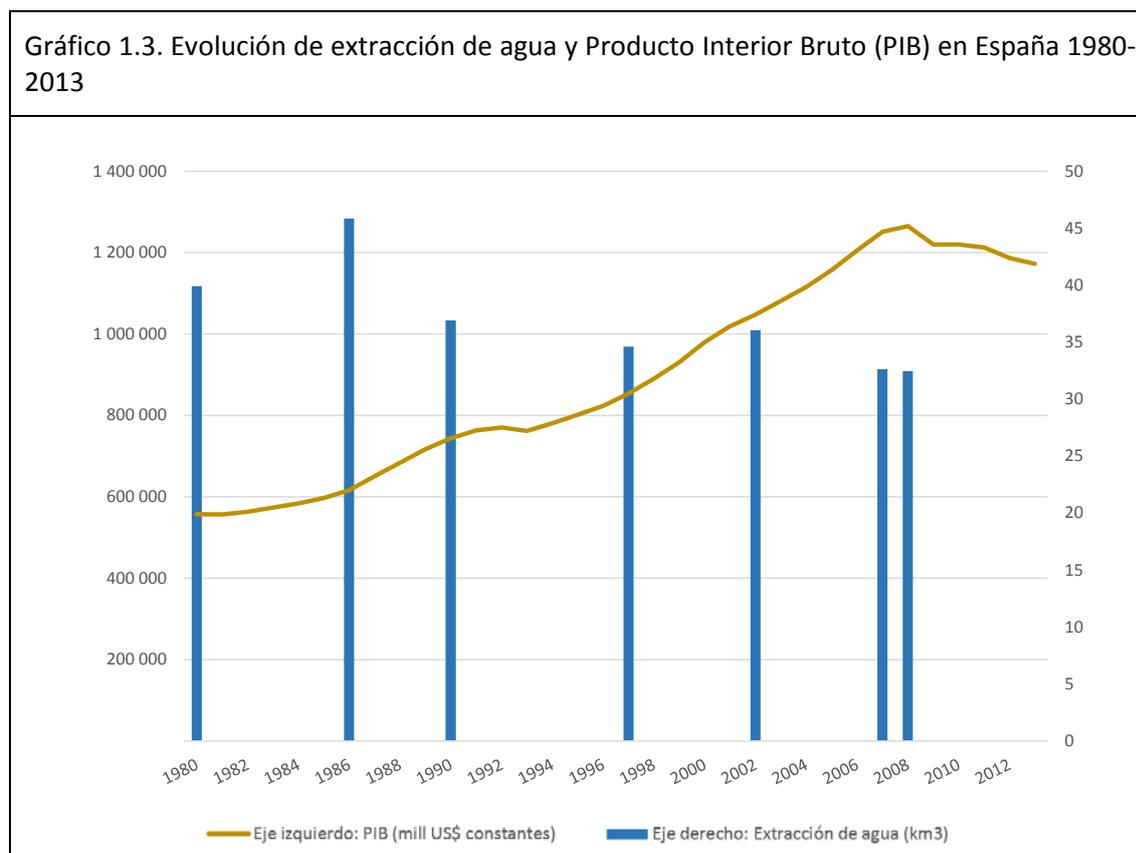
El coste total de los servicios de agua en España se estima en 6.330 millones de Euros al año (2002), lo que equivale a un 0,9% del PIB. De este importe, la mayor parte (66% del total) corresponde a los servicios de agua urbanos (distribución urbana y saneamiento), la distribución del agua para riego

supone un 20% del total y el suministro de agua “en alta” (extracción de aguas subterráneas, captación de superficiales y transporte) un 15% del total (MAGRAMA, 2015).

Uso del agua en España

Como se mencionó anteriormente, la extracción de agua en España en el 2008 se estimó en 32,46 km³ (FAO-Aquastat, 2015), lo que supone un descenso del 10 por ciento respecto del 2002, cuando la captación de agua se valoró en 36,04 km³.

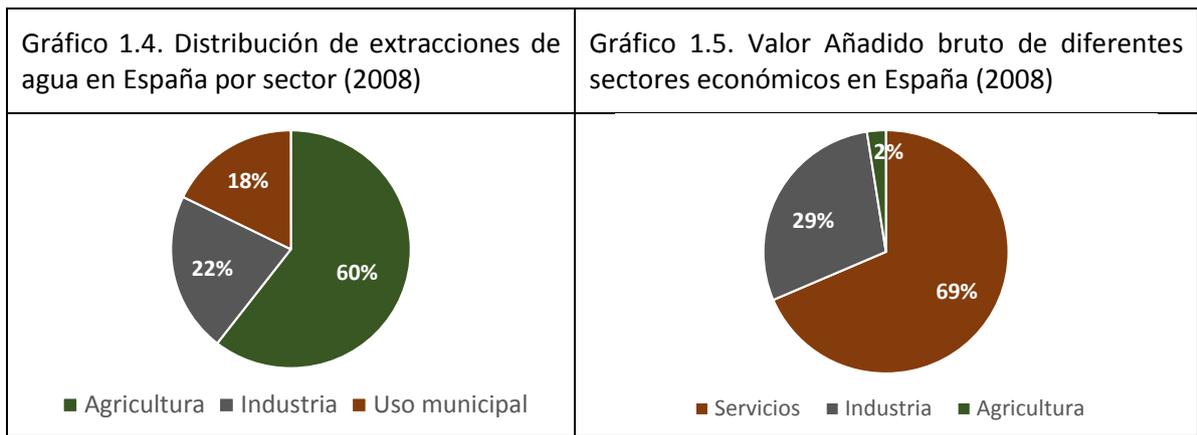
El Gráfico 1.3 muestra la tendencia histórica de uso del agua en España entre 1980 y 2013 junto con la evolución del Producto Interior Bruto (PIB) para el mismo periodo. Cabe destacar como para el periodo de análisis las extracciones tienden a decrecer mientras que al PIB le sucede lo contrario.



Fuente: Banco Mundial (2015) y FAO-Aquastat (2015)

El principal usuario de agua en el país es el sector agrícola que representa alrededor del 60 por ciento de las extracciones de agua (FAO-Aquastat, 2015). Le sigue la industria y los municipios con un 22 y 18 por ciento respectivamente (Gráfico 1.4).

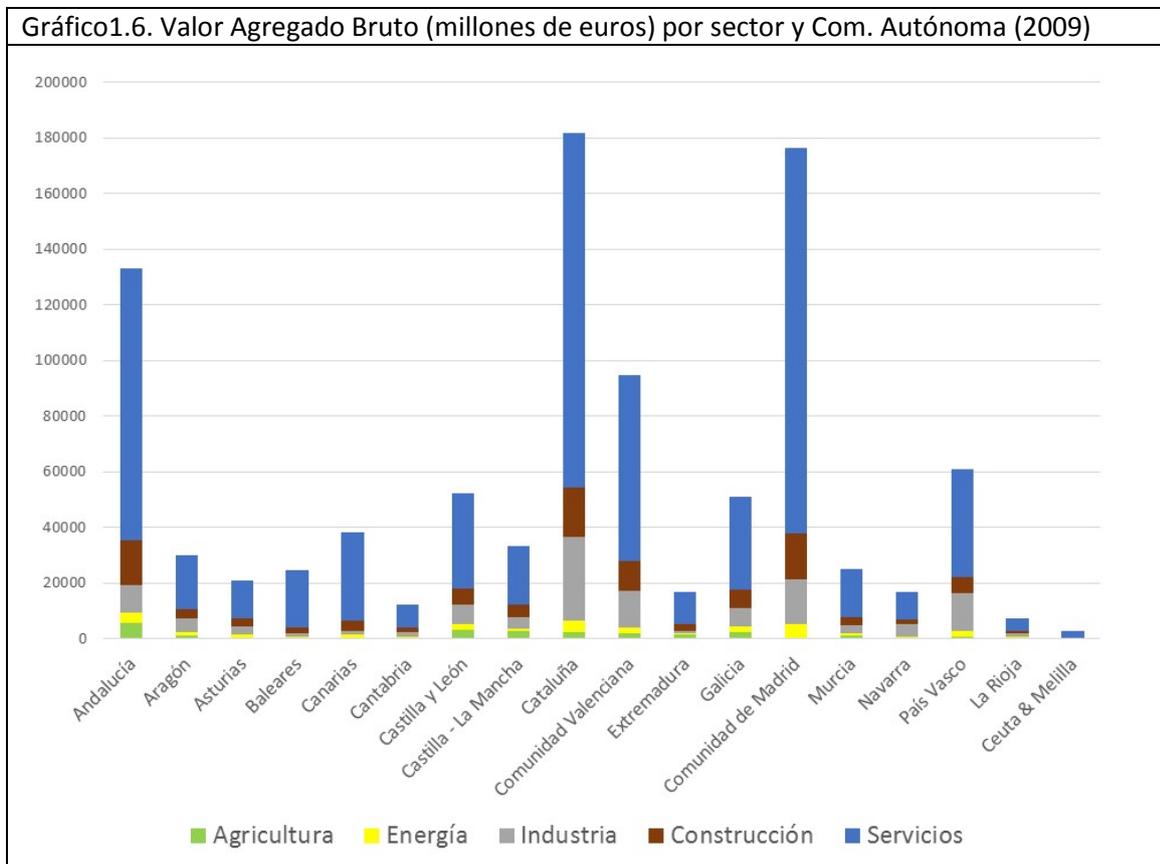
A pesar del gran uso de agua por parte del sector agrícola, éste sólo contribuye al PIB en un 2 por ciento (Banco Mundial, 2015). El sector servicios, cuyas extracciones se podrían incluir dentro de las asignadas al uso municipal en el Gráfico 1.5, suponen casi un 70 del valor añadido al PIB.



Fuente: FAO-Aquastat 2015 (Gráfico 4) y Banco Mundial 2015 (Gráfico 5)

Considerando las extracciones totales de agua en el 2008 (32,46 km³) y el Producto Interior Bruto generado en el mismo año (1 116 207 millones euros), se puede afirmar que a grandes rasgos se producen 34,4 euros de valor añadido bruto por m³ extraído. Esto supone una mejora del 25 por ciento con respecto al valor estimado en 2001 que fue de 27,5 euros/m³ (MMA 2007).

Las medias a nivel nacional enmascaran las diferencias a nivel regional. El Gráfico 1.6 representa el valor añadido bruto por sector económico y comunidad autónoma para el 2009, año más actualizado para el que se tiene este nivel de información. Cataluña, la Comunidad de Madrid y Andalucía son las regiones que más valor añadido producen, con las consecuentes repercusiones sobre los recursos hídricos que se verán más adelante. Este gráfico muestra la predominancia del sector servicios en todas las comunidades autónomas.



Fuente: INE (2015)

Por otra parte, existen en España 875 aprovechamientos hidroeléctricos con una potencia máxima instalada de 6 404 346 kW (MAGRAMA, 2015), lo cual supuso en el 2013 el 2,6 por ciento de la energía primaria consumida en España pero un 13 por ciento de la energía eléctrica generada en el país (MINETUR, 2015). Cabe notar que el 2013 fue un buen año hidráulico. En épocas de escasez la producción hidroeléctrica puede reducirse considerablemente. Por ejemplo, mientras que en 2013 la producción hidroeléctrica fue de 41 071 GWh, en 2005 (uno de los más secos en los últimos 30 años) fue de 23 025 GWh, casi la mitad (IDAE, 2015).

Asimismo son necesarios unos 6,8 km³ de agua al año para refrigerar las 70 centrales térmicas y 7 centrales nucleares que existen en España (MMA, 2007).

Escenarios de cambio climático utilizados

Para realizar la valoración correspondiente, se parte de los mismos escenarios considerados previamente en los dos estudios que sirven de referencia al presente trabajo en el ámbito español: AEMET y CEDEX. El primero de estos estudios selecciona, de entre las cuatro familias de escenarios consideradas en el Informe sobre escenarios del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático² (Nakicenovic et al, 2000), los escenarios A2 y B2 por representar éstos un rango de variabilidad suficientemente amplio para cubrir el objetivo de ilustrar los efectos del cambio climático en España. Las características definitorias de cada uno de ambos escenarios se citan a continuación:

- A2. La línea evolutiva y familia de escenarios A2 describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. El índice de natalidad en el conjunto de las regiones converge muy lentamente, con lo que se obtiene una población en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.
- B2. La línea evolutiva y familia de escenarios B2 describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios, y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en otras líneas evolutivas. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional.

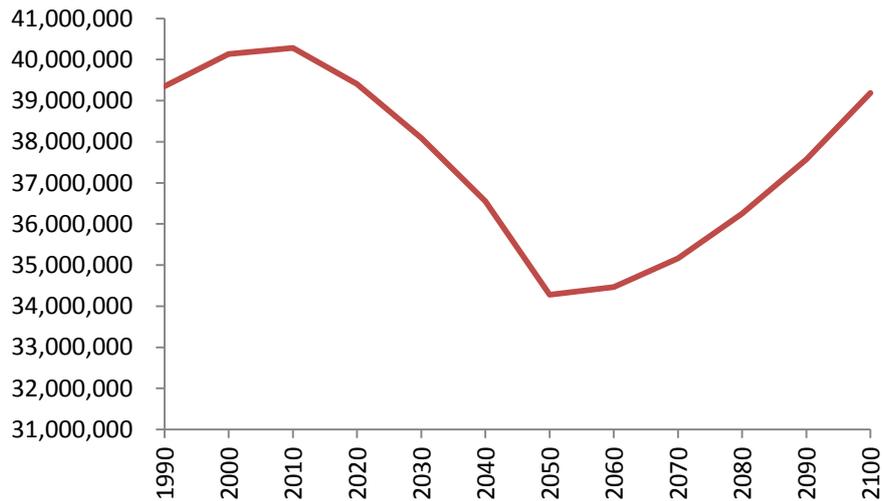
Los datos disponibles en el citado informe sobre escenarios del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático no muestran una desagregación geográfica apropiada para los objetivos del presente estudio. Los datos se proporcionan agregados por grandes áreas geográficas, en las que España es integrada en el grupo de países de la OCDE. Esta agregación por grandes zonas geográficas diluye los efectos de cada una de las variables clave en los distintos escenarios de emisión. De esta manera, si se toman como referencia los valores del conjunto de la unidad geográfica a la que pertenece España, las magnitudes de estas variables están siendo infra/super valoradas y, lo estarán, por tanto sus efectos.

² IPCC, por sus siglas en inglés

Para dar respuesta a esta necesidad de desagregación geográfica de datos, los valores utilizados en este informe son los proporcionados a nivel de país por el *Center for International Earth Science Information Network* de la Universidad de Columbia (US). Esta base de datos proporciona a nivel de país los datos de población y producto interior bruto entre los años 1990 y 2100 cada cinco años.

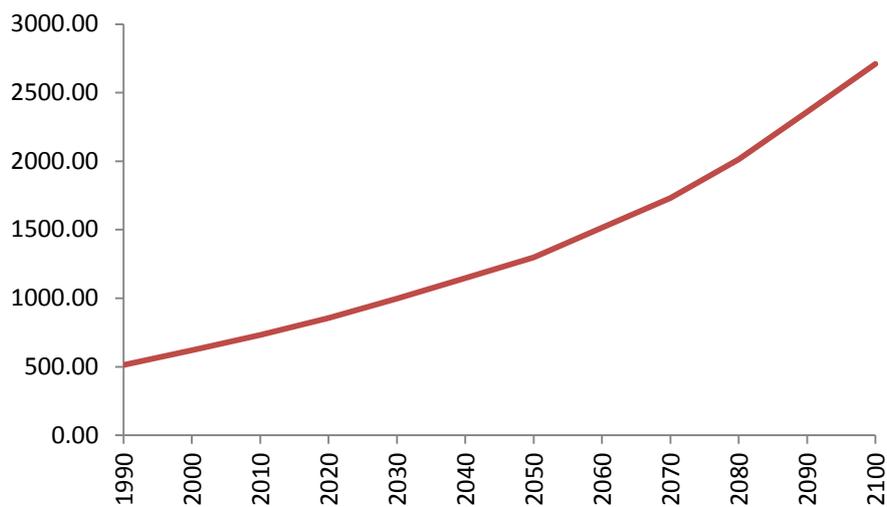
El Gráfico 1.7 y Gráfico 1.8 muestran la evolución de ambas variables para España –población y producto interior bruto– en el escenario A2:

Gráfico 1.7. Evolución de la dinámica poblacional para España en el escenario A2



Fuente: *Center for International Earth Science Information Network (Universidad de Columbia)*

Gráfico 1.8. Evolución del producto interior bruto para España en el escenario A2 (medido en miles de millones de dólares constantes de 1990)



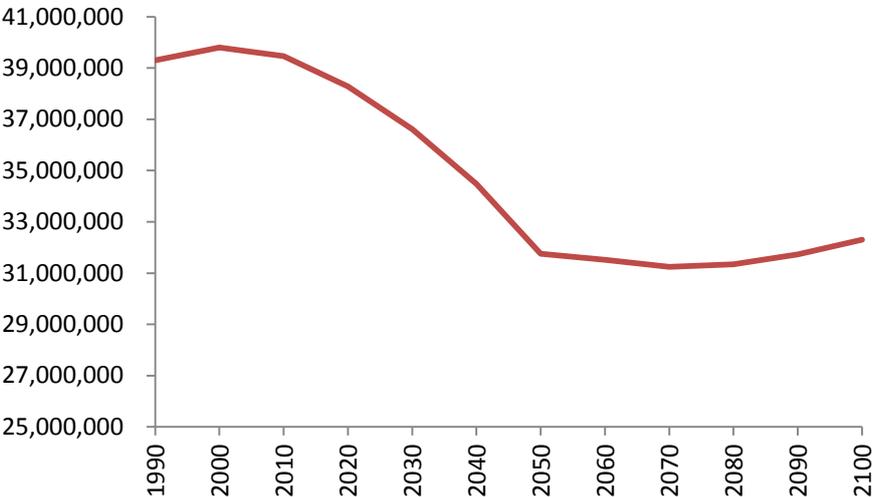
Fuente: *Center for International Earth Science Information Network (Universidad de Columbia)*

Como puede apreciarse, las dinámicas poblacionales marcan un máximo de población en el año 2010 a partir del cual, la tendencia se invierte iniciándose un descenso del número de individuos ininterrumpido hasta el año 2050, donde encontramos otro punto de inflexión que marca el inicio de un nuevo crecimiento, también ininterrumpido, durante la segunda mitad del siglo XXI. Este segundo periodo de crecimiento prácticamente acerca el número de individuos a los mismos niveles que abandonase en 2010, aunque sigue siendo menor.

El PIB en el escenario A2 muestra una tendencia siempre positiva en su evolución a lo largo del periodo considerado, si bien esta se acentúa en los años 2050 y 2080. Como resultado de este proceso el PIB español al final del periodo medido en dólares constantes de 1990 es algo más de cinco veces superior a su nivel de 1990.

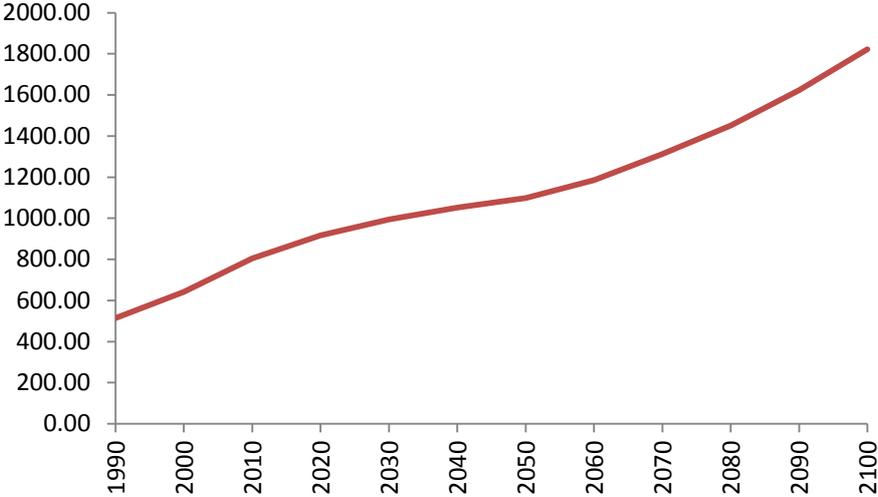
Por su parte, El Gráfico 1.9 y Gráfico 1.10 muestran la evolución de ambas variables –población y producto interior bruto– para el escenario B2:

Gráfico 1.9. Evolución de la dinámica poblacional para España en el escenario B2



Fuente: Center for International Earth Science Information Network (Universidad de Columbia)

Gráfico 1.10. Evolución del producto interior bruto para España en el escenario B2 (medido en miles de millones de dólares constantes de 1990)



Fuente: Center for International Earth Science Information Network (Universidad de Columbia)

En esta ocasión, la población marca su máximo en el año 2000 en un nivel más bajo que en el escenario A2. La tendencia decreciente de la población se suaviza de manera brusca en el año 2050 para marcar el mínimo del periodo en el año 2070. A partir de este punto de inflexión se inicia una tímida recuperación que devuelve la población a niveles algo superiores a los de 2050.

En lo que respecta al PIB, el escenario B2 presenta una evolución muy similar a la del A2, con una tendencia creciente a lo largo del periodo, aunque alcanzando un crecimiento sensiblemente menor, con una cifra sólo algo más de cuatro veces superior.

El Gráfico 1.11 y el Gráfico 1.12 muestran a evolución de las variables de referencia de manera conjunta. En ellos pueden apreciarse de manera palpable las diferencias entre ambos escenarios

Gráfico 1.11. Evolución de las dinámicas poblacionales para España de los escenarios A2 y B2

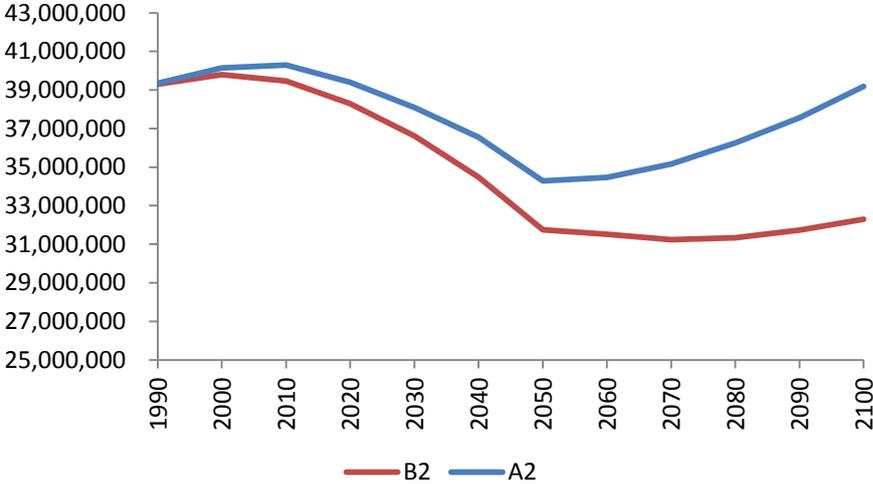
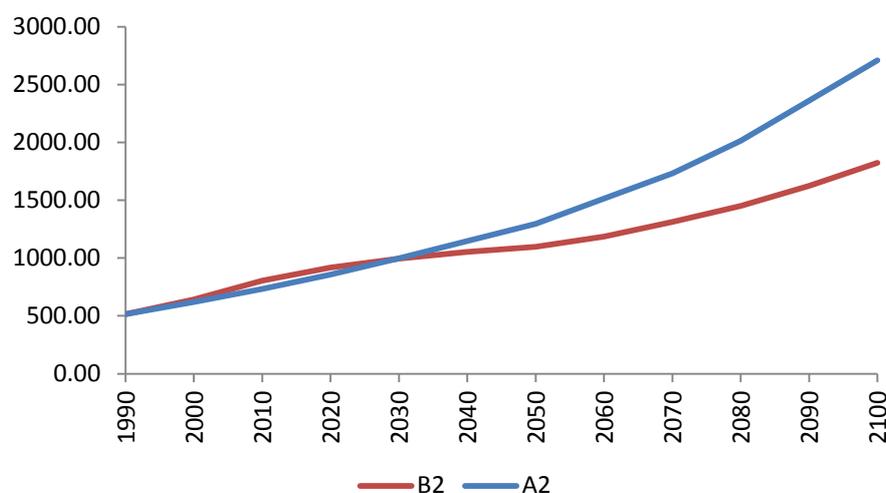


Gráfico 1.12. Evolución del producto interior bruto para España en los escenarios A2 y B2



Este tipo de estudios de regionalización se ha mostrado muy importante a lo largo de este trabajo al proporcionar la evolución de los escenarios de Cambio Climático para España. Salvando las diferencias de magnitud, las evoluciones de la población son muy diferentes en función de si se toma el valor agregado para la OCDE o si se toma el valor para España. En concreto, la evolución del A2 para la OCDE muestra una tendencia constante y creciente mientras que el mismo escenario en España posee un decrecimiento previo; de igual manera en el escenario B2 observamos que las evoluciones son contrapuestas. En lo que respecta a la evolución del PIB, las tendencias marcadas son prácticamente las mismas para la OCDE o España, si bien obvia decir que sus niveles no los son. Estos elementos serán cruciales a la hora de proyectar las demandas de agua en el periodo considerado en el análisis.

Referencias

AEMET (2009). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.

Banco Mundial (2015). *Datos de libre acceso del Banco Mundial*. Obtenido de <http://data.worldbank.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD/countries?display=default>

CEDEX (2010). *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Ministerio de Fomento. Madrid.

CEDEX (2012). *Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Efectos potenciales del cambio climático en las demandas de agua y estrategias de adaptación*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Ministerio de Fomento. Madrid.

European Commission (2013). *Europe 2020 Strategy. The European Semester. Linking water management to economic growth. Spain*.

European Environment Agency (2009). *Water Resources across Europe - Confronting Water Scarcity and Drought*. Copenhagen.

FAO-Aquasat (2015). *Sistema de información global sobre el agua*. Obtenido de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/dbase/indexesp.stm>

Hernández Sancho, F. & Sala Garrido, S. (2006). *Modelización de costes en los procesos de tratamiento de aguas residuales: un análisis empírico para la Comunidad Valenciana*. Obtenido de <http://www.uv.es/asepuma/XIV/comunica/56.pdf>

IDAE (2015). *Informe Estadístico de Energías Renovables 2013*. Obtenido de Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía: <http://informeestadistico.idae.es/t12.htm>

INE (2015). *INE, Instituto Nacional de Estadística*. Obtenido de <http://www.ine.es/>

MAGRAMA (2015). *Libro digital del agua*. Obtenido de <http://servicios2.marm.es/sia/visualizacion/lda/>

MINETUR (2015). *La energía en España, 2013*. Obtenido de Ministerio de Industria, Energía y Turismo: http://www.minetur.gob.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/Energia_en_espana_2013.pdf

MMA (2007). *El agua en la economía española: situación y perspectivas*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid

Nakicenovic, N.J. et al. (2000). *Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York.

WWF (2007). *Making water — Desalination: option or distraction for a thirsty world?* WWF International. Gland, Switzerland.

Capítulo 2

Cambio climático y recursos hídricos

Tal como se afirma en el último informe del IPCC, el agua es el agente que reparte muchos de los impactos del cambio climático a la sociedad, por ejemplo, a la energía, la agricultura o el transporte. El cambio climático antropogénico es uno de los muchos factores que afectan a los recursos hídricos. Factores no climáticos como el aumento de población, el desarrollo económico, la urbanización, el uso de la tierra o los cambios naturales geomórficos también suponen un reto a la sostenibilidad de los recursos, disminuyendo la oferta de agua o aumentando su demanda.

Este capítulo pretende poner las bases de la relación entre cambio climático y recursos hídricos. En primer lugar se repasarán todos los informes de valoración del IPCC, a nivel mundial. Posteriormente se pondrá el foco en la Unión Europea y se terminará el capítulo con unas consideraciones para España.

Entendemos que el estudio de los recursos hídricos que se hace en este trabajo debe insertarse en el marco de los impactos, adaptación y vulnerabilidad a causa del cambio climático. Este capítulo intenta dejar claro dicho marco.

El cambio climático y los recursos hídricos en los informes del IPCC

Todos los informes del IPCC reflejan la enorme importancia que tienen los recursos hídricos en relación al cambio climático. En los cinco informes de evaluación del IPCC, publicados en 1990, 1995, 2001, 2007 y 2014, el grupo de trabajo II dedica un capítulo completo a hidrología y recursos hídricos. Además, en el año 2008, el IPCC publicó un documento técnico monográfico sobre el cambio climático y el agua. En este apartado se repasan estos seis documentos, señalando en cada caso las principales conclusiones que presentan.

El primer informe de evaluación (1990)

En el documento (Tegart et al, 1990) preparado por el Grupo de Trabajo II (Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad) correspondiente al primer informe de evaluación del IPCC, el capítulo 4 trata sobre hidrología y recursos hídricos.

En este primer informe se utiliza mucho un lenguaje que expresa lo que cabe esperar, lo que podría ocurrir o lo que probablemente ocurrirá en el futuro. En estos términos ya plantea algunos de los aspectos más importantes en cuanto a los impactos del cambio climático en la hidrología y los recursos hídricos.

Entre las conclusiones principales del capítulo destacamos las siguientes:

- Cambios relativamente pequeños en el clima pueden causar grandes problemas en cuanto a recursos hídricos en muchas zonas, especialmente en las regiones áridas y semiáridas.
- En muchos casos, cabe esperar que cambios en los extremos hidrológicos en respuesta al calentamiento global sean más significativos que cambios en las condiciones hidrológicas medias. Por tanto, hay que poner mucha atención a los cambios en la frecuencia y magnitud de sequías e inundaciones al evaluar las ramificaciones sociales provocadas por cambios en los recursos hídricos.

El segundo informe de evaluación (1995)

La contribución del Grupo de Trabajo II al segundo informe de evaluación del IPCC de 1995, se recoge en un documento de 891 páginas (Watson et al, 1996), que consta de cuatro partes: (I) Materiales introductorios, (II) Valoración de opciones de impactos y adaptación, (III) Valoración de opciones de mitigación, y (IV) Apéndices técnicos. La parte II consta de 18 capítulos, tratando el capítulo 14 de gestión de recursos hídricos.

El capítulo 14 trata, en la parte referente a impactos, del rango esperado de cambios en los recursos hídricos existentes, a consecuencia del cambio climático y de la sensibilidad al cambio climático de los componentes de la oferta y demanda de agua de los sistemas de gestión del agua. Además, hace una valoración de la viabilidad de medidas de adaptación en cuanto a gestión de recursos hídricos, en respuesta a los impactos.

En el informe se destaca el hecho de que, al menos en aquellos momentos, la predicción acerca de dónde se producirán los problemas de los recursos hídricos a causa del cambio climático sólo puede ser realizada a escala subcontinental, mientras que las decisiones sobre la gestión del agua tienen lugar a nivel de cuenca.

A continuación se presentan algunas conclusiones del informe que hemos seleccionado:

- Cambios en la cantidad total de precipitación y en su frecuencia e intensidad afectan directamente a la magnitud y al ritmo de la escorrentía, así como a la intensidad de sequías e inundaciones.
- Cambios relativamente pequeños en temperatura y precipitación, junto a efectos no lineales sobre la evapotranspiración y humedad del suelo pueden dar lugar a cambios relativamente grandes en la escorrentía, especialmente en regiones áridas y semiáridas.
- Los impactos del cambio climático dependerán de las condiciones de referencia del sistema de suministro de agua y también de la habilidad de los gestores de los recursos hídricos para responder no sólo al cambio climático sino también al crecimiento de la población y cambios en las demandas, tecnología y condiciones económicas, sociales y legislativas. En algunos casos, en particular en países ricos, con sistemas integrados de gestión de los recursos hídricos, la mejora en la gestión puede proteger del cambio climático a los usuarios de los recursos hídricos a un coste mínimo. En otros muchos casos podría haber costes económicos, sociales y ambientales sustanciales, en particular en regiones en las que ya tienen limitaciones en los recursos hídricos y donde ya hay competencia considerable entre usuarios.
- Entre las opciones para abordar posibles impactos de un clima cambiante y de mayor incertidumbre sobre oferta y demanda futuras de recursos hídricos, se pueden citar: (a) gestión más eficiente de ofertas existentes y de infraestructuras, (b) acuerdos institucionales para limitar demandas futuras y promover conservación, (c) mejora de sistemas de monitorización y pronóstico para sequías e inundaciones, (d) rehabilitación de líneas divisorias de aguas, especialmente en los trópicos, (e) construcción de nueva capacidad de embalses para capturar y almacenar excesos de flujo producidos por patrones alterados de tormentas y de fusión de nieve.

El tercer informe de evaluación (2001)

La aportación del Grupo de Trabajo II al tercer informe de evaluación del IPCC se materializa en un volumen de 19 capítulos (McCarthy et al, 2001), y se centra en las consecuencias ambientales,

sociales y económicas del cambio climático y las potenciales respuestas de adaptación. A lo largo de los capítulos se cubre la sensibilidad, capacidad adaptativa y vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos al cambio climático, así como los impactos potenciales y las opciones de adaptación a escalas regional y global. El capítulo 4 trata sobre hidrología y recursos hídricos. El capítulo 13 se refiere a Europa. A continuación se presentan algunas de las conclusiones más importantes de ambos capítulos, que se han seleccionado.

Algunas conclusiones importantes del capítulo 4:

- La calidad del agua es probable que, en general se deteriore, con mayores temperaturas del agua, aunque este efecto puede ser contrarrestado a nivel regional con mayores caudales. Caudales más bajos harán que aumente el deterioro de la calidad del agua.
- La magnitud y frecuencia de las inundaciones probablemente se incrementará en la mayor parte de las regiones. Caudales bajos probablemente disminuirán en muchas regiones.
- El impacto del cambio climático en los recursos hídricos no sólo depende de los cambios en el volumen, ritmo y calidad de los flujos de agua y de las recargas de acuíferos, sino que también depende de las características de cada sistema, de los cambios en las presiones sobre el sistema, de cómo evoluciona la gestión del sistema y de qué medidas de adaptación al cambio climático son implementadas. Los cambios que no tienen que ver con el clima pueden tener un impacto sobre los recursos hídricos mayor que los ocasionados por el cambio climático.
- Los sistemas no gestionados son probablemente más vulnerables al cambio climático.
- El cambio climático supone un reto para las prácticas existentes en la gestión de recursos hídricos, ya que añade más incertidumbre. La gestión integrada de recursos hídricos puede aumentar el potencial para adaptación al cambio.

Del capítulo 13, sobre Europa merece la pena destacarse lo siguiente, en relación a los recursos hídricos:

- Los recursos hídricos y su gestión están actualmente sometidos a presión. Estas presiones probablemente se agravarán por el cambio climático.
- El riesgo de inundaciones probablemente aumentará en la mayor parte de Europa, excepto en los lugares en los que el máximo de nieve fundida se ha reducido. Además, se prevé un aumento del riesgo de escasez de agua, sobre todo en el sur de Europa.
- En las regiones europeas del Mediterráneo, el cambio climático probablemente incrementará de manera considerable la diferencia en los caudales entre invierno y verano.

El cuarto informe de evaluación (2007)

La aportación del Grupo de Trabajo II al cuarto informe de evaluación del IPCC se materializa en un volumen de 20 capítulos (Parry et al, 2007), el tercero de los cuales trata sobre "Recursos de agua dulce y su gestión", mientras que el capítulo 12 se refiere a Europa.

A continuación se presentan, para cada uno de los dos capítulos a los que se hace referencia en el apartado anterior, algunas de las conclusiones con confianza muy alta.

Capítulo 3, sobre recursos hídricos y su gestión. Algunas de las conclusiones con confianza muy alta son las siguientes:

- Los impactos del cambio climático en los sistemas de agua y su gestión se deben principalmente a incrementos (observados y proyectados) de temperatura y nivel del mar, cambios locales de precipitación y cambios en la variabilidad de tales cantidades.
- El aumento del nivel del mar extenderá áreas de salinización de aguas subterráneas y estuarios, dando lugar a una disminución en la disponibilidad de agua dulce para las personas y los ecosistemas en zonas costeras.
- Muchas de las zonas áridas y semiáridas del mundo, como la cuenca del Mediterráneo, el oeste de Estados Unidos, el sur de África y el noreste de Brasil, sufrirán una disminución de recursos hídricos a causa del cambio climático.
- En algunas regiones que ya sufren estrés hídrico, la vulnerabilidad se agrava a menudo, debido al rápido aumento de población y demanda de agua.
- El cambio climático afecta al funcionamiento de las infraestructuras de agua existentes, así como a las prácticas en la gestión del agua.
- Las prácticas actuales de gestión del agua muy probablemente serán inadecuadas para reducir los impactos negativos del cambio climático sobre la fiabilidad en el suministro de agua, riesgo de inundación, salud, energía y ecosistemas acuáticos.
- La incorporación mejorada de la variabilidad actual del clima en la gestión de todo lo que tiene que ver con el agua, haría más fácil la adaptación al cambio climático.
- Las zonas en las que la escorrentía va a disminuir, de acuerdo con las proyecciones, probablemente se enfrentarán a una reducción del valor de los servicios proporcionados por los recursos hídricos.

Capítulo 12, sobre Europa. Las conclusiones con confianza muy alta son las siguientes:

- Condiciones climáticas más cálidas y más secas implicarán más frecuentes y prolongadas sequías, así como estaciones más largas con mayor riesgo de incendios, en particular en la región mediterránea europea.
- Se prevé que la precipitación media anual aumentará en el norte y disminuirá en el sur de Europa.

El cambio climático y el agua. Documento técnico del IPCC (2008)

Este documento de 224 páginas fue publicado en junio de 2008 (Bates et al, 2008) y realizado por un equipo interdisciplinar seleccionado por las tres oficinas de los grupos de trabajo del IPCC. Se elaboró en respuesta a una propuesta de la Secretaría del Programa Mundial sobre el Clima-Agua y del comité directivo internacional para el diálogo sobre el agua y el clima, durante la decimonovena reunión plenaria del IPCC que tuvo lugar en Ginebra, en abril de 2002.

La conclusión fundamental que se obtiene en el trabajo es la siguiente: **Los registros de observaciones y las proyecciones climáticas aportan abundante evidencia de que los recursos de agua dulce son vulnerables y pueden resultar gravemente afectados por el cambio climático, con muy diversas consecuencias para las sociedades humanas y los ecosistemas.**

A continuación se presentan otras conclusiones importantes que aparecen en el documento.

- Para mediados del siglo XXI, las proyecciones indican que, como consecuencia del cambio climático, la escorrentía fluvial media anual y la disponibilidad de agua aumentarían en latitudes

altas y en algunas áreas tropicales húmedas, y disminuirían en algunas regiones secas de latitudes medias y en regiones tropicales secas. Muchas áreas semiáridas y áridas, por ejemplo, la cuenca mediterránea, el oeste de Estados Unidos, el sur de África o el nordeste de Brasil, están particularmente expuestas a los efectos del cambio climático, y experimentarían una disminución de sus recursos hídricos como consecuencia del cambio climático.

- El cambio climático desafía la hipótesis tradicional de que la experiencia hidrológica del pasado es un antecedente adecuado para las condiciones futuras. Las consecuencias del cambio climático pueden alterar la fiabilidad de los actuales sistemas de gestión hídrica y de las infraestructuras relacionadas con el agua. Aunque las proyecciones cuantitativas de los cambios en precipitación, del caudal de los ríos y de los niveles hídricos en las cuencas fluviales son inciertas, es muy probable que las características hidrológicas varíen en el futuro.
- 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. Estas últimas mejoran la eficacia del uso del agua, por ejemplo mediante el reciclado. Para ahorrar agua y dedicarla a usos más apreciados, una idea prometedora consistiría en hacer un mayor uso de incentivos económicos, en particular mediante la medición del suministro y la fijación de precios, a fin de promover la conservación y comercialización del agua y la implantación de un comercio virtual de agua. Las estrategias orientadas a la oferta implican, por lo general, aumentos de la capacidad de almacenamiento, extracciones de los cursos de agua y transvases. La gestión integrada de los recursos hídricos proporciona un marco de referencia importante para lograr medidas de adaptación en los sistemas socioeconómicos, medioambientales y administrativos. Para ser eficaces, las metodologías integradas deben plantearse a una escala adecuada.
- La gestión de los recursos hídricos afecta claramente a muchos otros ámbitos de políticas. Por ejemplo, energía, salud, seguridad alimentaria o conservación de la naturaleza. Por consiguiente, en la adopción de medidas de adaptación y mitigación deben participar múltiples sectores que dependen del agua.

El quinto informe de evaluación (2014)

En el bloque sobre Bases Físicas, que aporta el Grupo de Trabajo I al quinto informe de evaluación, en su volumen de 2013 (Stocker et al, 2013), la conclusión fundamental que se obtiene con respecto a los cambios en el ciclo del agua es la siguiente: ***Los cambios que se producirán en el ciclo global del agua, en respuesta al calentamiento durante el siglo XXI, no serán uniformes. Se acentuará el contraste en las precipitaciones entre las regiones húmedas y secas y entre las estaciones húmedas y secas, si bien podrá haber excepciones regionales.***

El informe sobre Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad del Grupo de Trabajo II, que consta de 30 capítulos más 4 anexos, está dividido en dos partes: la parte A (con 20 capítulos) trata sobre aspectos globales y sectoriales (Field et al, 2014), mientras que la parte B (con 10 capítulos) cubre los aspectos regionales (Barros et al, 2014). El capítulo 3 está dedicado a los recursos hídricos. El capítulo 23 (tercero de la parte B) se refiere a Europa.

Entre las principales conclusiones con respecto a los recursos hídricos de este quinto informe de evaluación se pueden destacar las siguientes:

A.- Los riesgos relacionados con los recursos hídricos a causa del cambio climático aumentan de manera significativa con el incremento de concentraciones de gases de efecto invernadero. Cada grado de aumento de calentamiento global (hasta 2,7° C por encima de niveles preindustriales), según las proyecciones, hace que decrezcan los recursos de agua renovable al menos un 20% para un 7% de población mundial adicional.

B.- Problemas de sequía en el Mediterráneo, suroeste de Estados Unidos y sur de África son consistentes con cambios que aparecen en las proyecciones de la circulación de Hadley. Disminuciones en la escorrentía son *probables* en el sur de Europa y Oriente Medio.

C.- Un enfoque adaptativo a la gestión de los recursos hídricos puede abordar la incertidumbre debida al cambio climático. Entre las opciones de adaptación cabe citar la planificación de escenarios, enfoques experimentales que implican el aprendizaje desde la experiencia, y el desarrollo de soluciones flexibles y *low-regret*, que son resistentes a la incertidumbre. Barreras a la adaptación en el sector de recursos hídricos incluyen: falta de capacidad humana e institucional, falta de recursos financieros, falta de conocimiento y falta de comunicación.

D.- Tendencias observadas y proyecciones futuras en cuanto al clima muestran cambios regionales en temperatura y precipitación en Europa, con incrementos de temperatura a lo largo de Europa, aumento de precipitación en el norte de Europa y disminución de precipitación en el sur de Europa. Proyecciones climáticas muestran un incremento acusado de eventos extremos de temperatura alta, sequías meteorológicas y eventos de precipitación intensa, con variaciones a través de Europa.

E.- Se espera que el cambio climático impida actividad económica en el sur de Europa más que en otras regiones europeas, y en el futuro pueden incrementarse las disparidades entre regiones. El sur de Europa es particularmente vulnerable al cambio climático, y muchos sectores se verán afectados de manera adversa (turismo, agricultura, recursos forestales, infraestructuras, energía, salud de la población).

F.- A consecuencia del aumento de demandas debidas a la evaporación, el cambio climático probablemente reducirá de manera significativa la cantidad de agua disponible procedente de ríos y aguas subterráneas, en el contexto de mayores demandas para agricultura, energía, industria y uso doméstico y de implicaciones entre los distintos sectores que no están totalmente comprendidas. Las medidas de adaptación apropiadas al respecto consisten en tecnologías más eficientes en cuanto a recursos hídricos y estrategias de ahorro de agua.

El cambio climático y los recursos hídricos en la Unión Europea

A nivel de Unión Europea y en materia de recursos hídricos, la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE) establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Su objeto consiste en establecer un marco para la protección de las aguas continentales, las aguas de transición y las aguas subterráneas.

A nivel de Unión Europea también existe una Directiva sobre inundaciones: la Directiva 2007/60/CE relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. Su objeto es establecer un marco para la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, destinado a reducir las consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociadas a las inundaciones en la Comunidad Europea. El cambio climático se menciona explícitamente en la

Directiva, tanto en el apartado de consideraciones como en el capítulo de evaluación preliminar del riesgo de inundación, con el objetivo de integrar las previsiones en las evaluaciones como riesgo y en los procedimientos de revisión. La transposición de la Directiva 2007/60/CE a la legislación española se encuentra en el Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de riesgo de inundación.

El problema de la sequía no cuenta con una Directiva Marco específica como ocurre con las inundaciones. A destacar el documento del año 2007 de la Comisión de las Comunidades Europeas (Comisión Europea, 2007), sobre cómo afrontar el desafío de la escasez de agua y la sequía en la Unión Europea, donde se presenta una primera serie de opciones políticas a nivel regional, nacional y europeo para afrontar el desafío que plantean la escasez de agua y la sequía en la Unión Europea.

Los recursos hídricos están presentes de manera específica en la Estrategia de adaptación al cambio climático de la UE (Comisión Europea, 2013). La finalidad general de la Estrategia es contribuir a una Europa más resistente al clima, lo cual supone mejorar la preparación y la capacidad de respuesta a los efectos del cambio climático a nivel local, regional, nacional y de la UE, creando un planteamiento coherente y mejorando la coordinación

La Actuación 2 de la Estrategia consiste en facilitar financiación de LIFE (el instrumento que la UE ha propuesto para ello) para respaldar la creación de capacidades y acelerar las medidas de adaptación en Europa (2013-2020). Entre los ámbitos vulnerables para los que la Comisión promoverá la adaptación de manera especial, destacan la gestión sostenible del agua, combatir la desertización y los incendios forestales en las zonas proclives a la sequía, la gestión transfronteriza de las inundaciones (fomentando los convenios de colaboración basados en la Directiva de la UE sobre inundaciones) o la gestión costera transfronteriza (haciendo hincapié en los deltas y las ciudades costeras densamente pobladas).

A continuación se analizan dos importantes informes sobre cambio climático y recursos hídricos, a nivel de Unión Europea.

El informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente sobre “Cambio climático y adaptación de los recursos hídricos”

El informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente titulado *Cambio climático y adaptación de los recursos hídricos*, editado en España por el Ministerio de Medio Ambiente MMA (2009), se centra en dos asuntos: la identificación de los aspectos críticos del cambio climático en relación con la Directiva Marco del Agua, y la revisión de la política del agua en los Estados miembros de la Unión Europea en relación con su adaptación.

Algunos de los principales impactos socioeconómicos, a nivel de países de la Unión Europea, que se destacan en el informe se resumen a continuación:

- El cambio climático afectará a la agricultura y en muchas regiones habrá un aumento de la superficie de regadío y de la extracción de agua para tal fin. Las zonas agroclimáticas se desplazarán probablemente hacia el norte a causa del cambio climático.
- Sin una campaña de fomento del ahorro de agua, la demanda doméstica es probable que aumente, resultando mayor el consumo en la jardinería y la higiene personal. Los veranos calurosos, como el de 2003, pueden dar una idea del impacto climático sobre los futuros picos de la demanda.
- El aumento general de la riqueza y los veranos más largos y calurosos pueden aumentar el número de campos de golf, piscinas y parques acuáticos, aumentando todavía más la demanda de agua. Los problemas de abastecimiento en los centros turísticos son cada vez más comunes y

pueden agravarse por el cambio climático y el aumento de la demanda de agua en otros sectores.

- El aumento de la temperatura del agua, la disminución del caudal de los ríos y, por tanto, la menor dilución de los contaminantes, pueden afectar gravemente a la calidad del agua potable y a las actividades recreativas acuáticas. El problema de la intrusión salina en los acuíferos costeros, que genera un agua inadecuada para el consumo humano, puede agravarse en el futuro con el ascenso del nivel del mar.
- Los sistemas hidroeléctricos se ven afectados por el volumen y la duración de los caudales fluviales. La pérdida de agua almacenada en forma de nieve durante el invierno puede afectar al potencial hidroeléctrico. El cambio puede afectar a la seguridad de los embalses al aumentar la frecuencia de los caudales extremos. Algunos estudios indican que en un escenario de cambio climático global moderado se puede esperar una grave alteración de los futuros regímenes de descarga, afectando al potencial hidroeléctrico con disminuciones del 25% o más en los países del sur y sureste de Europa. Los países nórdicos estiman que, por lo general, tendrán un aumento del potencial hidroeléctrico.
- Se cree que la disminución de precipitación tendrá un impacto negativo en el sector de generación eléctrica que utiliza el agua de los ríos para su refrigeración. Las centrales eléctricas tienen que cerrar cuando la temperatura del agua supera un umbral determinado. La producción eléctrica ya ha tenido que reducirse en varios lugares de Europa durante los veranos muy calurosos, por ejemplo en 2003, 2005 y 2006.
- El cambio climático puede afectar a la navegación, al cambiar el nivel del agua en los ríos, embalses y lagos, y al aumentar la frecuencia de las inundaciones y las sequías. En particular, se espera que aumente en verano la probabilidad de un descenso del nivel del agua, forzando a que los barcos de aguas continentales sólo utilicen una fracción de su capacidad de carga normal.

El proyecto PESETA II del JRC (2014) sobre impactos climáticos en Europa

En el proyecto PESETA II (*Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis*) han participado doce equipos de investigación diferentes, coordinados por el *Joint Research Centre (JRC)* de la Comisión Europea, con la contribución de más de 40 investigadores especializados en un amplio rango de disciplinas que van de la modelización de las inundaciones causadas por los ríos a la economía (European Commission, 2014). El principal objetivo consiste en el análisis integrado de los posibles impactos del cambio climático en Europa.

El proyecto cubre los impactos climáticos en el periodo 2071-2100, en comparación con el periodo 1961-1990. Se analizan diez categorías de impactos biofísicos: agricultura, energía, inundaciones causadas por ríos, sequías, incendios forestales, infraestructuras para el transporte, costas, turismo, idoneidad del hábitat de especies de árboles forestales y salud humana. Ocho de dichos impactos (todos, excepto sequías e idoneidad del hábitat de especies de árboles forestales) son además integrados en un modelo económico para valorar el impacto sobre la economía en su conjunto y sobre el bienestar, tanto a nivel regional como a nivel conjunto de Unión Europea.

Los impactos climáticos se analizan para las siguientes cinco grandes regiones de la Unión Europea³:

- Norte de Europa (Suecia, Finlandia, Estonia, Letonia, Lituania y Dinamarca).
- Reino Unido e Irlanda.
- Norte de Europa Central (Bélgica, Holanda, Alemania y Polonia).
- Sur de Europa Central (Francia, Austria, República Checa, Eslovaquia, Hungría, Eslovenia y Rumanía).
- Sur de Europa (Portugal, España, Italia, Grecia y Bulgaria).

Todos los modelos sectoriales han considerado las siguientes cuatro simulaciones esenciales:

- Simulación de Referencia, que representa las principales características del escenario de emisiones medio-alto sin mitigación, correspondiente al escenario A1B del *SRES* del IPCC, que lleva a un aumento global de la temperatura de 3,5° C en comparación con el nivel preindustrial. En el proyecto, se le considera el escenario *business-as-usual*.
- Referencia Variante 1, cuya base es el mismo escenario A1B del *SRES*, pero con un clima más cálido y seco que la media.
- Referencia Variante 2, cuya base es el mismo escenario A1B del *SRES*, pero con un clima más frío y húmedo que la media.
- Simulación 2° C, consistente con la meta climática fijada de un aumento global de temperatura de 2° C en comparación con el nivel preindustrial y, por tanto, con emisiones más bajas que para el escenario A1B del *SRES*.

Las simulaciones seleccionadas muestran una variabilidad significativa en la evolución del clima medio, tanto para la temperatura como para la precipitación.

Tabla 2.1. Variación de la temperatura, en grados centígrados, en las simulaciones climáticas para 2071-2100, en comparación con 1961-1990

	Referencia	Referencia Variante 1	Referencia Variante 2	2° C
Norte de Europa	3,8	4,8	3,4	3,2
Reino Unido e Irlanda	2,1	2,9	1,7	1,4
Norte de Europa Central	2,8	3,7	2,0	2,1
Sur de Europa Central	3,0	3,8	2,0	2,1
Sur de Europa	3,2	3,7	2,4	2,3
Unión Europea	3,1	3,9	2,4	2,4

Fuente: *European Commission, 2014*

El cambio de temperatura es también heterogéneo desde el punto de vista estacional. En general, de las cinco regiones consideradas, el aumento de temperatura es más alto en el Norte de Europa en invierno, siendo en el Sur de Europa donde se producen las mayores subidas de temperatura en verano.

³ En el análisis están incluidos los 28 países de la Unión Europea, excepto Luxemburgo, Malta, Chipre y Croacia. Se dice que la razón principal de la no inclusión de estos cuatro países es que no son regiones simples en el modelo económico GEM-E3.

Tabla 2.2. Variación de la precipitación, en tanto por ciento, en las simulaciones climáticas para 2071-2100, en comparación con 1961-1990

	Referencia	Referencia Variante 1	Referencia Variante 2	2° C
Norte de Europa	18	16	21	11
Reino Unido e Irlanda	8	2	12	7
Norte de Europa Central	8	1	15	3
Sur de Europa Central	0	-7	5	-3
Sur de Europa	-19	-14	-14	-14
Unión Europea	1	-2	6	-1

Fuente: European Commission, 2014

En invierno, todas las simulaciones muestran un aumento en la precipitación, con la única excepción del escenario de 2° C para el Sur de Europa (con una disminución del 6,5%). Las proyecciones sobre precipitación en verano muestran para el Sur de Europa disminuciones importantes para todos los escenarios (del 34,9% en el de Referencia, del 30,2% en el de Referencia Variante 1, del 18,7% en el de Referencia Variante 2 y del 20,9% en el de 2° C).

Tabla 2.3. Impacto en la productividad de las cosechas. Se toma el índice de 100 para el período de control (1961-1990)

	Unión Europea	Norte de Europa	R. Unido e Irlanda	Norte de Europa Central	Sur de Europa Central	Sur de Europa
Control	100	100	100	100	100	100
Referencia	89	121	98	91	102	80
Cambio %	-11	21	-2	-9	2	-20
2° C	98	132	201	97	102	82
Cambio %	-2	32	101	-3	2	-18

Fuente: European Commission, 2014

Tabla 2.4. Impacto de las inundaciones causadas por ríos. Daños anuales esperados, en millones de euros/año.

	Unión Europea	Norte de Europa	R. Unido e Irlanda	Norte de Europa Central	Sur de Europa Central	Sur de Europa
Control	4.924	370	872	1.007	2.003	673
Referencia	11.338	222	3.317	1.248	5.203	1.347
Cambio %	130	-40	281	24	160	100
2° C	9.537	292	3.715	1.269	3.073	1.187
Cambio %	94	-21	326	26	53	76

Fuente: European Commission, 2014

En cuanto al número de personas afectadas por inundación, tomando una base anual, se pasa de las 160.000 personas/año afectadas actualmente a 290.000 personas/año en el escenario de 2° C, a finales del siglo XXI. En los dos escenarios, el mayor incremento en el nº de personas afectadas se da en el Reino Unido.

Tabla 2.5. Superficie de tierra agrícola afectada por sequía. En miles de Km² por año.

	Unión Europea	Norte de Europa	R. Unido e Irlanda	Norte de Europa Central	Sur de Europa Central	Sur de Europa
Control	96	8	8	22	31	27
Referencia	710	2	61	25	217	405
Cambio %	640	-77	627	16	601	1.407

Fuente: *European Commission, 2014*

En cuanto al número de personas afectadas por sequías, de nuevo, los peores resultados se dan en la región del Sur de Europa, con un aumento del 1.378% en el número de personas afectadas al año. En el Norte de Europa se produce una mejoría (reducción del 66% en el nº de personas afectadas al año).

El cambio climático y los recursos hídricos en España

En este apartado se analizan brevemente un importante informe sobre evaluación de impactos, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, algunos aspectos de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia (horizonte 2007-2012-2020) y el informe del CEDEX sobre evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural. Todos ellos referidos a España.

Informe del Ministerio de Medio Ambiente de 2005 sobre "Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático"

Se trata de un extenso informe de 822 páginas (MMA, 2005), en cuya elaboración participaron 49 especialistas (autores principales) y en el que además colaboraron muchos más autores contribuyentes y revisores. El informe consta de 16 capítulos y 3 anexos. El capítulo 7 se titula "Impactos sobre los recursos hídricos".

Entre las conclusiones principales en cuanto a impactos sobre los recursos hídricos en España, destacamos las siguientes:

- El cambio climático con aumento de la temperatura, y en España, disminución de la precipitación, causará una disminución de aportaciones hídricas y un aumento de la demanda de los sistemas de regadío.
- Los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, no sólo dependen de las aportaciones que ceda el ciclo hidrológico, condicionadas por el uso y cubierta del suelo, la temperatura y la estructura temporal de la precipitación, sino que es el sistema de recursos hidráulicos disponible y la forma de gestionarlo, un factor determinante de la suficiencia o escasez de agua frente a las necesidades humanas globales.
- Los tres principales impactos del cambio climático sobre los sistemas hidrológicos son los siguientes: 1) el calentamiento global producirá un aumento de la demanda de agua por parte de los ecosistemas terrestres y de los sistemas agrícolas, 2) el cambio climático representará muy probablemente una reducción de los recursos hídricos disponibles en la mayor parte de las cuencas, 3) es muy presumible que se acentúen las situaciones extremas: sequías e inundaciones.
- La sensibilidad de los recursos hídricos al aumento de la temperatura y disminución de precipitación es muy alta, precisamente en las zonas con temperaturas medias altas y

precipitaciones bajas. Las zonas más críticas son las semiáridas, donde las aportaciones pueden reducirse hasta un 50% sobre el potencial actual.

- Frecuentemente, la temporalidad en la distribución de precipitaciones y temperaturas incide en la generación de recursos hídricos con mayor entidad que los mismos valores medios de estos parámetros.
- Para 2030, simulaciones con aumentos de temperatura de 1° C y disminuciones medias de precipitación de un 5% ocasionarían disminuciones medias de aportaciones hídricas en régimen natural de entre un 5 y un 14%.
- Para 2060, simulaciones con aumentos de temperatura de 2,5° C y disminuciones de precipitación de un 8 % producirían una reducción global media de los recursos hídricos de un 17%. Estas cifras pueden superar el 20 a 22% para los escenarios previstos para final de siglo.
- Junto a la disminución de los recursos se prevé un aumento de la variabilidad interanual de los mismos. El impacto se manifestará más severamente en las cuencas del Guadiana, Canarias, Segura, Júcar, Guadalquivir, Sur y Baleares.
- Las principales opciones adaptativas van encaminadas a la optimización del uso del agua (gestión de la demanda), la mejora del sistema de recursos hidráulicos y su gestión, en particular del agua subterránea, y al aumento de los recursos no convencionales, cosecha de agua de lluvia o rocío, trasvases entre cuencas, desalación y reutilización.

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (Oficina Española de Cambio Climático, 2006)

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) es el actual marco de referencia para el desarrollo de acciones de evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en España. El objetivo del Plan es integrar la adaptación al cambio climático en la planificación de todos los sectores o sistemas.

En el PNACC se definen los siguientes 15 sectores y sistemas para iniciar la evaluación de su vulnerabilidad y sus posibilidades de adaptación: Biodiversidad, Recursos Hídricos, Bosques, Sector agrícola, Zonas costeras, Caza y pesca continental, Zonas de montaña, Suelo, Pesca y ecosistemas marinos, Transporte, Salud humana, Industria y energía, Turismo, Finanzas-seguros, Urbanismo-construcción.

En lo que respecta a los recursos hídricos, entre las primeras medidas, actividades y líneas de trabajo para las evaluaciones de impactos, vulnerabilidad y adaptación relativas a los recursos hídricos que se llevarán a cabo en el desarrollo del PNACC se señalan las 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.

Se dice que los trabajos y actividades a desarrollar incorporarán, para cada uno de los sectores, algunos aspectos, entre los que destacamos los dos siguientes:

- Estudios detallados de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, en cada sector a nivel nacional, que aportarán resultados científicos técnicos sobre la materia.
- Desarrollo y aplicación de metodologías de análisis de costes y beneficios de los impactos y las medidas de adaptación al cambio climático. Dada la importancia de la cuantificación económica a nivel sectorial se iniciará la puesta a punto y la aplicación, mediante acciones piloto, de métodos o sistemas de evaluación de costes de los impactos adversos del cambio climático, las medidas de adaptación y, alternativamente, de la inacción.

Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Horizonte 2007-2012-2020 (MMA, 2007)

La Estrategia fue aprobada por el Consejo Nacional del Clima, de 25 de octubre de 2007 y por el Consejo de Ministros, el 2 de noviembre de 2007. En la Introducción se dice que, en España, los graves problemas ambientales que se ven reforzados por el efecto del cambio climático son: la disminución de los recursos hídricos y la regresión de la costa, las pérdidas de la biodiversidad biológica y ecosistemas naturales y los aumentos en los procesos de erosión del suelo.

Dentro del apartado de medidas en el marco de la adaptación destacan las siguientes, en relación a los recursos hídricos:

- Realizar una evaluación de los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos en España en el siglo XXI, mediante una modelización cuantitativa y cualitativa de los escenarios hidrológicos, identificando las áreas más críticas a los efectos del cambio climático.
- Realizar una evaluación de la capacidad del actual sistema de gestión de recursos hídricos para gestionar los nuevos escenarios hidrológicos.
- Realizar una primera valoración de los efectos potenciales del cambio climático sobre determinadas demandas en España, identificando medidas para la adaptación de la oferta y demanda de recursos hídricos.

El informe del CEDEX sobre “Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural”

Se trata de un importante informe de 268 páginas (CEDEX, 2010). El objetivo general del informe consiste en el análisis de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural en España. Se parte de los datos de precipitación y temperatura derivados de la selección de escenarios climáticos de la AEMET (2008). Se cubren los cuatro periodos temporales siguientes: 1961-1990 (periodo de control), 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

Los objetivos concretos de este trabajo, realizado por el CEDEX, son los siguientes:

1. Comparativa de los resultados de las proyecciones climáticas con los datos observados de lluvia y temperatura durante el periodo 1961-1990.

2. Tratamiento de las proyecciones en fase atmosférica para la obtención de mapas en paso mensual a la escala de trabajo del modelo hidrológico.
3. Implementación del modelo de simulación hidrológica una vez estimadas las variables atmosféricas de entrada.
4. Evaluación del impacto del cambio climático en el conjunto de variables tratadas: precipitación, evapotranspiración potencial (ETP), escorrentía superficial, subterránea y total, humedad en el suelo y recarga a los acuíferos.
5. Análisis del impacto del cambio climático en términos de frecuencia, duración e intensidad de las sequías en las grandes cuencas de España.
6. Análisis de los impactos del cambio climático en lluvias extremas.
7. Elaboración de conclusiones.

La precipitación (PRE) en España muestra una tendencia general decreciente respecto a los valores alcanzados durante los 30 años del periodo de control, siendo tal tendencia suave o estacionaria durante 2011-2040 y se hace más acusada conforme avanza el siglo XXI. La evolución es bastante similar en las proyecciones de los escenarios A2 y B2 hasta 2071-2100, siendo entonces los escenarios A2 (en general) más desfavorables que los B2. El conjunto de proyecciones para España en su conjunto, en el escenario de emisiones A2, supone un descenso de precipitación del 5%, 9% y 17% durante los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente, siendo del 6%, 8% y 9%, respectivamente para el escenario B2. Los mayores descensos se dan en las demarcaciones hidrográficas del Guadiana (del 6%, 13% y 21% (A2) y 8%, 9%, 11% (B2), respectivamente), Guadalquivir (6%, 15%, 24% (A2) y 9%, 10%, 14% (B2)), CI Andalucía (7%, 16%, 25% (A2) y 10%, 11% y 16% (B2)) y Canarias (10%, 19% y 25% (A2) y 14%, 16% y 20% (B2)). En el aspecto estacional, las mayores disminuciones se producen en los meses de julio, agosto y septiembre, seguidas de abril, mayo y junio.

En cuanto a temperatura, se observa la tendencia progresiva al calentamiento a lo largo del siglo XXI. Los resultados que se obtienen para el escenario A2 dan unos incrementos medios de temperatura de aproximadamente $1,5^{\circ}C$ en 2011-2040, de $2,9^{\circ}C$ en el 2041-2070 y de $4,8^{\circ}C$ en el 2071-2100 con respecto a la media del periodo 1961-1990. Los incrementos correspondientes para el escenario B2 son inferiores y se estiman en $1,6^{\circ}C$, $2,5^{\circ}C$ y $3,6^{\circ}C$. Los incrementos de temperatura son mayores en las zonas interiores que en las próximas a la costa. Los cambios de temperatura no son uniformes en todos los meses y estaciones del año. Los mayores incrementos de temperatura y las mayores diferencias entre modelos se dan entre el final de la primavera y verano y los menores entre otoño e invierno. El hecho de que los mayores incrementos de se den durante los meses secos hace esperar que el impacto del ascenso de la temperatura en la escorrentía sea reducido.

Es previsible que mayores temperaturas supongan varios efectos destacables en la capa de nieve: incrementarán la relación PRE/nieve, retrasarán la aparición de la nieve, acortarán la época de nieves y acelerarán el proceso de fusión, lo que conllevará un cambio en la distribución estacional de la escorrentía. Además, también se prevén disminuciones de los reducidos glaciares españoles.

En cuanto a la recarga y volumen subterráneo (REC), el valor medio en España del conjunto de proyecciones decrece a lo largo del siglo XXI. Los valores son similares en A2 y B2 durante los periodos 2011-2040 y 2041-2070. Durante el último periodo 2071-2100, las proyecciones A2 dan, en general, mayores descensos de la variable REC. Las proyecciones del escenario A2 dan unas reducciones para España del 8% para 2011-2040, del 14% para 2041-2100 y del 27% para 2071-2100. Las del B2 dan reducciones del 8%, 12% y del 16% respectivamente. Las reducciones mayores en el

último periodo para el escenario A2 se dan en la D.H. del Guadiana (46%), Guadalquivir (42%), Canarias (42%) y CI Andalucía (40%).

La estimación de la escorrentía⁴ (ESC) o aportación específica (mm) es el resultado final de las sucesivas fases del ciclo hidrológico simuladas. La escorrentía está básicamente condicionada por la precipitación, por el umbral de escorrentía, almacenamiento y capacidad de regulación del suelo, por las evapotranspiraciones potenciales y reales y por las características hidrodinámicas que condicionan la recarga y descarga de los acuíferos. En España, la distribución espacial de la escorrentía tiene gran variabilidad, desde los más de 500 mm/año que aparecen en territorios del norte a los escasos mm/año del valle del Ebro, áreas del sureste y centro de la Península o las islas Canarias orientales.

La serie temporal de valores de ESC anual agregados en España permite apreciar que los escenarios A2 y B2 dan resultados similares durante el primer periodo del siglo XXI. Conforme avanza el siglo XXI, el escenario A2 proporciona menores aportaciones, diferencia que se hace patente en 2071-2100. Como se puede ver en la Tabla 11, se pronostica una reducción generalizada de recursos hídricos en España, más acentuada conforme avanza el siglo XXI, si bien hay grandes variaciones entre las reducciones estimadas por las diferentes proyecciones analizadas. Hay que destacar los fuertes descensos de ESC en las demarcaciones hidrográficas del suroeste, en el escenario A2, para 2071-2100, con descensos medios del conjunto de las proyecciones superiores al 40% en Guadiana, Guadalquivir, C.I. de Andalucía y Canarias. En el otro extremo, las demarcaciones hidrográficas del norte y noreste presentan las menores reducciones. En el escenario B2, estas reducciones son inferiores, aunque son superiores al 20% en Guadalquivir, C.I. de Andalucía, Segura, Júcar, Baleares y Canarias. De las proyecciones se derivan mayores descensos porcentuales de escorrentía en verano que en invierno.

Bibliografía

Barros, V. R. et al (2014). *Climate Change 2014. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B, Regional Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Bates, B., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. and Palutikof, J. (2008). *El cambio climático y el agua*. Documento Técnico VI del IPCC. Secretaría del IPCC, Ginebra.

CEDEX (2010). *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Ministerio de Fomento. Madrid.

Comisión Europea (2007). *Afrontar el desafío de la escasez de agua y la sequía en la Unión Europea*. Comunicado de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo. Bruselas 18.7.2007, COM(2007) 414 final.

Comisión Europea (2013). *Estrategia de adaptación al cambio climático de la UE*. Comunicado de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo. Bruselas 16.4.2013, COM(2013) 216 final.

European Commission (2014). *Climate Impacts in Europe. The JRC PESETA II Project*. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies, Seville, Spain.

⁴ Escorrentía es la parte de las precipitaciones que no se evapora o parte de la precipitación que se presenta en forma de flujo en un curso de agua.

Field, C. B. et al (2014). *Climate Change 2014. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A, Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

McCarthy, J. J. et al (2001). *Climate Change 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

MMA (2005). *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

MMA (2007). *Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Horizonte 2007-2012-2020*. Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

MMA (2009). *Cambio climático y adaptación de los recursos hídricos*. Informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente, editado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica, Madrid.

Oficina Española de Cambio Climático (2006). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.

Parry, M. L. et al (2007). *Climate Change 2007. Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Stocker, T. F. et al (2013). *Climate Change 2013. The Physical Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Tegart, W. J. et al (1990). *Climate Change: The IPCC Impacts Assessment (1990)*. Report prepared for Intergovernmental Panel on Climate Change by Working Group II. Australian Government Publishing Service.

Watson, R. T. et al (1996). *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate change: Scientific-Technical Analysis*. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Capítulo 3

Abastecimiento de agua en los hogares en España

El abastecimiento de agua a los hogares presenta unas características propias que hacen de su estudio algo relevante y necesario. En primer lugar, es un uso prioritario por cuanto se trata de satisfacer necesidades biológicas, lo que justifica, además, la existencia de niveles de garantía y calidad muy exigentes de cara a asegurar la distribución continua del recurso al margen de condiciones climáticas, estado de infraestructuras, disponibilidad del recurso, etc... En segundo lugar existe lo que podría denominarse una *demanda complementaria de agua* sobre los requerimientos biológicos, cuyos factores determinantes son de carácter económico.

Demanda de agua por los hogares

En este trabajo, al igual que en MMA (2007), se considera que los volúmenes de agua efectivamente demandados por los hogares están determinados básicamente por:

- El número de hogares, que a su vez depende del crecimiento demográfico y del tamaño de las familias, factores ambos que han ido cambiando en España en los últimos años.
- La cantidad de agua que demanda cada una de las familias para satisfacer necesidades tanto esenciales como predecibles. Tal cantidad es el resultado de una gran cantidad de factores determinantes. Entre estos factores, que a menudo tienen un efecto contrario sobre la demanda de agua, se encuentran la capacidad de compra de las familias (en general, a mayor capacidad de compra, mayor demanda de agua), los precios del recurso (en general, con demandas más bajas para precios más altos), el tamaño y el tipo de vivienda (con mayores consumos en viviendas más grandes y en viviendas unifamiliares), el tamaño medio de las familias (aumentando el consumo medio por individuo en las familias de tamaño menor), además de otros factores externos a las decisiones de las familias, como el clima. Además de todos estos factores, las cantidades de agua demandadas por las familias dependen de las preferencias de éstas, como es habitual considerar en cualquier función de demanda que se estudia en Economía.

El consumo de agua en los hogares en España

Uso de agua por los hogares

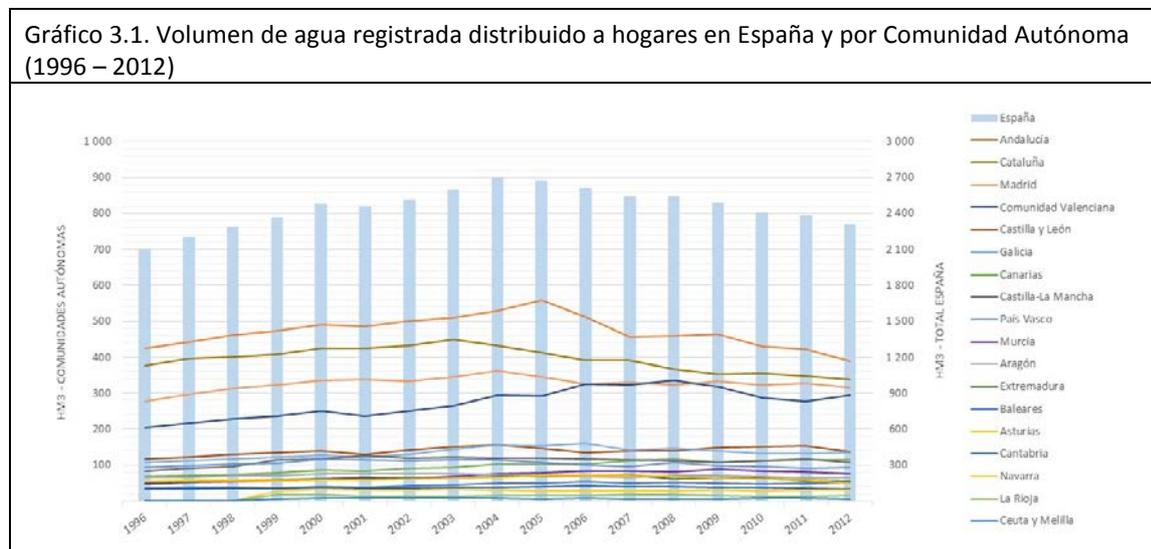
Durante el año 2013, se suministraron a las redes públicas de abastecimiento urbano 4324 hectómetros cúbicos (hm^3) de agua. De éstos, el 74,26 por ciento (3211 hm^3) fue agua registrada, es decir medida en los contadores de los usuarios y el restante 25,74 por ciento (1113 hm^3) correspondió a pérdidas en la red de distribución (INE, 2015c).

Dentro del volumen de agua registrada, el distribuido a los hogares fue de 2218 hm^3 , lo que supuso el 69,1 por ciento del total. El resto del agua se destinó por un lado a sectores económicos que engloban actividades industriales, servicios y ganadería (695 hm^3 , lo que supone el 21,6% del agua registrada), y por otro a consumos municipales: riego de jardines, baldeo de calles y otros usos (298 hm^3 , es decir, el 9,3% del agua registrada (INE, 2015c).

El Gráfico 3.1 muestra la evolución del volumen de agua distribuido a hogares españoles entre 1996 y 2012. Se puede observar cómo se parte de 2095 hm^3 en 1996 siguiendo una tendencia creciente

hasta 2004 donde se alcanza un máximo de 2700 hm³. Desde entonces, la tendencia ha sido decreciente llegando a los 2309 hm³ en el 2012 (INE, 2015a).

Como era de esperar las comunidades autónomas que más agua consumen son las más pobladas, es decir, Andalucía, Cataluña, Madrid y Comunidad Valenciana, que representaron casi el 60 por ciento de la demanda en el 2012 (INE, 2015a).



Fuente: (INE, 2015a)

A continuación se analizarán los distintos factores determinantes, que han podido condicionar el volumen de agua consumido en los hogares en estos últimos años.

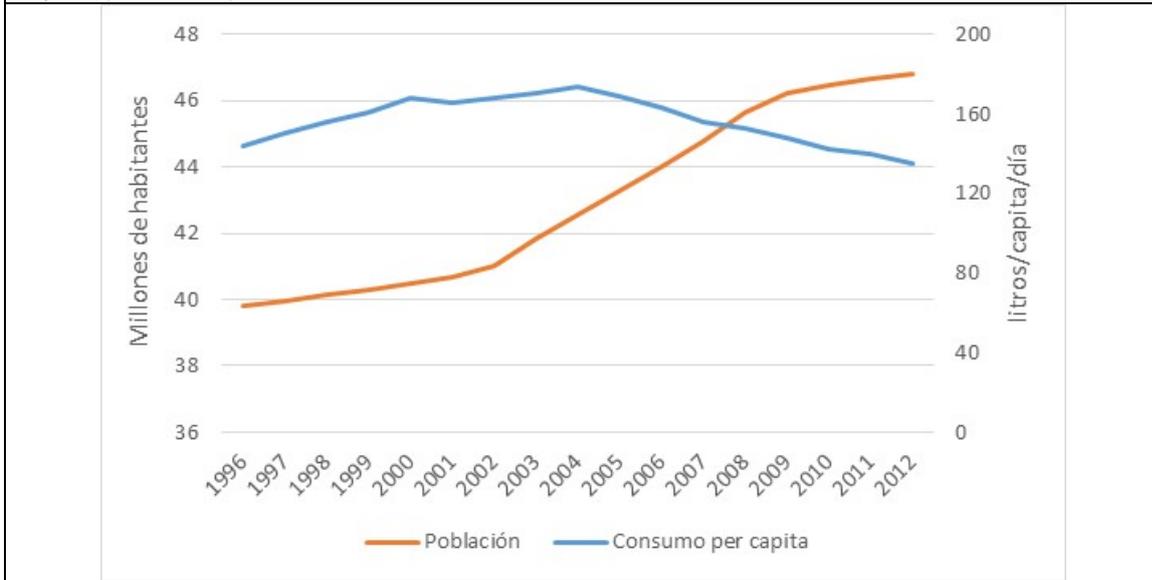
Crecimiento demográfico y consumo per cápita de agua en los hogares en España

El Gráfico 3.2 muestra cómo la población en España creció a una media del 1,8 por ciento anual entre el 2003 y el 2009, año a partir del cual la población sigue creciendo, solo que a un ritmo más lento, a una tasa anual media del 0,4 por ciento hasta el 2012. La inmigración/emigración puede explicar esta tendencia en gran parte. En los años de bonanza económica, desde finales de los 90 y hasta que se nota el impacto de la crisis económica en el 2010, España recibe a un gran número de inmigrantes, muchos de los cuales regresaron a sus países cuando la situación económica empeoró.

El descenso en el volumen de agua en los hogares, distribuido desde el 2004 al 2012 se explica entonces por un menor consumo per cápita (Gráfico 3.2) que ha venido disminuyendo a una tasa anual de casi el 3 por ciento. Esto, unido a una tasa de crecimiento demográfico más baja para el mismo periodo (estimada en 1,3 por ciento) resultó en un descenso en el agua total consumida por los hogares a un ritmo del 1,8 por ciento anual.

Las Comunidades Autónomas con un mayor consumo per cápita en los hogares en la actualidad (2013) son la Comunidad Valenciana (158 litros/habitante/día), Castilla y León (157), Cantabria (144) y Canarias (143). Las Comunidades con un menor consumo per cápita son las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla (106), La Rioja (112), Navarra (112), Cataluña (117) y Galicia (119). El consumo medio para España en su conjunto fue en 2013 de 130 litros/habitante/día, con un descenso del 3,7% respecto a los 135 litros registrados en el año anterior (INE, 2015c). El consumo per cápita cae considerablemente en el año 2012, incluso a niveles por debajo de los alcanzados en 1996 en algunos casos (Madrid, Cataluña, Andalucía, Aragón, País Vasco, Cantabria y Asturias).

Gráfico 3.2. Crecimiento demográfico y evolución del consumo per cápita de agua en los hogares en España (1996-2012)



Fuente: (INE, 2015a)

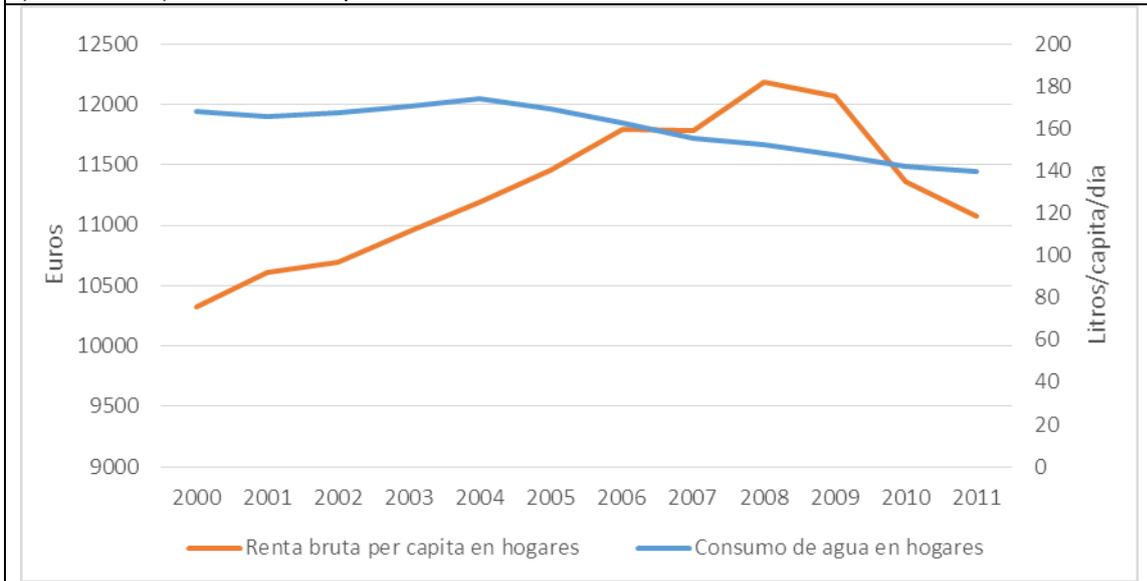
Además de la mayor concienciación en el ahorro de agua por parte de la población, la reducción en el consumo de agua per cápita puede analizarse a través de otros factores, más fácilmente medibles. Los considerados más relevantes que se analizan a continuación son el poder adquisitivo de los consumidores, el precio del agua, el crecimiento de las viviendas y el tamaño de los hogares (MMA, 2007). Estos factores determinan el consumo en los hogares, sin embargo para considerar el agua que tiene que ser distribuida para satisfacer dichas demandas, se hará un análisis también de las pérdidas en la red.

Renta per cápita

El aumento del poder adquisitivo de las familias no tiene por qué traducirse en aumento de las necesidades básicas o prioritarias de servicios de agua (para aseo, para cocinar o como bebida), pero sí tiene un efecto sobre otros usos asociados a mayores niveles de bienestar como son el riego de jardines o el llenado de piscinas, además de otros usos colectivos propios de sociedades avanzadas como la limpieza de calles, el ajardinamiento de parques, rotondas y avenidas. Estos servicios no esenciales del agua pueden considerarse dentro de la categoría de bienes superiores ya que su demanda aumenta rápidamente una vez que se superan determinados umbrales mínimos de renta (MMA, 2007).

El Gráfico 3.3 presenta el consumo de agua per cápita en los hogares y la renta disponible bruta de los hogares per cápita (en términos reales) para España entre los años 2000 y 2011. Mientras que la renta bruta disponible per cápita, en euros del año 2000, ha crecido en un 7 por ciento entre 2000 y 2011, el consumo de agua ha disminuido en un 17 por ciento para el periodo analizado. De todas formas, mientras que el consumo de agua sigue una pauta clara: el consumo de agua per cápita crece hasta el año 2004 y decrece a partir de dicho año, la evolución de la renta disponible bruta de los hogares (per cápita) es más irregular, ya que crece entre los años 2000 y 2006, decrece ligeramente en el año 2007, vuelve a crecer en 2008, y decrece en 2009, 2010 y 2011, en estos dos últimos años de manera pronunciada.

Gráfico 3.3. Consumo de agua per cápita en hogares y renta disponible bruta de los hogares per cápita (2000 – 2011). Renta bruta expresada en euros del año 2000



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INE (2015a)

Si analizamos este consumo por Comunidad Autónoma, se observa la misma correlación negativa. De las 17 Comunidades Autónomas, en 11 de ellas ha aumentado la renta bruta disponible (en términos reales) y ha disminuido el consumo de agua (per cápita) entre los años 2000 y 2012. En 3 de ellas ha aumentado tanto la renta bruta disponible como el consumo de agua (per cápita) (Castilla y León, Galicia y Murcia). En otras 3 ha disminuido la renta bruta disponible y ha aumentado el consumo de agua (per cápita) (Baleares, Canarias y Murcia). Las Comunidades Autónomas con mayor reducción del consumo de agua per cápita en los hogares de España entre los años 2000 y 2012 han sido País Vasco (-22%), La Rioja (-22%), Cataluña (-19%) y Aragón (-17%), siendo las Comunidades Autónomas con mayor incremento Murcia (33%), Canarias (33%), Baleares (24%), Castilla y León (11%) y Comunidad Valenciana (11%).

Los precios y el consumo de agua en los hogares

Durante los años 90 del siglo pasado se produjo un aumento relativamente importante de los precios reales del agua, superior al 10% anual en promedio nacional pero con diferencias regionales muy importantes. Estas variaciones se explican en mayor medida por la incorporación de los costes de depuración, pero también son importantes las que se deben a una mayor repercusión de los costes de suministro de agua potable (MMA, 2007).

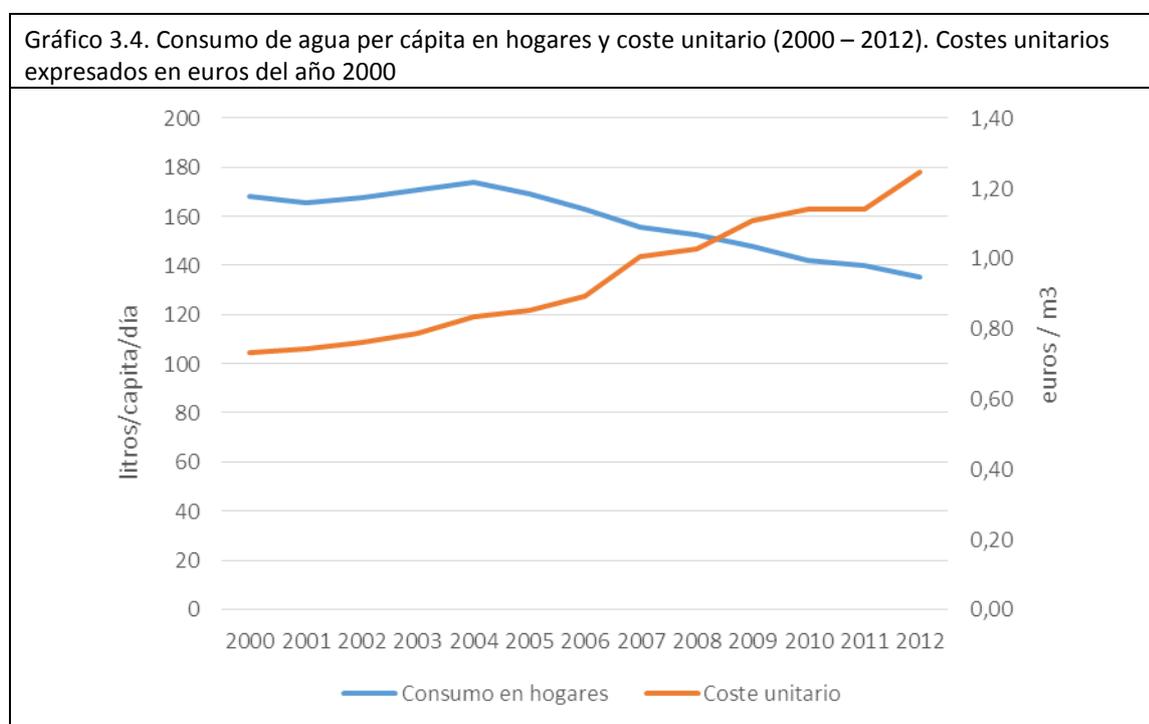
A pesar de la opinión más o menos generalizada de los abastecedores de que los precios del agua no tienen influencia en las decisiones de consumo del recurso en los hogares (demanda inelástica), los datos en España y en Europa apuntan a que el precio influye poco o nada sobre las cantidades demandadas cuando el agua es muy barata, pero tiene un efecto mayor a medida que aumenta el precio (MMA, 2007).

El INE define el coste unitario del agua como el cociente entre los importes abonados por el suministro de agua más los importes abonados en concepto de alcantarillado, depuración y cánones de saneamiento o vertido, y el volumen de agua registrada y distribuida a los usuarios (INE, 2015c). Este volumen incluye además del distribuido a los hogares, aquel destinado a consumos municipales y a sectores económicos de los que se habló al inicio de este capítulo. Por lo tanto hay que tener en

cuenta que los precios considerados pueden ser ligeramente diferentes a aquellos calculados si sólo se hubiera considerado el volumen distribuido a hogares⁵.

En el año 2013, el coste unitario del agua en España fue de 1,83 euros por metro cúbico, con un incremento del 5,8% respecto al año anterior (1,73 euros). El coste unitario del suministro de agua fue de 1,09 euros por metro cúbico, un 5,8% más que en 2012, mientras que el de saneamiento (alcantarillado, depuración, cánones de saneamiento y vertido) fue de 0,74 euros, con un aumento del 5,7%. Los valores más elevados se dieron en las comunidades autónomas de Murcia (2,73 euros por metro cúbico), Cataluña (2,54) e Illes Balears (2,21), correspondiendo los valores más bajos a Castilla y León (1,00), La Rioja (1,06) y Galicia (1,19) (INE, 2015c).

El Gráfico 3.4 compara el consumo per cápita de agua en hogares con sus costes unitarios para el periodo 2000-2012. Se puede observar cómo en términos generales el coste unitario crece mientras el consumo de agua disminuye. Sin embargo, con una tasa media anual del 4,6% por ciento, el ritmo de crecimiento de los precios es más acelerado que la caída del consumo, que presenta una tasa media anual negativa del 2 por ciento.



Fuente: (INE, 2015a)

La relación entre los precios y el consumo de agua por Comunidad Autónoma se pueden representar gráficamente. Para la mayoría de los casos, ambas variables están correlacionadas negativamente, es decir, si los precios aumentan disminuye el consumo. Aunque de este análisis no se puede deducir una relación de causalidad, ya que existen otros factores que condicionan el uso de agua, es probable que de no haberse producido el incremento de precios los incrementos o descensos en el consumo de agua hubieran sido mayores o menores respectivamente.

⁵ El INE solo ofrece valores agregados en cuanto al importe abonado por el suministro de agua, siendo imposible diferenciar entre el importe pagado por los hogares y aquel que se refiere a consumos municipales y sectores económicos.

Crecimiento de viviendas y número de personas por hogar

Es lógico pensar que el consumo medio de agua per cápita en los hogares dependa del número de hogares y del tamaño medio de cada hogar. Es probable que a mayor número de viviendas los consumos sean mayores y que a menor número de personas por hogar se incremente el consumo ya que se desaprovechan las economías de escala del agua, por ejemplo con el uso de lavadora, lavavajillas, zonas ajardinadas, etc. (MMA, 2007).

El número de hogares en España creció en más de un 50 por ciento entre 1991 y 2011 (INE 2015b, INE 2004), bastante superior al crecimiento poblacional de tan sólo el 20 por ciento (INE 2015b).

En cuanto al número de personas por hogar en España, en los últimos 20 años se ha visto reducido de 3,31 habitantes a 2,57. Esta tendencia, generalizada en todas las Comunidades Autónomas, se debe a cambios estructurales en la sociedad española como la disminución de la tasa de natalidad, el retraso de la edad al primer matrimonio, el aumento de las familias monoparentales o de los hogares ocupados por una sola persona (MMA, 2007).

Al contrario de lo que cabría esperar, la disminución del tamaño medio de los hogares en España no ha acarreado un consumo mayor del recurso, sino todo lo contrario, el consumo se ha visto reducido a nivel nacional y en la mayor parte de las Comunidades Autónomas.

Cálculo de las demandas futuras

En este trabajo, la tasa de crecimiento de la demanda final de agua se obtiene en función de la elasticidad precio de la demanda, de la elasticidad ingreso de la demanda y de las tasas de crecimiento del volumen de agua facturada, de la renta bruta disponible, de la población residente y del precio del agua. el análisis en términos de tasas de crecimiento permite establecer una relación clara entre los factores determinantes de la demanda identificando claramente los factores que son controlables por la política de agua (como los precios y la eficiencia técnica) y aquéllos que se determinan de una manera exógena (como el crecimiento de la población y el ingreso).

Todas las relaciones que se utilizan dependen de factores determinantes que deben establecerse a nivel de cada municipio. Por lo tanto, en el análisis prospectivo de la demanda de agua, no sólo es importante establecer las mejores hipótesis sobre el crecimiento agregado (de la población y el ingreso a nivel nacional). También es necesario identificar cómo se distribuye ese crecimiento en el territorio. Por ese motivo, son importantes las hipótesis sobre convergencia de los niveles de ingreso y sobre el mantenimiento, o no, de las pautas de concentración espacial de la población en el territorio. En este punto ha sido necesario realizar supuestos para la regionalización y desagregación del dato de población y renta agregado obtenido para España por el *Center for International Earth Science Information Network* de la Universidad de Columbia (US).

El modelo PROSABAC es la herramienta diseñada para llevar a cabo la metodología que se utiliza en el trabajo. Esta herramienta, diseñada para realizar prospecciones de demanda de agua en los hogares españoles, requiere información detallada a nivel de municipio. Los resultados se presentan a nivel de cuenca hidrográfica, mediante agregación de las demandas municipales.

Los resultados se presentan a nivel de cuenca hidrográfica mediante agregación de las demandas de los municipios correspondientes. Se obtienen demandas del recurso para cada una de las cuencas hidrográficas españolas, en los escenarios A2 y B2 para cada uno de los periodos 2011-2040, 2041-2079 y 2071-2100. También se obtienen las correspondientes demandas del recurso per cápita.

Gráfico 3.5. Participación relativa de cada cuenca en el total demandado

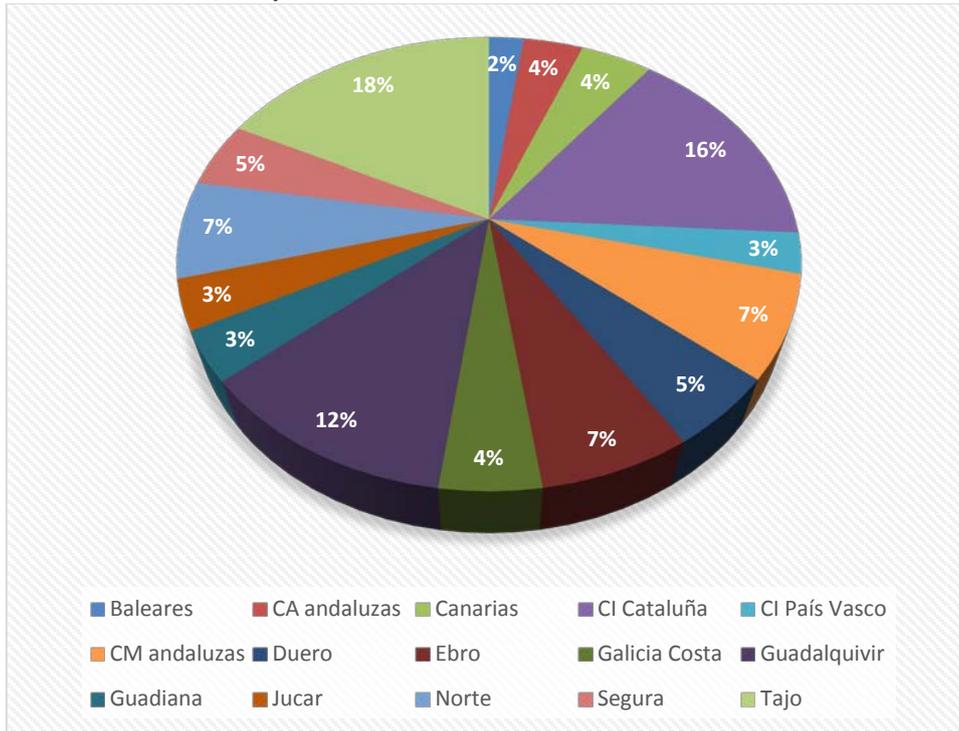


Gráfico 3.6. Cantidad total de agua demandada por los hogares. Escenario A2 (Hm³)

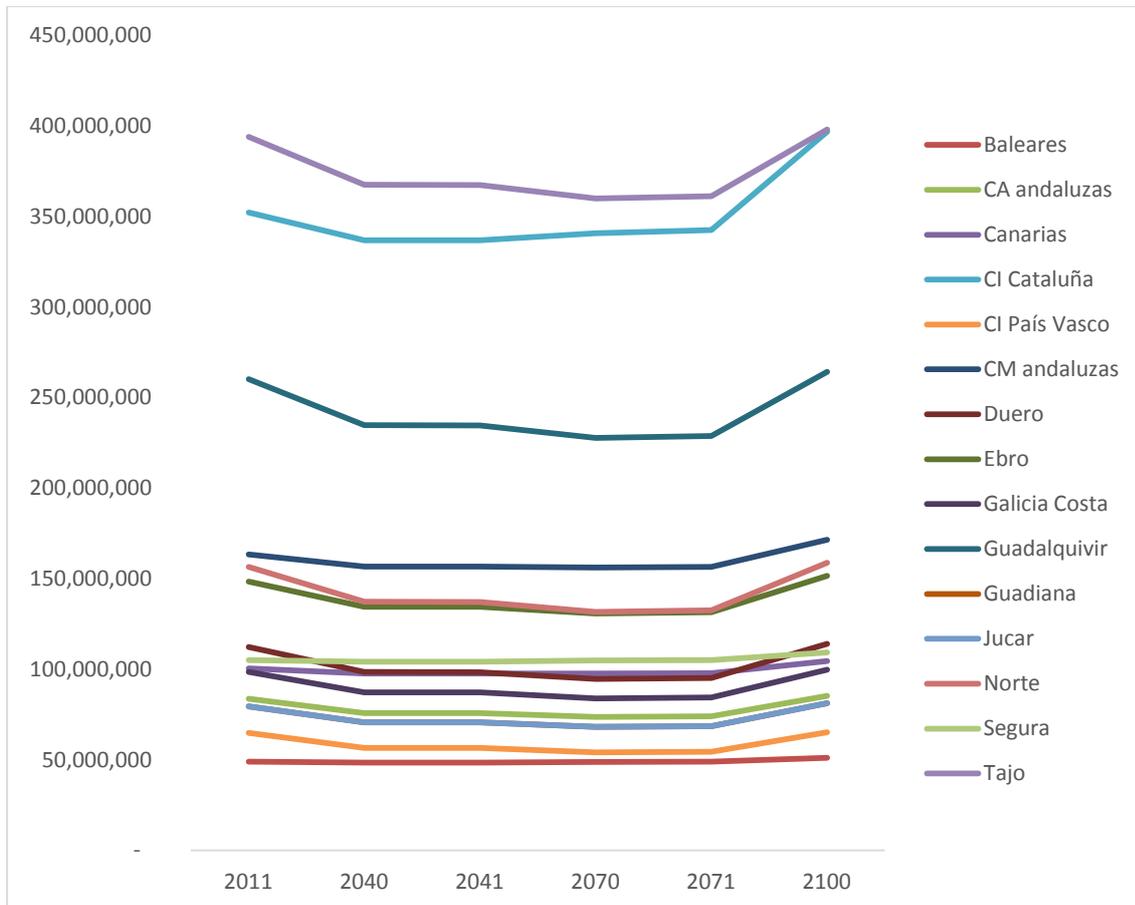
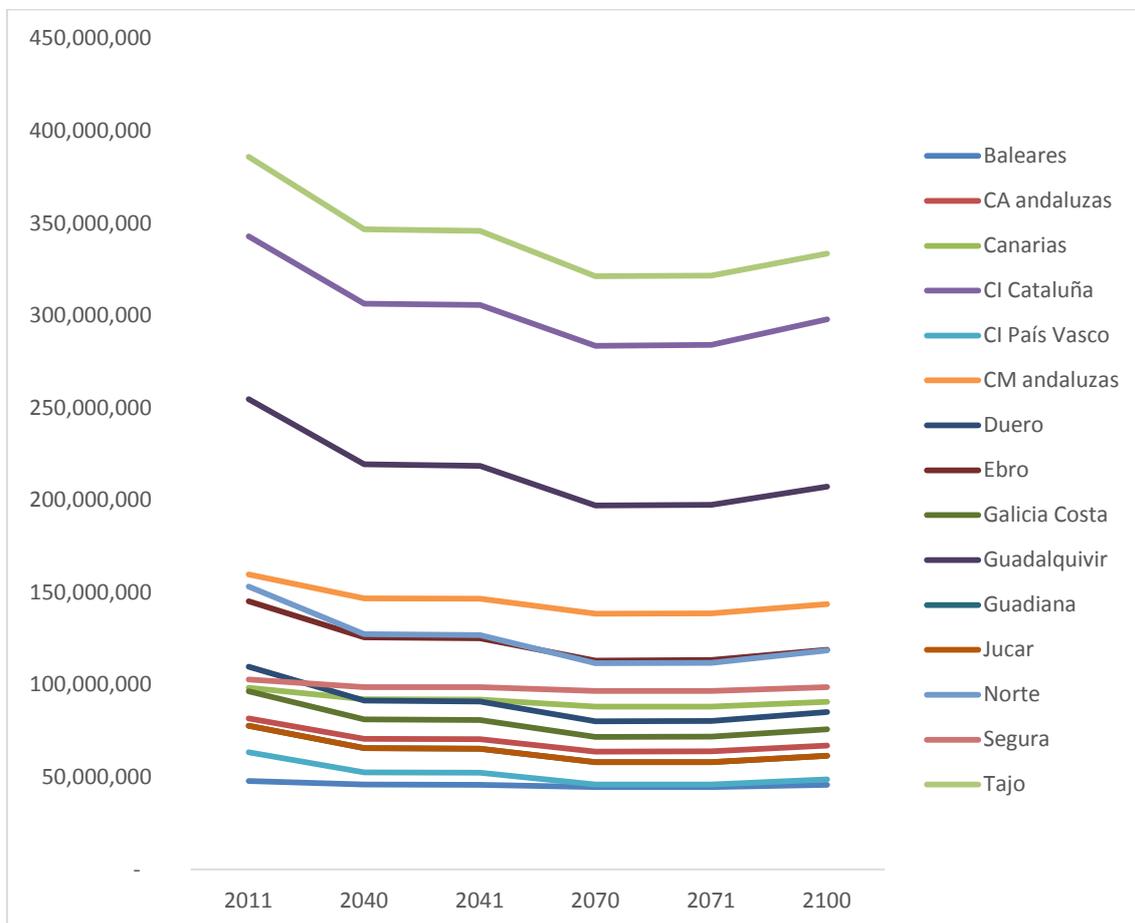


Gráfico 3.7. Cantidad total de agua demandada por los hogares. Escenario B2 (Hm³)



Atendiendo a los consumos por habitante (consumo total de la cuenca dividido entre el número de habitantes de la cuenca), el consumo medio por habitante presenta una elevada dispersión según los territorios: las cuencas situadas en el sur de la Península Ibérica, a excepción de la cuenca hidrográfica del Norte y la del Júcar, presentan consumos mucho mayores que la media nacional, mientras que en la cuenca del Segura y el centro y norte de la península los consumos se sitúan en torno a la media y en valores menores.

La evolución de la demanda en cada uno de los escenarios sigue patrones muy diferenciados, con una elevada influencia del efecto escala provocado por la población, como puede observarse si se contraponen las evoluciones de la demanda agregada del recurso y la demanda per cápita: a consecuencia del efecto renta, la demanda per cápita de recurso es creciente en todo el periodo considerado, mientras que el efecto escala de la población hace que la demanda agregada del recurso experimente aumentos y disminuciones en función del periodo considerado. Tales aumentos y decrecimientos de la demanda presentan la misma elevada dispersión inter-cuencas que las propias cantidades demandadas, obviamente influidas por las distintas densidades de población de cada una de las cuencas, como puede verse en las tablas siguientes.

Tabla 3.1. Variaciones en la demanda del recurso per cápita. Escenario B2

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2100
BALEARES	1,06%	1,06%	1,06%	3,29%
CA ANDALUZAS	1,07%	1,07%	1,07%	3,33%
CANARIAS	1,06%	1,06%	1,06%	3,29%
CI CATALUÑA	1,65%	1,64%	1,65%	5,15%
CI PAÍS VASCO	1,00%	1,00%	1,00%	3,09%
CM ANDALUZAS	1,25%	1,24%	1,25%	3,88%
DUERO	1,16%	1,15%	1,16%	3,59%
EBRO	0,97%	1,00%	1,10%	3,18%
GALICIA COSTA	1,05%	1,05%	1,06%	3,27%
GUADALQUIVIR	1,05%	1,04%	1,03%	3,22%
GUADIANA	1,18%	1,18%	1,18%	3,66%
JUCAR	0,67%	0,67%	0,67%	2,07%
NORTE	1,23%	1,20%	1,11%	3,66%
SEGURA	1,12%	1,07%	0,97%	3,27%
TAJO	0,84%	0,84%	0,84%	2,60%

Tabla 3.2. Variaciones en la demanda del recurso. Escenario B2

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2100
BALEARES	-4,13%	-2,73%	2,41%	-4,50%
CA ANDALUZAS	-13,52%	-9,53%	4,93%	-18,05%
CANARIAS	-6,25%	-4,24%	2,95%	-7,61%
CI CATALUÑA	-10,61%	-7,21%	4,84%	-13,13%
CI PAÍS VASCO	-17,07%	-12,25%	5,90%	-23,13%
CM ANDALUZAS	-8,12%	-5,57%	3,69%	-10,09%
DUERO	-16,75%	-11,88%	5,97%	-22,45%
EBRO	-13,52%	-9,61%	4,97%	-18,09%
GALICIA COSTA	-15,79%	-11,28%	5,60%	-21,28%
GUADALQUIVIR	-13,88%	-9,81%	4,98%	-18,61%
GUADIANA	-15,58%	-11,21%	5,76%	-20,89%
JUCAR	-15,58%	-11,21%	5,76%	-20,89%
NORTE	-16,76%	-11,99%	5,98%	-22,54%
SEGURA	-4,03%	-2,12%	2,06%	-4,13%
TAJO	-10,16%	-7,09%	3,69%	-13,57%

Tabla 3.3. Variaciones en la demanda del recurso per cápita. Escenario A2

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2100
BALEARES	1,70%	1,70%	1,70%	5,30%
CA ANDALUZAS	1,72%	1,72%	1,72%	5,38%
CANARIAS	1,70%	1,71%	1,71%	5,33%
CI CATALUÑA	4,80%	4,80%	4,98%	15,68%
CI PAÍS VASCO	1,55%	1,55%	1,55%	4,83%
CM ANDALUZAS	2,17%	2,17%	2,24%	6,88%
DUERO	1,92%	1,92%	1,94%	6,04%
EBRO	1,65%	1,72%	1,89%	5,48%
GALICIA COSTA	1,68%	1,68%	1,69%	5,27%

GUADALQUIVIR	1,63%	1,63%	1,59%	5,04%
GUADIANA	2,00%	2,01%	2,03%	6,30%
JUCAR	0,16%	0,17%	0,23%	0,56%
NORTE	1,94%	1,89%	1,76%	5,82%
SEGURA	1,57%	1,48%	1,62%	4,85%
TAJO	1,09%	1,08%	1,12%	3,40%

Tabla 3.4. Variaciones en la demanda del recurso. Escenario A2

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2100
BALEARES	-0,85%	0,72%	4,48%	4,52%
CA ANDALUZAS	-9,38%	-2,74%	15,24%	1,98%
CANARIAS	-2,76%	-0,03%	6,70%	3,97%
CI CATALUÑA	-4,37%	1,16%	15,85%	12,69%
CI PAÍS VASCO	-12,72%	-4,28%	19,66%	0,44%
CM ANDALUZAS	-4,17%	-0,33%	9,54%	4,94%
DUERO	-12,23%	-3,83%	19,80%	1,62%
EBRO	-9,35%	-2,74%	15,35%	2,11%
GALICIA COSTA	-11,47%	-3,67%	18,16%	1,22%
GUADALQUIVIR	-9,76%	-2,96%	15,51%	1,56%
GUADIANA	-11,08%	-3,36%	18,45%	2,27%
JUCAR	-11,08%	-3,36%	18,45%	2,27%
NORTE	-12,28%	-3,92%	19,75%	1,42%
SEGURA	-0,97%	0,70%	4,14%	4,00%
TAJO	-6,71%	-1,99%	10,21%	1,04%

Análisis de sensibilidad realizados indican que un pequeño incremento en los precios del agua que se fuera acumulando año tras año tendría efectos considerables en la disminución de la demanda del recurso.

Referencias

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) 2008, "Evaluación del impacto del Cambio Climático en los recursos hídricos en régimen natural", [Online]. Available from: http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/Memoria_encomienda_CEDEX_tcm7-165767.pdf.

INE. (2015a). *Encuesta sobre el suministro y tratamiento del agua*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística:
<http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft26%2Fp067%2Fp01&file=inebase&L=0>

INE. (2015b). *Censo de población y viviendas 2011*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística:
http://www.ine.es/censos2011_datos/cen11_datos_resultados.htm#

INE. (2015c). *Encuesta sobre el Suministro y Saneamiento del Agua 2013. Nota de prensa*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística: <http://www.ine.es/prensa/np934.pdf>

MMA (2007). *El agua en la economía española: situación y perspectivas*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid

Capítulo 4

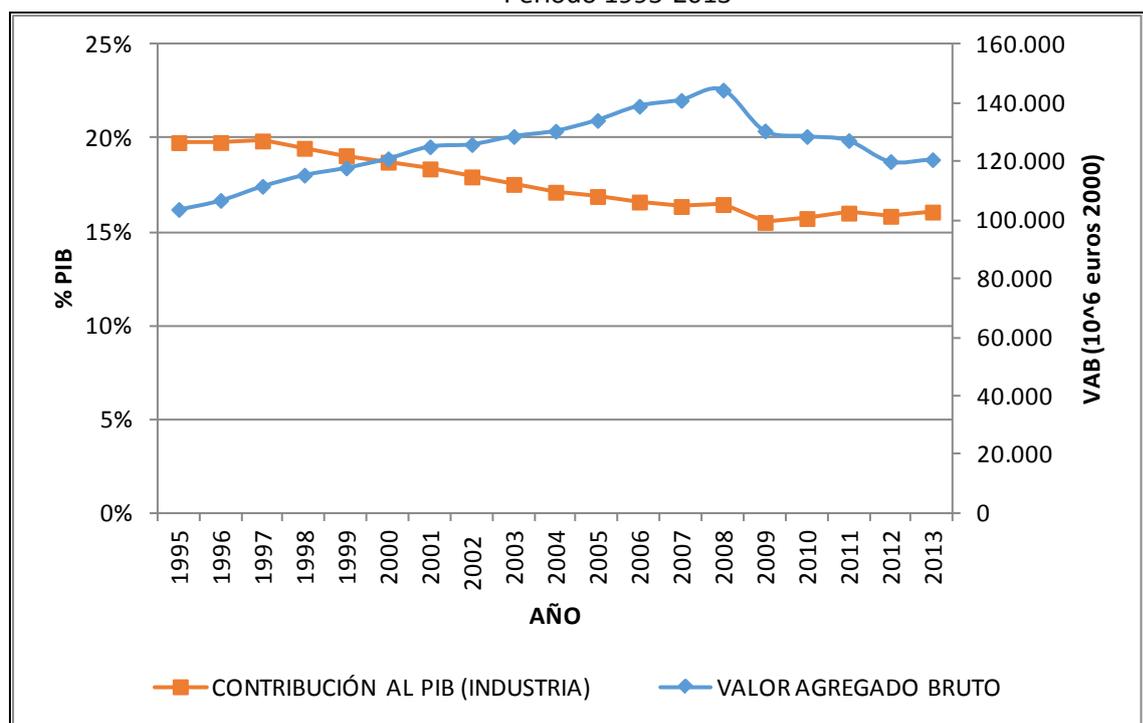
El uso del agua en la industria en España

Importancia socioeconómica de la industria en España

La industria española presenta unas características particulares, especialmente importantes para comprender las perspectivas del uso del agua en los múltiples procesos de extracción y fabricación de bienes en los que este recurso interviene. Por ejemplo, mientras la producción industrial española ocupa el quinto lugar en contribución al valor añadido bruto europeo del sector y la sexta posición en número de ocupados en la industria en la Unión Europea (UE), el peso relativo del sector en el país es considerablemente menos importante. Así, en 2013, cuando en algunos países de la UE la industria aportaba uno de cada cuatro puestos de trabajo y casi un tercio del PIB, en España el sector solo empleaba al 13% de los ocupados y tan solo suponía un 16% del PIB. Esto hace a España ocupar el puesto 23 y 21 respectivamente, de una lista de 34 países europeos (*European Commission, 2015*).

El valor añadido bruto (VAB) del sector industrial en el país siguió una tendencia creciente en los años previos a la crisis (antes de 2008) mientras que su contribución relativa al PIB fue decreciendo, según muestra el Gráfico 4.1. Esto se debe a un crecimiento más acelerado de sectores como la construcción o los servicios. Después de 2008, cuando se alcanza el máximo del periodo, y hasta 2013, el VAB industrial experimenta una tendencia decreciente mientras que su contribución al PIB se estabiliza alrededor del 16%. Esto se debe principalmente a que el descenso en la contribución al PIB del sector de la construcción (que pasa de un 10% en 2009 a un 5% en 2013) es principalmente absorbido por el sector servicios que incrementa su contribución del 63% en 2008 al 68% en 2013. Esta tendencia hacia la terciarización se manifiesta en la predominancia del sector servicios en la economía española y cómo su peso relativo ha crecido especialmente en los años de crisis (posteriores a 2008).

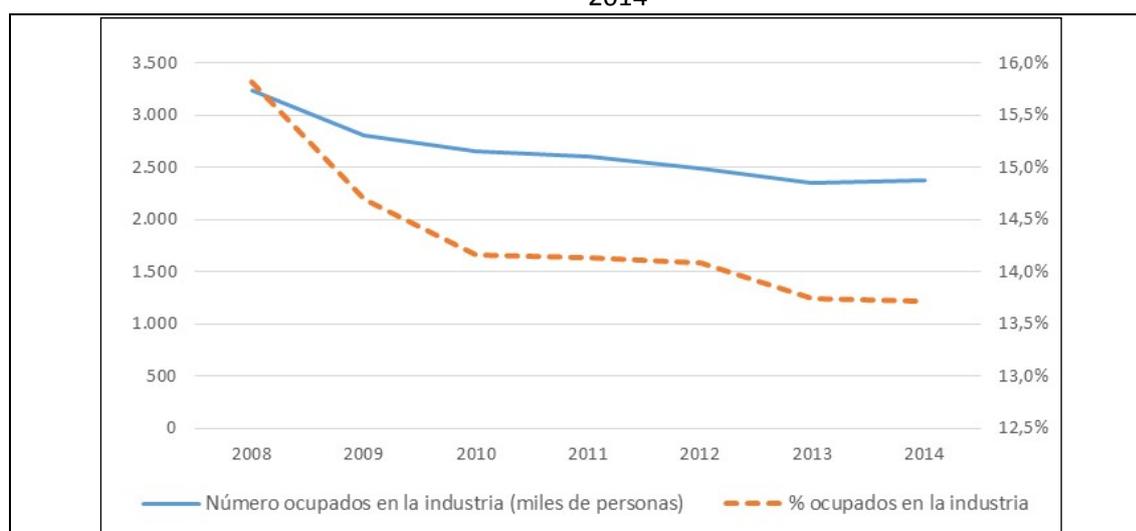
Gráfico 4.1. Valor añadido bruto (euros año 2000) y contribución al PIB del sector industrial (%).
Período 1995-2013



Fuente: (Instituto Nacional de Estadística, INE, 2015a)

En cuanto a generación de empleo, según el INE (2015b), la industria ocupaba en 2014 a unos 2,4 millones de personas, lo que supone un descenso considerable respecto a los 3,2 millones de la situación pre-crisis, en 2008 (Gráfico 4.2). En términos porcentuales, la contribución de la industria al empleo total también cayó del 15,8% al 13,7%. La terciarización de la economía también se hace palpable en la creación de empleo. El sector servicios incrementó su participación en la generación total de empleo al pasar de un 68,1% en 2008 a un 76,3% en 2014. A pesar de que en valores absolutos el número de empleados en el sector servicios también cayó en este periodo, dicha caída es bastante menor que en otros sectores: mientras que en la construcción el número de empleados disminuye un 60% y un 26% en la industria, en el sector servicios tan sólo cae en un 5%.

Gráfico 4.2. Número de ocupados por el sector industrial y contribución a la ocupación total 2008-2014



Uso del agua por parte de la industria en España

Las captaciones de agua dentro de la industria en 2010 fueron de un total de 761,9 hm³ (INE, 2015d). Las actividades con mayores captaciones son la industria química, la de la alimentación, la del papel y la metalurgia, que suman el 83% de las captaciones del sector. La industria también produce vertidos que contaminan las aguas. Conviene, pues, analizar el agua que las industrias devuelven al sistema natural y su nivel de contaminación (ya sea química o térmica). En 2010, los vertidos alcanzaron los 423,3 hm³ (algo más de la mitad de las captaciones). Como era de esperar, las actividades industriales que más agua consumen son también las que más residuos generan. Es más excepcional el caso de las actividades extractivas, el material de transporte o el material y equipo eléctrico y óptico, donde los vertidos superan a las captaciones. Captaciones y vertidos aparecen consignados en la Tabla 4.1.

Entre los parámetros que caracterizan los vertidos industriales están la cantidad de oxígeno consumido en cinco días para degradar la materia susceptible de ser consumida por medios biológicos (DBO₅), la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos (DQO), los sólidos en suspensión, el nitrógeno y el fósforo totales, y los metales pesados.

Al analizar los usos industriales del agua y su presión sobre el recurso, hay que considerar la elevada concentración espacial de la actividad: Cataluña aporta alrededor del 25% del PIB industrial español, seguido por Madrid con el 12%, y el País Vasco y la Comunidad Valenciana en torno al 11% cada uno. Esta estructura productiva, referida al año 2005, aparece representada en la Tabla 4.2 y el Gráfico 4.3.

Tabla 4.1. Captación total de aguas (continentales y no continentales) y retornos al medio ambiente por parte de la industria en 2010

ACTIVIDADES DE LA INDUSTRIA	CAPTACIONES	RETORNOS ⁶	0	50	100	150	200	250	300
	hm3								
Industria extractiva ⁷	50.5	78.4							
Industria manufacturera:									
Industria química y farmacéutica	258,0	128.1							
Metalurgia y productos metálicos	142.2	61.3							
Alimentación, bebidas y tabaco	133.3	51.3							
Madera y corcho, papel y artes gráficas	127.5	71.9							
Productos minerales no metálicos diversos	18.8	6.3							
Caucho y materias plásticas	12.1	10.5							
Textil, confección, cuero y calzado	11.3	6.6							
Material de transporte	3.1	4.5							
Industrias manufactureras diversas	2.3	1.2							
Maquinaria y equipo mecánico	1.7	0.6							
Material y equipo eléctrico/óptico	1.1	2.6							
TOTAL	761.9	423.3							

Fuente: (INE, 2015d)

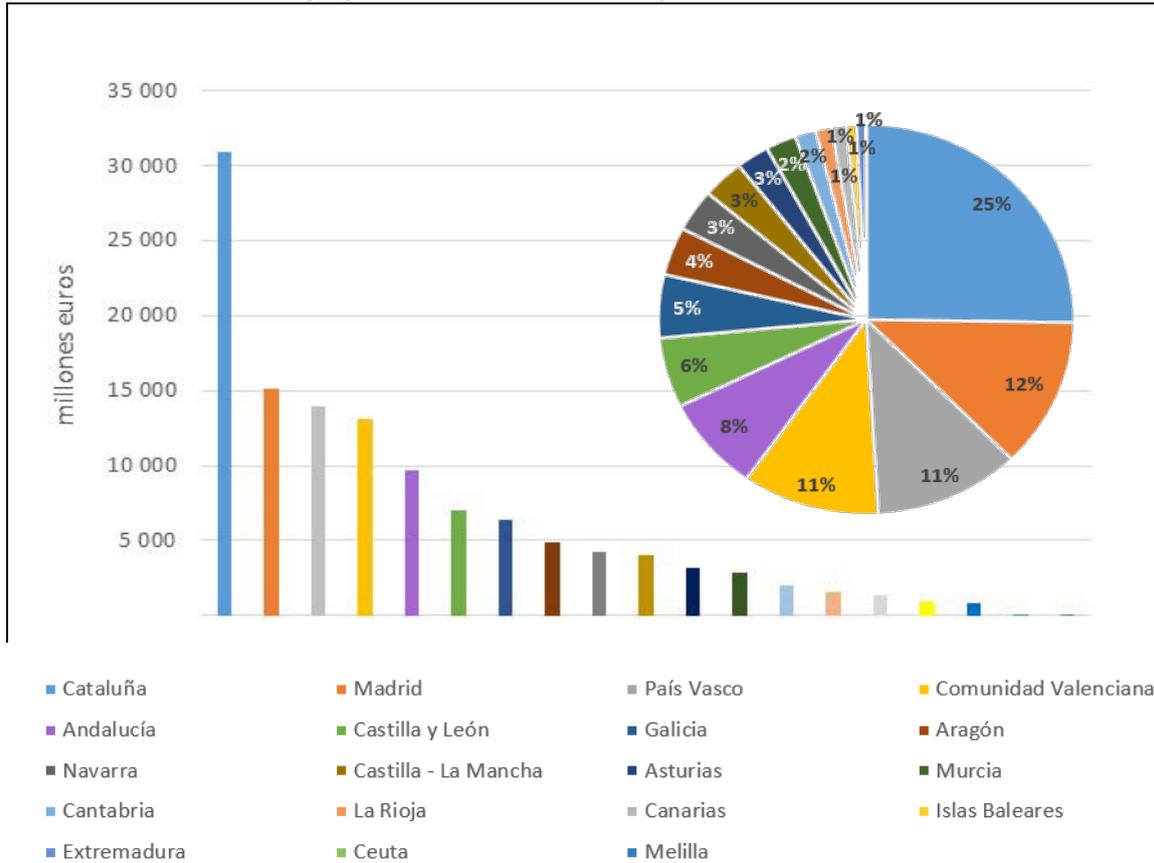
⁶ Volúmenes de agua que tienen como destino el medio ambiente durante un período de referencia. Estos volúmenes suelen contener sustancias contaminantes, que son vertidas a los elementos hidrológicos desde fuentes puntuales o difusas.

⁷ Esta clase se ha modificado con respecto a la original del INE "Industrias extractivas, energía, agua y residuos". De tal forma que la categoría incluye la extracción de productos energéticos y otros productos minerales, así como el refinado de petróleo y el tratamiento de combustibles nucleares, pero no incluye el suministro de energía eléctrica (que incluye la producción de energía hidroeléctrica), gas, vapor y aire acondicionado, así como la captación, depuración y distribución de agua tratada al considerarse del lado del suministro más que del lado de la demanda de agua.

Tabla 4.2. Aportaciones al VAB de la industria por cada una de los sectores considerados en el año 2005 (%). Detalle por cuencas hidrográficas (CUA 2001)

2005	Total	Alimentación, bebidas y tabaco	Textil, confección, cuero y calzado	Madera y corcho	Papel; edición y Artes gráficas	Industria química	Caucho y plástico	Otros productos minerales no metálicos	Metalurgia y productos metálicos	Maquinaria y equipo mecánico	Equipo Eléctrico, electrónico y óptico	Fabricación de material de transporte	Industrias manufactureras diversas
Galicia Costa	3,89	0,60	0,34	0,21	0,25	0,15	0,08	0,25	0,66	0,18	0,12	0,91	0,14
Norte	7,74	0,78	0,14	0,22	0,43	0,48	0,39	0,72	2,76	0,68	0,30	0,62	0,22
Duero	5,14	1,15	0,13	0,16	0,29	0,25	0,48	0,43	0,60	0,21	0,16	1,11	0,17
Tajo	15,18	1,50	0,53	0,22	2,75	1,66	0,45	1,05	1,87	1,10	1,53	1,80	0,73
Guadiana	1,64	0,54	0,09	0,14	0,06	0,10	0,03	0,18	0,30	0,05	0,06	0,03	0,06
Guadalquivir	4,84	1,23	0,19	0,11	0,26	0,29	0,12	0,58	0,72	0,28	0,31	0,33	0,42
CM Andaluzas	1,90	0,44	0,09	0,05	0,13	0,16	0,04	0,35	0,31	0,09	0,10	0,06	0,08
Segura	2,84	0,67	0,26	0,10	0,13	0,32	0,09	0,27	0,35	0,19	0,06	0,14	0,26
Júcar	11,38	1,21	1,27	0,43	0,85	0,87	0,56	2,22	1,15	0,60	0,40	0,70	1,13
Ebro	11,49	1,58	0,39	0,19	0,91	0,59	0,66	0,69	2,09	1,19	0,73	1,90	0,58
CI Cataluña	24,55	2,22	1,94	0,31	2,74	4,07	1,39	1,13	3,20	2,03	1,75	2,85	0,93
Baleares	0,82	0,13	0,06	0,05	0,08	0,01	0,01	0,10	0,12	0,04	0,02	0,10	0,10
Canarias	1,19	0,42	0,01	0,06	0,13	0,05	0,02	0,19	0,14	0,04	0,04	0,04	0,05
CI País Vasco	6,03	0,39	0,04	0,07	0,37	0,26	0,44	0,18	2,16	0,97	0,36	0,55	0,24
CA Andaluzas	1,39	0,29	0,05	0,03	0,07	0,21	0,02	0,09	0,20	0,03	0,07	0,29	0,04
ESPAÑA	100,00	13,14	5,53	2,35	9,44	9,46	4,78	8,42	16,62	7,68	6,01	11,42	5,15

Gráfico 4.1. Valor agregado bruto de la industria por Comunidad Autónoma en 2010



Fuente: (INE, 2015c)

Análisis por escenarios: VAB

Para confeccionar los escenarios se mantuvo constante la estructura productiva de 2005 (Tabla 2), y sobre ésta se calculó la evolución del PIB⁸ para cada uno de los escenarios de cambio climático considerados (A2 y B2)⁹, siguiendo los crecimientos previstos en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Tasa de crecimiento anual del PIB esperada en cada uno de los escenarios de cambio climático (%). Detalle por horizontes temporales

PERIODO	ESCENARIO A2	ESCENARIO B2
2011-2040	1,50	0,89
2041-2070	1,37	0,74
2071-2100	1,49	1,09

Fuente: Elaboración propia a partir de estimaciones del *Center for International Earth Science Information Network*

Los escenarios del IPCC fijan como período base el año 1990, cuando en España circulaba la peseta. Por otro lado, sus valores monetarios se expresan en dólares. Por tanto, los factores de conversión empleados consideran ambas circunstancias (fecha y moneda) al obtener una evolución del valor añadido bruto para el conjunto de España, así como el peso específico del sector en la economía nacional, fijado en este estudio en un valor medio del 18%. La Tabla 4.4

⁸ Tanto el PIB como el VAB crecen a la misma tasa.

⁹ Escenarios utilizados por el CEDEX con base, a su vez, en el informe sobre escenarios del IPCC (Nakicenovic & Swart, 2000) corresponden a dos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero.

muestra la evolución del VAB total nacional para los horizontes temporales considerados. La desagregación por cuencas y ramas está contenida en el Anexo 1 del referente a industria, dentro del informe global.

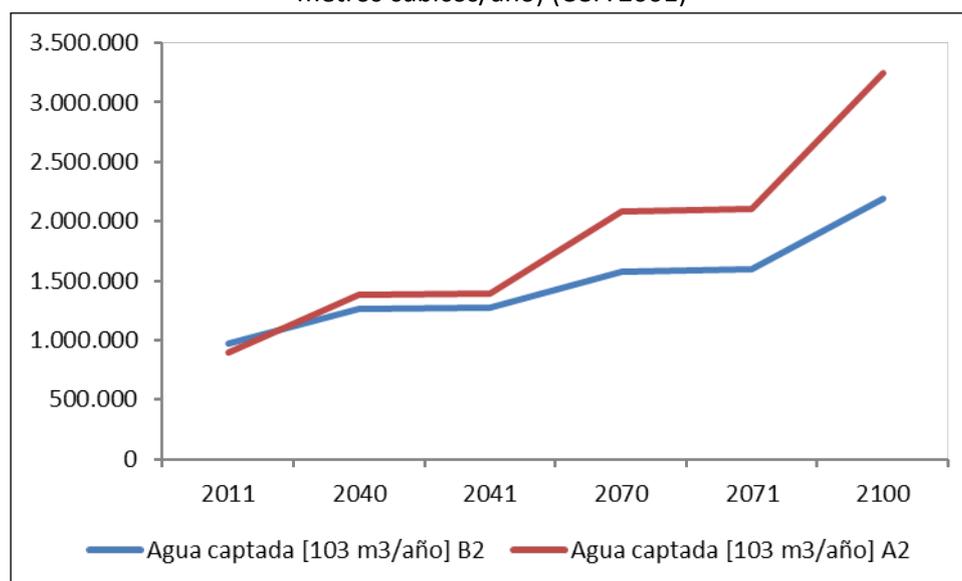
Tabla 4.4. VAB industrial esperado en cada uno de los escenarios de cambio climático. Detalle por horizontes temporales (millones de euros. Año base: 1990)

ESCENARIO	2011	2040	2041	2070	2071	2100
A2	81.969,73	126.483,96	128.228,71	190.896,91	193.762,57	298.758,18
B2	89.601,03	116.024,84	116.886,61	144.709,14	146.295,10	200.877,33

Análisis por escenarios: demandas, vertidos y cargas contaminantes

La evolución de la demanda de agua bajo los anteriores supuestos está ligada a la evolución esperada del PIB español bajo los escenarios A2 y B2. Así, para calcular la demanda de agua en cada escenario, se usaron los coeficientes de uso del agua (CUA) publicados por el INE en 2001 (Tabla 6), aplicándolos sobre el VAB generado por cada rama industrial, en cada año considerado. El Gráfico 4.4 muestra cómo, a la larga, el mayor crecimiento proyectado para el escenario A2 se traduce en un uso más intensivo de los recursos hídricos, con valores muy superiores a los del escenario B2.

Gráfico 4.2. Volumen de agua captada por actividades industriales. Total de España (miles de metros cúbicos/año) (CUA 2001)



La Tabla 4.5 condensa a escala nacional los volúmenes de agua demandada y vertida, junto a las cargas contaminantes; todo ello referido a un peso del 18% del sector industrial dentro del conjunto de la economía. Si bien al inicio (2011) el escenario A2 posee una demanda de agua un 8,5% inferior a la del escenario B2, esta tendencia se invierte a lo largo del periodo analizado, hasta prácticamente demandar un 50% más que para el escenario B2 en 2100. Por tramos se tiene que, para el escenario B2, en 2040 se prevé una presión un 29,5% mayor que para 2011; bajo el escenario A2 este incremento es del 54,3%. Igual ocurre en los siguientes periodos: 23,8% para el escenario B2 frente al 48,9% del A2 (2041-2070), y 54,2% del A2 frente al 37,3% del B2 (2071-2100). Se constata que no sólo la presión final sobre el recurso es mayor bajo el escenario A2 respecto al escenario B2, sino que este patrón se mantiene en su evolución temporal, dentro de cada tramo de 30 años. Los valores a nivel de cuenca hidrográfica aparecen recogidos en el Anexo 2 del capítulo correspondiente.

Tabla 4.5. Presión de la industria sobre el recurso hídrico. Consolidado nacional (CUA 2001, Peso: 18%)

AÑO	CAPTACIÓN	VERTIDO	DBO	DQO	SS	NT	P	MP
	(m ³ /AÑO)		(Kg/AÑO)					
2011	892.468.669	389.450.066	23.098.061	78.161.958	12.862.994	2.298.222	673.770	217.486
	975.556.650	425.707.494	25.248.468	85.438.763	14.060.526	2.512.185	736.496	237.732
2040	1.377.129.915	600.943.600	35.641.622	120.608.348	19.848.331	3.546.288	1.039.663	335.591
	1.263.253.326	551.250.825	32.694.372	110.635.094	18.207.047	3.253.041	953.692	307.841
2041	1.396.126.424	609.233.181	36.133.272	122.272.053	20.122.124	3.595.206	1.054.004	340.221
	1.272.636.074	555.345.211	32.937.207	111.456.830	18.342.279	3.277.203	960.775	310.127
2070	2.078.444.072	906.978.818	53.792.396	182.029.091	29.956.248	5.352.263	1.569.119	506.494
	1.575.561.753	687.534.082	40.777.254	137.986.909	22.708.294	4.057.275	1.189.469	383.947
2071	2.109.644.757	920.593.984	54.599.903	184.761.632	30.405.938	5.432.608	1.592.674	514.097
	1.592.829.313	695.069.195	41.224.157	139.499.194	22.957.168	4.101.742	1.202.505	388.155
2100	3.252.814.124	1.419.443.299	84.186.371	284.879.832	46.882.236	8.376.417	2.455.709	792.675
	2.187.108.713	954.397.235	56.604.755	191.545.886	31.522.412	5.632.088	1.651.156	532.974
	Escenario A2	Escenario B2						

El Gráfico 4.5 y el Gráfico 4.6 enseñan la desagregación por cuencas hidrográficas de los volúmenes de agua demandados. En todas las cuencas la demanda crece a lo largo del periodo analizado, pero son las Cuencas Internas de Cataluña, seguidas del Tajo, las que presentan mayores presiones sobre el recurso. Esto obedece a la actual localización de los mayores centros industriales en Cataluña y la Comunidad de Madrid. El supuesto de invariabilidad de la estructura productiva hace que todas las demandas crezcan, al considerar que las contribuciones de cada cuenca se mantienen en el tiempo, razón por la cual, no se aprecian los potenciales efectos en la demanda de agua de eventuales relocalizaciones, fenómenos de desindustrialización y reindustrialización, y/o cambios tecnológicos.

Gráfico 4.3. Volumen de agua demandada (miles de m³/año) esc. A2. Detalle por cuencas hidrográficas (CUA 2001)

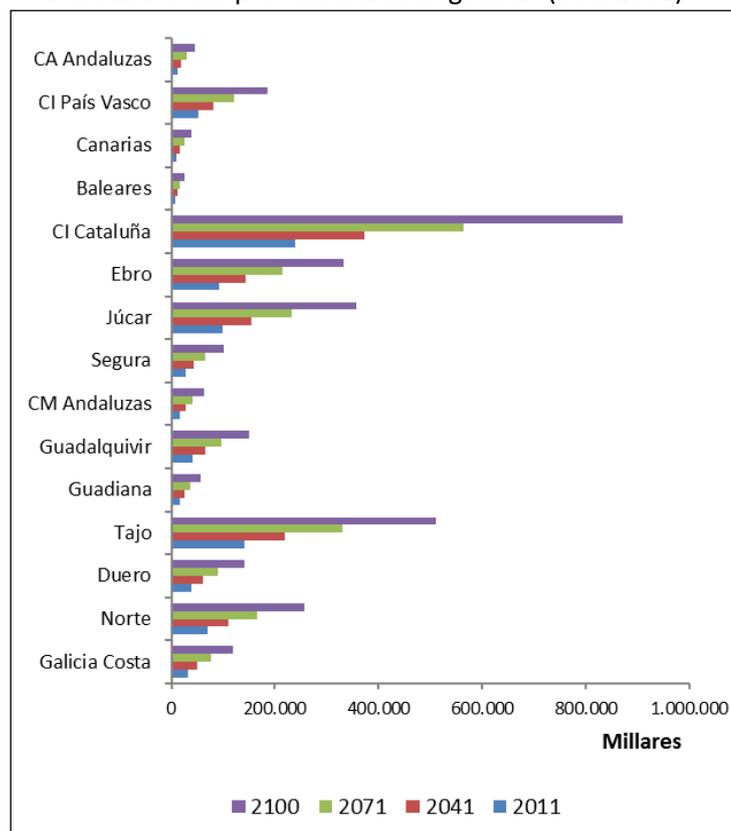
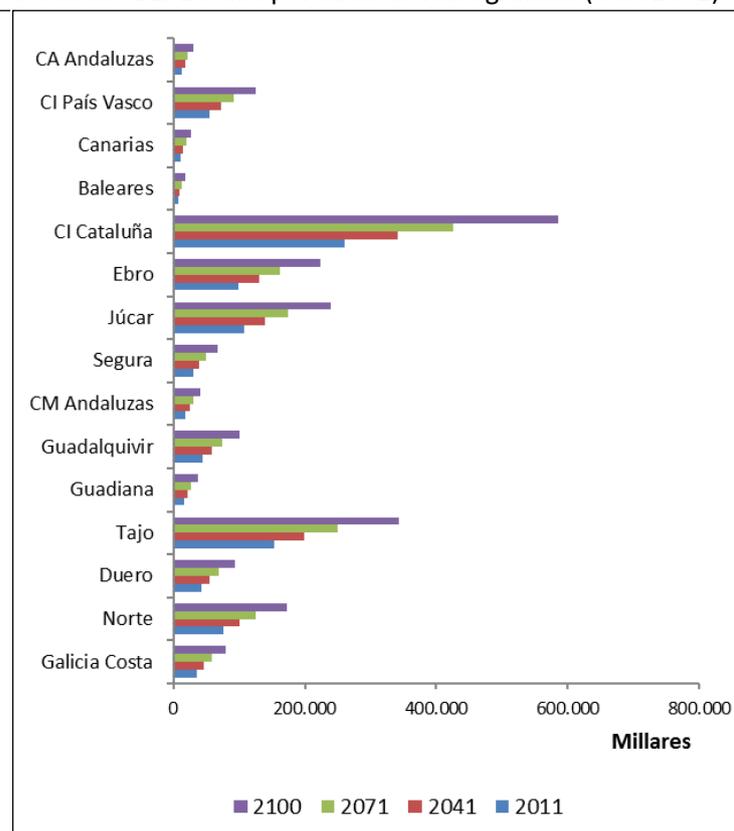


Gráfico 4.4. Volumen de agua demandada (miles de m³/año) escenario B2. Detalle por cuencas hidrográficas (CUA 2001)



Análisis de sensibilidad: actualización

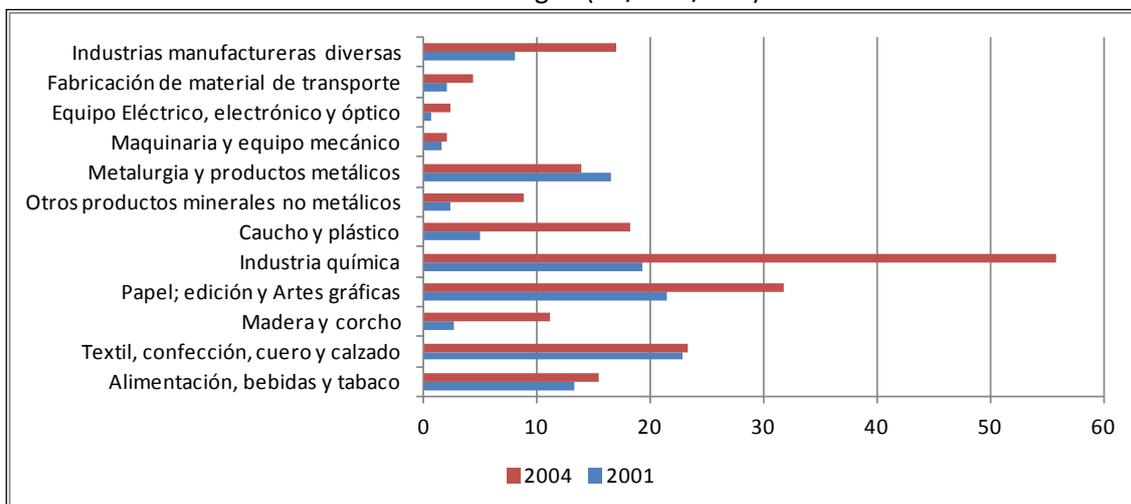
En 2008 el INE publicó las estadísticas e indicadores del recurso, incluyendo los coeficientes de uso del agua (CUA) en la industria para 2004, según enseñan la Tabla 4.6 y el Gráfico 4.7. En términos absolutos, el mayor incremento entre los años 2001 y 2004 tiene lugar en la Industria química (36,56 m³/10³€/Año, de 19,22 a 55,78 m³/10³€/Año) mientras que, en términos relativos, la subida más significativa se aprecia en Madera y corcho (335%, de 2,57 a 11,17 m³/10³€/Año). Nótese que la única caída aparece en Metalurgia y productos metálicos (16%, de 16,46 a 13,81 m³/10³€/Año).

Tabla 4.6. Coeficientes de uso del agua en la industria española revisados según cifras de uso de agua 2001 y 2004

		ALIMENTACIÓN, BEBIDAS Y TABACO	TEXTIL, CONFECCIÓN, CUERO Y CALZADO	MADERA Y CORCHO	PAPEL; EDICIÓN Y ARTES GRÁFICAS	INDUSTRIA QUÍMICA*	CAUCHO Y PLÁSTICO	OTROS PRODUCTOS MINERALES NO METÁLICOS	METALURGIA Y PRODUCTOS METÁLICOS	MAQUINARIA Y EQUIPO MECÁNICO	EQUIPO ELÉCTRICO, ELECTRÓNICO Y ÓPTICO	FABRICACIÓN DE MATERIAL DE TRANSPORTE	INDUSTRIAS MANUFACTURERAS DIVERSAS
COEFICIENTE DE USO DEL AGUA [M ³ /10 ³ €/AÑO]	2001	13,32	22,84	2,57	21,43	19,22	4,91	2,31	16,46	1,58	0,59	2,10	7,96
	2004	15,39	23,34	11,17	31,68	55,78	18,18	8,79	13,81	1,97	2,33	4,40	16,90

* La industria química no incluye refino y tratamiento de combustibles nucleares

Gráfico 4.5. Coeficientes de uso del agua (m³/10³€/Año): Año 2001 Vs. Año 2004



Estos nuevos CUA redistribuyen la demanda de agua entre sectores y resultan en una mayor demanda por parte de todos ellos (salvo en Metalurgia y productos no metálicos). Los vertidos y las cargas contaminantes vuelven a comportarse como las demandas: para el escenario A2, en 2011 adquieren un valor un poco inferior al del escenario B2, pero a partir de 2040 los valores del escenario A2 van superando a los del escenario B2, de modo creciente. Otra vez, por cuencas, las mayores presiones sobre el recurso en términos de demandas, vertidos y cargas contaminantes surgen en Cuencas Internas de Cataluña y Tajo. Después aparecen Ebro y Júcar. La Tabla 4.7 presenta el consolidado nacional de demandadas, vertidos, y cargas contaminantes derivados de los CUA de 2004, y relativos a un peso del 18% de la industria en

el conjunto de la economía española. Los datos detallados por cuencas pueden ser consultados en el Anexo 3 del respectivo capítulo.

Tabla 4.7. Presión de la industria sobre el recurso hídrico. Consolidado nacional (CUA 2004, Peso: 18%)

AÑO	CAPTACIÓN	VERTIDO	DBO	DQO	SS	NT	P	MP
	(m ³ /AÑO)							
2011	1.427.102.067	622.147.817	37.044.448	125.706.661	20.764.068	3.697.388	1.085.239	353.566
	1.559.963.903	680.069.183	40.493.251	137.409.831	22.697.183	4.041.611	1.186.273	386.483
2040	2.202.099.651	960.009.463	57.161.690	193.972.527	32.040.138	5.705.280	1.674.585	545.573
	2.020.005.289	880.625.086	52.434.919	177.932.698	29.390.699	5.233.503	1.536.111	500.459
2041	2.232.476.021	973.252.099	57.950.194	196.648.238	32.482.109	5.783.980	1.697.684	553.099
	2.035.008.771	887.165.882	52.824.376	179.254.283	29.608.997	5.272.375	1.547.521	504.176
2070	3.323.536.086	1.448.901.776	86.271.727	292.754.551	48.356.829	8.610.738	2.527.380	823.410
	2.519.402.091	1.098.338.056	65.398.167	221.922.196	36.656.830	6.527.358	1.915.877	624.185
2071	3.373.427.544	1.470.652.050	87.566.800	297.149.253	49.082.740	8.739.999	2.565.320	835.771
	2.547.013.783	1.110.375.425	66.114.906	224.354.379	37.058.575	6.598.896	1.936.874	631.026
2100	5.201.412.570	2.267.565.543	135.017.293	458.167.795	75.679.581	13.476.008	3.955.410	1.288.657
	3.497.296.285	1.524.652.860	90.782.162	308.060.264	50.885.007	9.060.922	2.659.516	866.460
	Escenario A2	Escenario B2						

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD: DESINDUSTRIALIZACIÓN

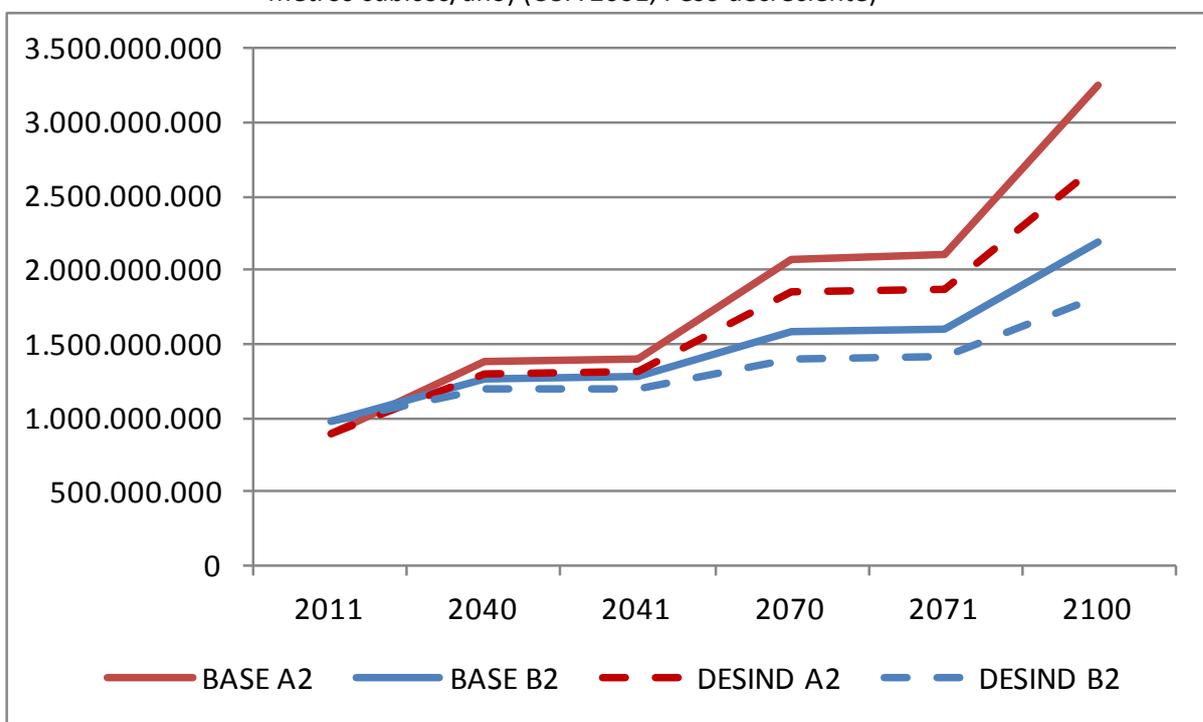
Se simuló la tendencia a la tercerización en la economía española reduciendo en un punto porcentual el peso del sector industrial en cada tramo: 2011-2040 finaliza con el 17%, 2041-2070 con el 16%, y 2071-2100 con el 15%, según recoge la Tabla 4.8, para el total nacional de demandadas, vertidos, y cargas contaminantes, ligados a los CUA del año 2001. El detalle por cuencas hidrográficas se halla disponible en el capítulo análogo (Anexo 4). De nuevo, el supuesto de invariabilidad de la estructura productiva, se refleja en la distribución de demandas, vertidos y cargas contaminantes por cuencas. Asimismo, los valores asociados al escenario A2 superan progresivamente a los del escenario B2.

Tabla 4.8. Presión de la industria sobre el recurso hídrico. Consolidado nacional (CUA 2001, Peso decreciente)

AÑO	CAPTACIÓN	VERTIDO	DBO	DQO	SS	NT	P	MP
	(m ³ /AÑO)							
PESO DE LA INDUSTRIA: INICIAL: 18% / FINAL: 17%								
2011	892.468.669	389.450.066	23.098.061	78.161.958	12.862.994	2.298.222	673.770	217.486
	975.556.650	425.707.494	25.248.468	85.438.763	14.060.526	2.512.185	736.496	237.732
2040	1.300.326.851	567.428.746	33.653.875	113.881.973	18.741.382	3.348.509	981.683	316.877
	1.193.072.586	520.625.779	30.878.018	104.488.700	17.195.545	3.072.316	900.709	290.739
PESO DE LA INDUSTRIA: INICIAL: 17% / FINAL: 16%								
2041	1.318.563.845	575.386.893	34.125.868	115.479.161	19.004.228	3.395.473	995.449	321.319
	1.201.934.070	524.492.700	31.107.362	105.264.784	17.323.264	3.095.136	907.399	292.898
2070	1.847.505.842	806.203.394	47.815.463	161.803.637	26.627.776	4.757.567	1.394.773	450.217
	1.400.499.336	611.141.406	36.246.448	122.655.031	20.185.150	3.606.467	1.057.306	341.286
PESO DE LA INDUSTRIA: INICIAL: 16% / FINAL: 15%								
2071	1.875.239.784	818.305.763	48.533.248	164.232.561	27.027.500	4.828.985	1.415.710	456.975
	1.415.848.279	617.839.215	36.643.695	123.999.283	20.406.372	3.645.993	1.068.893	345.027
2100	2.710.678.437	1.182.869.416	70.155.310	237.399.860	39.068.530	6.980.348	2.046.424	660.562
	1.822.590.594	795.331.029	47.170.629	159.621.572	26.268.677	4.693.407	1.375.963	444.145
	Escenario A2	Escenario B2						

La caída de sólo un 1% en el peso de la industria atenúa significativamente la presión sobre el recurso respecto al escenario base. Por ejemplo, para el tramo 2071-2100, la variación en la demanda es del 44,6% y el 28,7% para los escenarios A2 y B2, respectivamente, contra el 54.2% y el 37.3% para el escenario base. Este comportamiento se aprecia claramente en el Gráfico 4.8, para ambos escenarios.

Gráfico 4.6. Volumen de agua captada por actividades industriales. Total de España (miles de metros cúbicos/año) (CUA 2001, Peso decreciente)



REFERENCIAS

European Commission. (2015). *Eurostat*. Obtenido de European Statistics: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home>

INE. (2015a). *Contabilidad Nacional de España. Base 2010*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística: <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft35%2Fp008&file=inebase&L=0>

INE. (2015b). *Encuesta de Población Activa. Ocupados por sector económico, sexo y situación profesional*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística: <http://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=4138>

INE. (2015d). *Cuenta satélite del agua en España. Serie 2008-2010*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística.

Nakicenovic, N., & Swart, R. (2000). Special report on emissions scenarios. Special Report on Emissions Scenarios, Edited by Nebojsa Nakicenovic and Robert Swart, pp. 612. ISBN 0521804930. Cambridge, UK: Cambridge University Press, July 2000., 1.

Capítulo 5

Usos productivos del Agua: El impacto del cambio climático y las políticas de adaptación relacionadas con la gestión del agua sobre la agricultura

Introducción

La agricultura es el sector económico que más agua consume en España. Es por ello que los cambios en la disponibilidad de un factor de producción básico como es el agua, especialmente sensible a cambios en las condiciones climáticas y medioambientales, cabe esperar que condicionen el nivel de competencia y afecten a la distribución de las rentas del sector. Este hecho, tendría implicaciones distributivas, por lo que una reducción de los recursos hídricos disponibles como consecuencia del cambio climático podría aumentar la desigualdad en las rentas procedentes de la producción agraria. En este sentido, las políticas y herramientas para la asignación de los recursos hídricos tales como los sistemas de regadío poseen un papel central a la hora de modular estos impactos. Por todo esto, resulta de especial importancia considerar los impactos del cambio climático sobre la distribución de la renta a la hora de diseñar las políticas de adaptación al cambio climático y en particular en el sector agrícola dada su vinculación importante con el desarrollo rural.

La política agraria ha sido uno de los pilares de la UE. No en vano, el sector agrario está estrechamente relacionado tanto con el desarrollo rural como con la conservación de ecosistemas. Esta relación, bidireccional, implica que cambios en los sistemas agrarios pueden tener impactos climáticos y ambientales, así como que el cambio climático provoque cambios en los rendimientos del sistema agrario. El Mediterráneo, en particular, ha sido identificado como un área donde el sector agrario es especialmente vulnerable a las previsibles alteraciones climáticas.

Este capítulo comprende tres estudios diferenciados. El primero de ellos analiza los impactos de la sequía sobre la distribución de ingresos en las empresas agrícolas de varias cuencas hidrográficas españolas centrándose en cultivos de secano como los cereales, el viñedo y el olivar. Los dos estudios siguientes se centran en la cuenca del Ebro, donde analizan factores relacionados con las dotaciones de agua para el regadío y la importancia de los derechos de agua como potencial de adaptación.

Sección I: Efectos del cambio climático y la sequía sobre la distribución de los ingresos del sector agrario en España.

Introducción

Distintos modelos que estiman los efectos físicos del cambio climático predicen mayores impactos de las sequías en la mayor parte del área agroclimática mediterránea española. Previsiblemente, esto generará un impacto negativo sobre el sector agrario. Este estudio se centra en zonas rurales de las cuencas del Duero, Ebro, Guadalquivir, Guadiana y Tajo. Estas zonas, además de presentar una importante vulnerabilidad al potencial aumento de la incidencia de las sequías, fueron elegidas debido a que las ya presentes restricciones en los recursos hídricos suponen una fuente de conflictos socio-económicos en el sector agrario. La elección de los cultivos se realizó con la intención de lograr productos que resultaran significativos por su peso en esta región agroclimática. La tercera variable a tener en cuenta es la de las referencias climáticas tomadas. Para este estudio se eligieron los modelos A1B y E1 para abarcar el espectro de variaciones en los impactos del cambio climático. Cuatro modelos climáticos fueron tomados como referencia a la hora de obtener datos sobre las proyecciones climáticas para el periodo 2070-2100.

Para medir los impactos sobre la distribución, los cálculos se basaron en el coeficiente de Gini, y su descomposición por componentes, considerando el impacto del componente agua e incluyendo de esta manera el impacto de los distintos factores sobre los rendimientos económicos y su equidad. El índice de Gini es una medida de desigualdad basada en las curvas de Lorenz, que a su vez muestran la cantidad de renta controlada por cada percentil de la población. El modelo utilizado para los cálculos se basó en la función de producción de Olley y Pakes que permite tratar de forma correcta los factores de producción y evitar problemas de endogeneidad en la estimación.

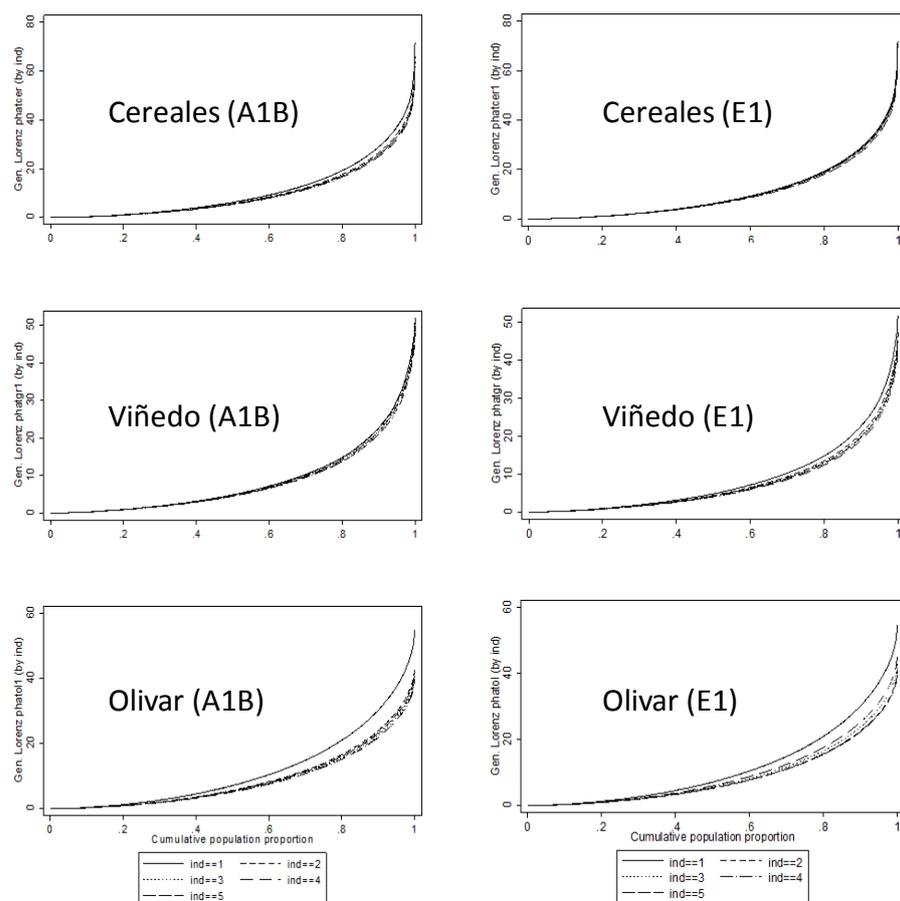
Principales resultados

Los resultados de las estimaciones sobre las elasticidades de los factores muestran que las mejoras en la gestión están directamente relacionadas con mejoras en la productividad. El tamaño de la explotación agraria no es significativo, lo cual implica que no existen diferencias en la productividad entre explotaciones de distinto tamaño. Los efectos de la disponibilidad de agua también operan sobre la productividad según cabría esperar, tanto el nivel de precipitaciones en régimen natural, como los eventos extremos como la sequía.

En el caso de las simulaciones realizadas a partir de las proyecciones climáticas obtenidas, se diferencian dos impactos: (i) los impactos de los cambios en la incidencia de las sequías sobre la productividad y (ii) los efectos generados en la distribución de las rentas agrarias. Los resultados de las simulaciones sitúan a los cultivos de olivos de la cuenca del Duero como los más vulnerables a las presiones hídricas derivadas del cambio climático (descenso del 40,51% en productividad). Los cereales, en cambio muestran una mejora en los niveles de rendimiento ante los cambios en las condiciones climáticas. Sin embargo, este último resultado puede estar condicionado por la presencia de sistemas de regadío, que permiten reducir los efectos nocivos de la sequía pero que podrían ser vulnerables por sí mismos a las sequías prolongadas y otras presiones climatológicas.

En cuanto a los efectos sobre la distribución de las rentas agrícolas en las zonas agrarias mediterráneas, los resultados de las simulaciones muestran impactos uniformemente negativos, aunque con valores comprendidos entre el 0 % y el -1 %. Es decir, que un incremento en la frecuencia de los episodios de sequía tal y como se espera por el cambio climático, afecta negativamente a la distribución de ingresos. Esta variación mide el efecto del cambio de la variable equivalente al paso de un año húmedo a uno seco sobre la distribución de la renta. Los cultivos de olivar de las cuencas de los ríos Duero, Tajo y Guadiana son los que presentarían mayores aumentos en la distribución de rentas, con valores de entre el -0,46 % y el -0,91 %. En el extremo contrario, los menores efectos sobre la distribución de las rentas agrarias se situarían en los cereales y viñedos del Guadalquivir, que presentarían cambios del -0,10% y -0,17 % respectivamente.

Una vez calculados los efectos sobre las rentas anuales es posible obtener la evolución de los ingresos bajo distintos escenarios climáticos, mediante las curvas de Lorenz, mostradas en la Figura 5.1. Las curvas de Lorenz en este caso son aplicadas a la renta recibida por cada una de las empresas del sector agrario según su percentil de ingresos. Se puede comprobar por los gráficos que los cambios en la distribución son de escasa magnitud. Sin embargo, estos cambios resultan negativos para todos los escenarios y cultivos, es decir, que es predecible un aumento de la desigualdad a lo largo del sector. Este aumento es mayor para el caso de los cultivos de olivar, tanto en el escenario A1B como en el E1. Salvo en el caso del viñedo, los impactos del escenario relacionado con mayores emisiones (A1B) generan un mayor aumento del nivel de desigualdad.



(1) Referencia, (2-5) Escenarios de cambio climático.

Figura 5.1. Curvas de Lorenz para los distintos escenarios de cambio climático correspondientes a las sendas de emisiones A1B y E1 en 2080. Fuente: Quiroga, Suárez (2016)

Conclusiones y recomendaciones

Los impactos generados por el cambio climático en la agricultura y en los modos de vida de los que están relacionados con este sector son potencialmente altos. Uno de ellos será el efecto del aumento de las sequías sobre la distribución de ingresos. Siendo el mundo rural a su vez vulnerable a estos cambios en los ingresos, esta tendencia puede suponer una fuente de conflictividad en distintas áreas del territorio español. Si bien la escasa magnitud relativa de los efectos y la posible incorporación de mecanismos que reduzcan este efecto pueden ayudar a reducir los potenciales efectos perniciosos sobre el bienestar socio-económico de la zona.

Sección II: Políticas de gestión del agua en respuesta al riesgo climático.

Introducción

Los mecanismos utilizados para reducir los efectos de la presión hídrica a la que se ve sometida una buena parte de la agricultura española son variados. Los gobiernos y entes públicos responsables de mantener sistemas hídricos bajo presión afrontan costes con tendencia creciente. Esta sección está dedicada a las políticas de gestión del agua, en términos tanto de evolución de la competitividad o eficiencia de la producción como de nuevo en la distribución general de la producción o los ingresos.

La aparición de nuevos problemas relacionados con el agua hace que sean necesarios nuevos enfoques capaces de vincular características físicas y biológicas con la dimensión económica y social. La agricultura aparece de nuevo como un sector en el que estos factores entran en juego con papeles de primera importancia, al ser la actividad con mayor impacto sobre la sostenibilidad de los ecosistemas, siendo una de las razones de esto su gran demanda de agua.

Se estima que, dentro de la cuenca del Ebro, la irrigación supone cerca de un 90% de la demanda total de recursos hídricos, frente al 80% a nivel nacional (Informe COAGRET, 2007; Gómez-Limón et al., 2002). El Plan Nacional de Regadíos (PNR 2001), prevé un aumento del 44% en el área correspondiente a la agricultura de irrigación, pasando de las 805.012 hectáreas a algo más de 1.110.000 ha. Las Comunidades Autónomas (CCAA) que más incrementan sus tierras de regadío son las de Aragón y Cataluña.

La cuenca del río Ebro es la más extensa de la península Ibérica, ocupando 85.362 km², la mayor parte de ellos (84.415 km²) en España. La mayor parte del área está situada en zonas de clima continentalizado, salvo por partes del área norte influidas por el clima oceánico. La variabilidad de temperaturas es alta en la mayor parte de la cuenca. La cuenca se divide entre nueve CCAA (Aragón, Cantabria, Castilla y León, Castilla-La Mancha, Cataluña, Comunidad Valenciana, Comunidad de Navarra, el País Vasco y la Rioja), si bien algunas de ellas apenas cuentan con agricultura de irrigación coincidente con el área de la cuenca.

Este estudio se centra en los cultivos de alfalfa, arroz, cebada, trigo, maíz y viñedo. Para obtener valores sobre las presiones hídricas y la demanda de irrigación se analizaron tanto la cantidad de agua requerida por los cultivos del estudio como la cantidad que les fue suministrada. Para analizar la producción se tomaron variables como el rendimiento medido en toneladas por ha, el valor añadido bruto (VAB), empleo e índice de precios.

Principales resultados

De los seis cultivos analizados solo maíz y alfalfa son considerados de regadío (cuentan respectivamente con que el 94,1 % y 78 % de la extensión que ocupan estos cultivos es irrigada). Una de las primeras observaciones a hacer es que para los cultivos de regadío, la relación entre rendimiento y las necesidades hídricas de los cultivos es positiva. Las estimaciones realizadas por los métodos de mínimos cuadrados ordinarios y de panel por efectos fijos y aleatorios muestran resultados acordes con la intuición, como el impacto positivo pero no lineal (muestra concavidad) del riego para los cultivos de alfalfa, cebada, maíz y trigo.

Para obtener la función de ganancias se estimó el logaritmo del valor añadido bruto como función del rendimiento de algunos cultivos, considerando los cultivos representativos del área, incluyendo en la regresión solo aquellos que mostraban impactos significativos (alfalfa, maíz, patata y trigo). Un análisis con enfoque exclusivo en la productividad que no tuviera en cuenta el coste del agua virtual, sino que se centrara en el impacto sobre el VAB agrícola de la región se inclinaría hacia la producción de trigo y maíz.

A través del análisis Montecarlo para el estudio del riesgo climático se simularon las funciones de distribución acumulativa que se muestran en la Figura 5.2.

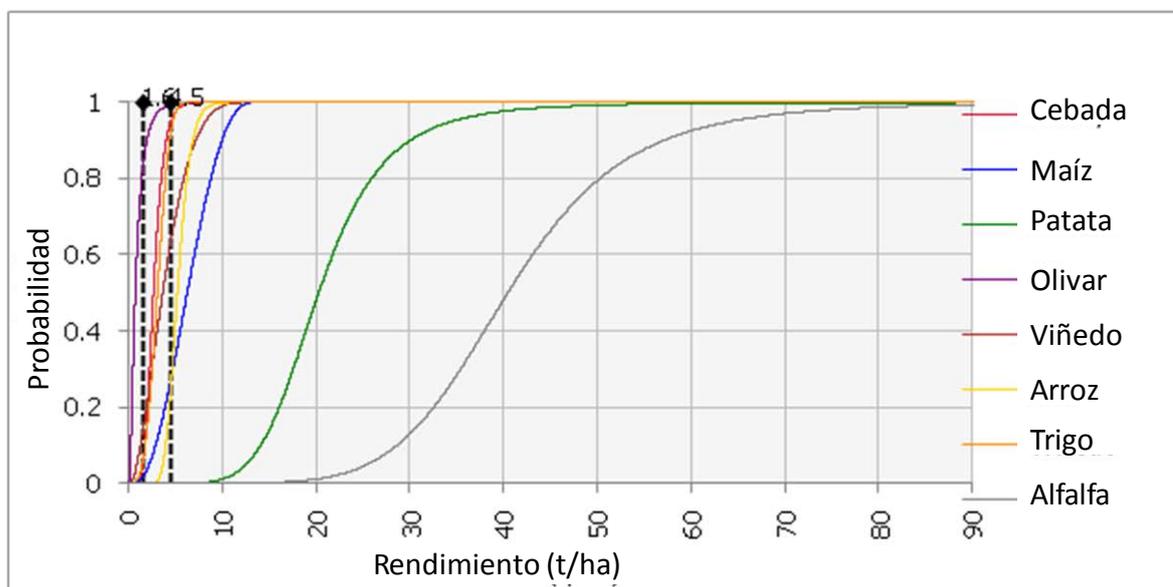


Figura 5.2. Funciones de distribución acumulativa simuladas por cultivos

Además se muestran las siguientes conclusiones: El coeficiente de asimetría (CS) evalúa la proximidad de los datos a su media, en este caso se muestra mayor a 1 para las patatas, el olivar, la alfalfa y la cebada, por lo tanto estos cultivos tienen una alta probabilidad de lograr

resultados en rendimiento por encima a la media. En general $CS > 0$ indica que no hay una alta probabilidad de bajos rendimientos. El trigo, el viñedo y el maíz tienen un coeficiente de curtosis menor a 3, lo que implica una menor probabilidad de valores extremos. El resto de cultivos presentan más riesgo.

Conclusiones y recomendaciones

El cuadro 5.1 resume una aproximación de las posibles oportunidades y barreras para la adaptación en la agricultura considerando la diversificación de cultivos como medida. Las celdas en verde muestran oportunidades de adaptación, mientras que las celdas en rojo muestran los mayores riesgos. Dichas barreras y oportunidades se determinaron como las colas de la distribución del ranking analizado. Se puede observar que el trigo representa una oportunidad clara de adaptación en la zona por reducciones de regadío, mientras que la alfalfa parece claramente un cultivo preocupante en términos de necesidades de agua.

Cuadro 5.1. Resumen de oportunidades y barreras para la implementación de estrategias de adaptación

Cultivo	Rendimiento (medio)			Impacto en el VAB de la agricultura			Riesgo (Curtosis) ¹⁰			Pérdida dada una reducción de 30% en área de regadío		
	R	C	V	R	C	V	R	C	V	R	C	V
Alfalfa	1	Alto	42	3	Bajo	4%	2	Alto	10	1	Alto	-16
Cebada	7	Bajo	2.8			(*)	4	Med	5			(*)
Viñedo	5	Med	4			(*)	6	Med	3	4	Bajo	-4
Maíz	3	Med	6	2	Alto	11%	8	Bajo	2	2	Alto	-14
Olivar	8	Bajo	1			(*)	3	Med	8	5	Med	-7
Patata	2	Alto	22	4	Bajo	2%	1	Alto	29	3	Med	-12
Arroz	4	Med	5			(*)	5	Med	4			(*)
Trigo	6	Med	3	1	Alto	20%	7	Bajo	3	6	Bajo	-2

(*) No relevante. Celdas en verde muestran oportunidades de adaptación, celdas en rojo muestran los mayores riesgos. R= Ranking en el orden, C= Clasificación cualitativa, V=Valor cuantitativo.

Sección III: Impactos sobre la eficiencia técnica de los cultivos y las disparidades en la producción de una reducción del área de regadío y las dotaciones para la agricultura.

Evidencia para la cuenca del Ebro

Introducción

Esta sección se centra en las respuestas de los cultivos ante las presiones hídricas tratadas en el presente capítulo, concretamente, en el análisis de la respuesta de éstos a una reducción del área de regadío y las dotaciones para la agricultura. Tal como en la sección anterior, el análisis está centrado en la cuenca del Ebro, zona en la que no existen por el momento restricciones explícitas para la definición de las áreas de irrigación. Existen, sin embargo, grandes conflictos socio-económicos en el debate sobre la posibilidad de transferir agua a otras cuencas con mayor presión hídrica.

Prioridad a la adaptación de los cultivos a las presiones hídricas enfocadas a los incentivos por la eficiencia del agua (Gómez-Limón et al., 2002) o a los instrumentos de precios del agua (Manos et al., 2006). Sin embargo, un instrumento importante de posible adaptación en la gestión de cuencas por parte de las autoridades es la gestión de los derechos de regadío. Las restricciones en las dotaciones de agua y en el área a irrigar son en este sentido dos de los mecanismos propuestos para hacer frente a las presiones hídricas. Como se ha analizado anteriormente, las restricciones a corto plazo en cultivos como los cereales pueden no tener efectos negativos sobre los niveles de producción.

El análisis de la presente sección pretende estudiar los efectos de las reducciones de la demanda de agua en el sector de la agricultura centrándose en dos aspectos principales. El primer análisis emplea la función de producción de frontera estocástica con el fin de estudiar los cambios en la eficiencia de sistemas agrícolas. El segundo objetivo es el de explorar la distribución de los ingresos computando los efectos marginales de cambios en el área regada sobre la distribución, usando como en la sección anterior una descomposición del coeficiente de Gini estándar.

Principales resultados

Los resultados del análisis econométrico no ofrecen grandes variaciones sobre las expectativas iniciales. El resultado referido a mano de obra agrícola, la cual muestra un impacto negativo y significativo en la producción de maíz, vid y alfalfa, puede considerarse como un resultado contrario a lo expresado en otros estudios. El posible motivo de este resultado puede encontrarse, entre otras cuestiones, en la definición de la variable, macro en este caso; a que

los aumentos en la productividad propician aumentos en el producto combinados con el descenso en la mano de obra; que exista un exceso de mano de obra contratada; o que se esté dando un problema de desempleo camuflado debido a la naturaleza familiar de la explotación agraria.

Según se observa en la Figura 5.3, los niveles de eficiencia técnica varían según los tipos de cultivo y las provincias estudiadas. La eficiencia técnica promedio en la cuenca es 85% para el trigo, el 91% para la alfalfa, 87% para la vid, 89% para el maíz y 86% para la cebada en relación con el potencial de producción de cultivos.

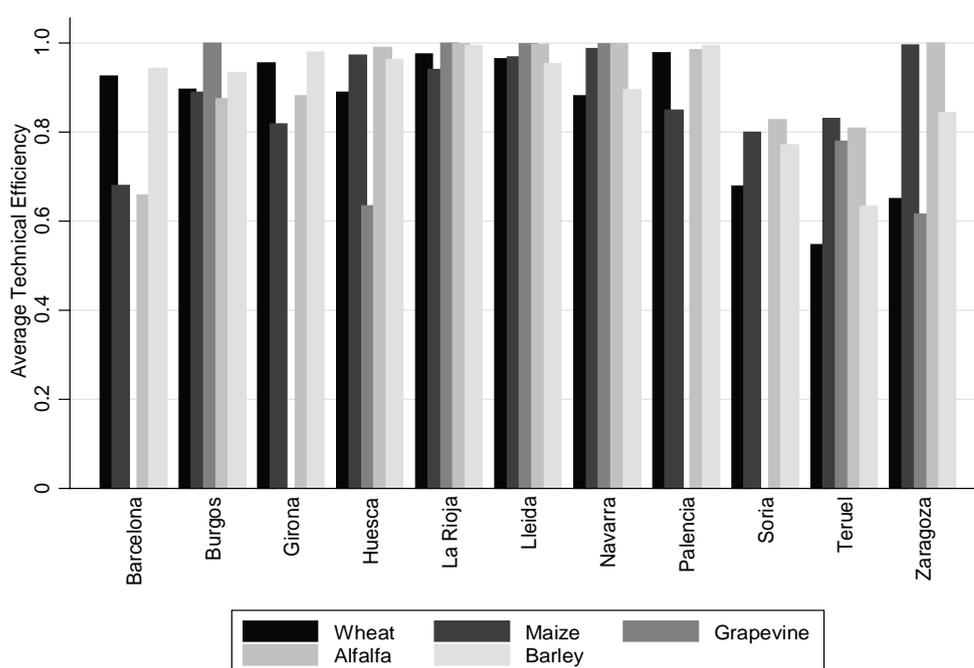


Figura 5.3. Predicción de eficiencia técnica promedio por cultivo y región.

Al estudiar los efectos de los cambios en el área de regadío sobre la distribución de la renta expresada mediante el coeficiente de Gini, se observa que el aumento del área irrigada está relacionado con una mayor concentración de las rentas agrarias. Es decir, restricciones en el área a irrigar pueden tener efectos nocivos sobre la distribución de las rentas en áreas rurales. Los resultados son significativos en el caso del trigo (-0,017%), maíz (-0,037%) y cebada (-0,019%). Para vid y alfalfa los efectos no son significativos al 95% de confianza.

Conclusiones y recomendaciones

Las presiones hídricas a las que se verá sometida buena parte del territorio español debido a los efectos del cambio climático serán una fuente potencial de conflictividad. La necesidad de

reducir la disponibilidad de agua en la agricultura resultará fundamental en este aumento. Estas medidas de reducción del terreno irrigable serán responsables de caídas en la productividad y de distribuciones menos equitativas de las rentas rurales. Por ello es necesario tener en cuenta estos posibles perjuicios a la hora de implementar tales medidas, para así minimizar los impactos negativos y evitar un aumento de la vulnerabilidad socio-económica de la zona.

Para obtener una mejor perspectiva de la cuestión, resultaría útil comprender mejor las implicaciones de distintos tipos de políticas de agua que pueden servir como alternativa siendo capaces de garantizar la sostenibilidad en el sector agrícola. Entre ellas se consideran la mejora de la investigación sobre las variedades de cultivos resistentes a la sequía, la creación de incentivos para la expansión de la irrigación por goteo, la limitación de las subvenciones a cultivos de secano, o políticas de precios; que son solo algunas de las medidas que pueden ser contempladas.

Conclusiones generales

Los tres estudios presentados en el capítulo alertan de perjuicios socioeconómicos derivados del aumento de la presión hídrica en distintas regiones agrarias españolas, existiendo, sin embargo, ciertas diferencias y peculiaridades dependiendo de zonas y cultivos. El cultivo del olivo será uno de los más afectados debido, principalmente, a su distribución geográfica. Los cereales sufrirán niveles desiguales de presión, siendo las cuencas con mayor estrés hídrico (Tajo, Guadalquivir, Segura) las menos capaces de adaptar este cultivo. El viñedo muestra una mayor capacidad para adaptarse a las situaciones más secas, aunque existen ciertas limitaciones en el estudio de este cultivo.

Se puede señalar, asimismo, que se aprecian diferencias entre los resultados obtenidos en función de las metodologías aplicadas, en concreto, entre las metodologías que miden las funciones de producción en términos físicos y las que se basan en medidas de unidades monetarias. En el primer caso, los impactos mostrados son elevados y pueden alcanzar más del 40% de la producción, mientras que en los casos en que el estudio ha estimado los cambios en unidades monetarias se han observado menores impactos sobre la producción. La razón que se puede indicar como responsable de esta diferencia es el efecto de los precios como mecanismo paliativo, compensando parte de las pérdidas en la producción física. Este caso implicaría una transferencia de los perjuicios a los consumidores, de forma que los impactos se distribuirían a lo largo de la sociedad en lugar de concentrarse en el sector agrario.

Sin embargo, sí que se puede hablar de deterioros en el bienestar del sector agrario debido a los cambios en la distribución de las rentas generados por el cambio climático. La distribución menos equitativa de las rentas es un resultado a tener en cuenta a la hora de diseñar mecanismos que traten de paliar los efectos físicos de los cambios en el clima.

También se analizaron los impactos de las potenciales políticas de adaptación destinadas a reducir la demanda de agua en el sector agrario. Según los resultados del análisis, el efecto de tales herramientas puede no tener impactos dramáticos sobre la producción agraria dependiendo de los tipos de cultivos. Sin embargo, el análisis a largo plazo señala la existencia de impactos indirectos sobre la eficiencia y, por tanto, sobre la competitividad puede ser importante. A ello habría que sumar el impacto sobre la distribución de las rentas agrarias antes mencionada.

Estos resultados señalan la necesidad de tener en cuenta diversos aspectos socio-económicos a la hora de diseñar políticas de adaptación en el sector de la agricultura, sector estrechamente vinculado tanto al desarrollo rural como a la conservación de ecosistemas.

Referencias

COAGRET (2007): Criterios sobre las líneas de demandas futuras de agua 2008–2025 en la Cuenca Hidrográfica del Ebro, Esquema De Temas Importantes: Plan Hidrológico 2007. Association of people affected by big reservoirs. Report 2007.

Gómez-Limón, J.A.; Arriaza, M.; Berbel, J. Conflicting implementation of agricultural and water policies in irrigated areas in the EU. *J. Agric. Econ.* 2002, 53, 259–281.

Manos, B.; Bournaris, T.; Kamruzzaman, M.; Begum, A.A.; Papathanasiou, J. Regional impact of irrigation water pricing in Greece under alternative scenarios of European policy: A multicriteria analysis. *Reg. Stud.* 2006, 40, 1055–1068.

Petrick M.; Kloss M. Synthesis Report on the Impact of Capital Use. Factor Markets Working Papers. 2013, 169, Centre for European Policy Studies.

Quiroga S., Suárez C. (2016). Climate change and water scarcity effects on the rural income distribution in the Mediterranean: A case study for Spain. *Natural Hazards and Earth System Science*. (Special Issue on Climate change, extreme events and hazards in the Mediterranean region), 16, 1–17.

Capítulo 6

Aportaciones de la economía a la gestión del riesgo por inundación

Introducción

Pese a la relación directa entre las condiciones climáticas y el riesgo de inundación, éste se extiende a lo largo de distintas zonas climáticas, causando importantes daños en regiones de características distintas. En el caso del territorio español, las inundaciones se encuentran entre los fenómenos medioambientales que mayores costes generan, siendo la principal fuente de costes para las aseguradoras. El urbanismo y el desarrollo de las estructuras económicas han hecho de las zonas ribereñas áreas de gran concentración de bienes y personas y, con ello, áreas especialmente vulnerables.

Por otra parte, se estima que los daños causados por inundaciones en el territorio español crezcan durante los próximos años por influencia del cambio climático. Este aumento del riesgo viene explicado por el aumento de las temperaturas, que por una parte aumentarán la capacidad de carga de agua en la atmósfera y por otra reducirá la permeabilidad del suelo. La evolución de las condiciones climáticas también irá acompañada de cambios en las condiciones socioeconómicas y demográficas.

La evolución de la normativa se ha dado en cierta medida por la sucesión de eventos de este tipo. Iniciativas locales y regionales se fueron sucediendo durante el siglo XX en zonas afectadas por importantes riadas como las de mediados de siglo en el área Levantina y en los años 80 en el País Vasco. A principios del siglo presente, las autoridades de la Unión Europea asumieron parte de la iniciativa legislativa en torno a la protección de personas y bienes frente al riesgo de inundación, creando un marco de evaluación y gestión de riesgos capaz de reducir los efectos de estos episodios. La transposición de la normativa europea al marco jurídico español se realizó a través del Real Decreto de evaluación y gestión de riesgos de inundación (BOE, 2010).

Una definición relevante es la del riesgo tal y como se emplea en el contexto de este capítulo. La propia Directiva europea (EC, 2007), define el riesgo como la conjunción de la probabilidad de que se dé un evento, en este caso una inundación, y de los potenciales daños o consecuencias negativas de éste. Estos daños pueden darse sobre la salud humana, medio ambiente, patrimonio cultural o la actividad económica. Una buena parte de los estudios dedicados al análisis de los riesgos de inundación utilizan definiciones en la práctica idénticas o derivadas de ésta.

Volviendo al impacto de los cambios en las condiciones climáticas sobre el riesgo de inundación una de las cuestiones que debe considerarse es la de la incertidumbre. La incertidumbre climática tiene implicaciones de primer nivel en asuntos tan importantes como la planificación urbanística, el desarrollo económico y el bienestar social. En general el estudio de eventos extremos resulta complejo debido a su reducida frecuencia, lo cual dificulta un análisis exhaustivo de éstos (Ayala-Carcedo, 2002). Aun consiguiendo una noción estadística completa de la frecuencia con la que ocurren determinados eventos, la irregularidad con la que acontecen acrecienta la incertidumbre y afecta a la capacidad de reacción.

El primer objetivo de este capítulo es el de, a través de una serie de estudios realizados a nivel español, ofrecer una síntesis del proceso de evaluación de riesgos de inundación. En segundo

lugar, se pretende resumir los resultados de los estudios para ofrecer una visión general del orden de magnitud de los impactos esperados.

Para ello el presente capítulo ofrecerá, tras esta introducción, un resumen del marco teórico empleado por los estudios tratados. Seguidamente, se resumirán los principales resultados obtenidos en estos estudios. Se tratará de manera específica el análisis de los riesgos relacionados con los impactos ambientales de las propias inundaciones. Finalmente se debatirán las posibles extensiones y las conclusiones generales.

Marco teórico

Vulnerabilidad, daños y Riesgo

En primer lugar, es necesario definir los tipos de daño potencial a ser analizados. Se pueden distinguir cuatro tipos de daño (Balbi et al., 2013; Foudi y Osés, 2014):

- **Daño directo y tangible:** Daños causados de forma directa por el evento, en este caso la inundación, que pueden ser expresados en valores monetarios a través de mecanismos convencionales de mercado. Estos daños incluyen los perjuicios en propiedades, costes sanitarios y de evacuación, o también daños en las infraestructuras.
- **Daño directo e intangible:** Son daños causados de manera directa producidos en bienes que no son intercambiados habitualmente en el mercado. Por ello precisan de mecanismos de valoración alternativos. Los más recalables de entre estos daños son las muertes, lesiones y otros perjuicios a la salud, así como la pérdida de objetos de valor sentimental y daños al patrimonio cultural.
- **Daño indirecto y tangible:** La distinción entre daños directos e indirectos es objeto de debate. Consideraciones temporales, espaciales y sectoriales pueden ser tenidas en cuenta a la hora de trazar la frontera. La definición genérica dada por Foudi y Osés (2014) hablaría de daños causados a distintas escalas. Este punto abarca los daños que, además de esta característica, sean monetizables. Los costes derivados del corte en transportes y telecomunicaciones entrarían en este apartado, así como la interrupción del suministro de bienes intermedios o costes derivados de la evacuación de aquellos que no han sido evacuados durante el evento mismo y el realojo de vecinos de las áreas afectadas.
- **Daño indirecto e intangible:** Entre los daños que no son ni directos ni monetizables se incluyen perjuicios tales como los efectos psicológicos, la pérdida de confianza en autoridades o el miedo a eventos similares.

El cálculo del riesgo se realiza a partir de una combinación de datos previamente identificados. En primer lugar, es necesario calcular la amenaza creada por los eventos que se desean analizar. La amenaza viene determinada por las características de la inundación condicionadas por cada tipo de evento (crecida de río, marea viva, aumento del nivel del mar, etc.) y su nivel. Entre estas características se encuentran la profundidad del agua, velocidad de ésta o la cantidad de escombros que arrastre. Las características de las inundaciones se encuentran relacionadas con su frecuencia, de modo que las que más potencia generan son menos frecuentes y viceversa. La probabilidad de que se dé un evento (p_r) es la fracción inversa del

periodo de retorno (t_r), es decir, del periodo medio transcurrido entre dos eventos de escala similar.

Una vez conocidas las características de las inundaciones es necesario estimar la exposición de personas y bienes relativos a cada evento. Las inundaciones más fuertes abarcan un mayor espacio (la denominada mancha de inundación), por lo que aparecen más individuos y bienes expuestos. También deben ser tenidos en cuenta potenciales daños ambientales, cese de servicios etc., es decir, todo el arco de posibles daños descritos en párrafos anteriores. Al estar vinculados distintos niveles de exposición a eventos de intensidad específica, éstos pueden ser vinculados a frecuencias e, inversamente, a probabilidades.

Una vez conocida la amenaza y la exposición es posible estimar la vulnerabilidad de la zona. Ésta depende de la posibilidad de que los elementos expuestos a un suceso extremo resulten dañados. Además de las características de la amenaza y de la exposición, la vulnerabilidad depende de las características socioeconómicas del entorno.

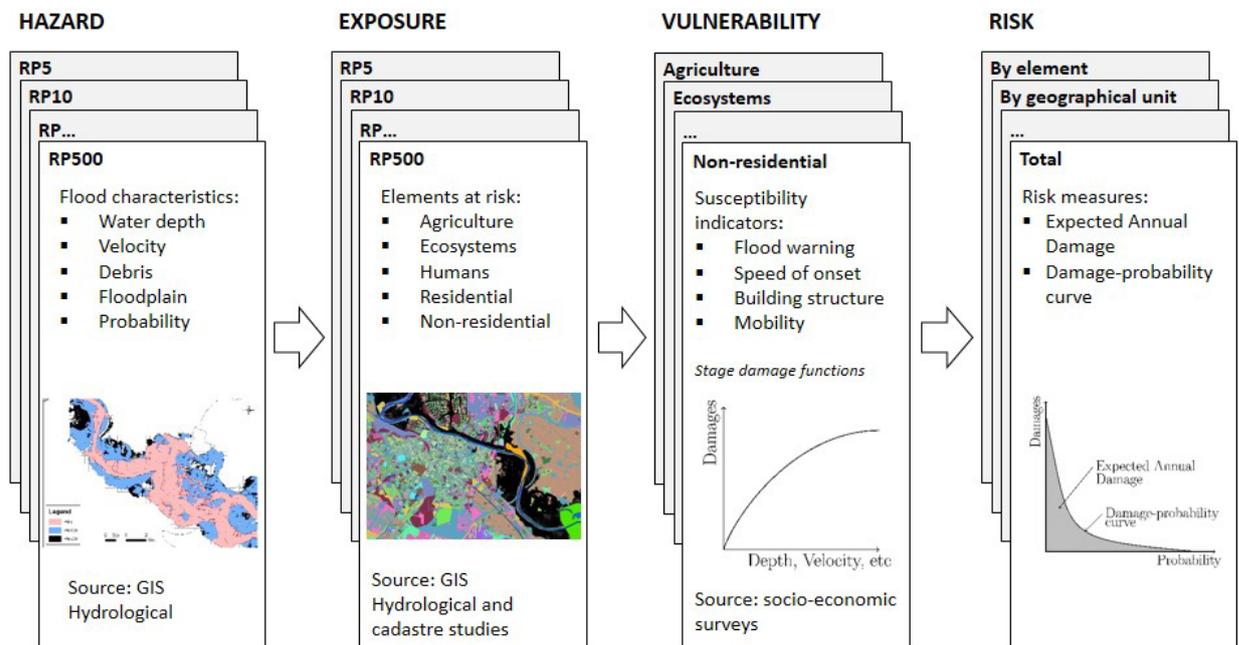


Figura 6.1: Proceso de estimación del riesgo. Fuente: Foudi et al., 2015

Tras obtener los distintos elementos que lo componen, es posible calcular el riesgo. Hasta este punto se puede calcular la probabilidad de un evento dado y la serie de bienes que resultarían dañados o perdidos si se diera. La combinación de estos dos elementos nos da la noción de riesgo. Situar gráficamente la relación daño-probabilidad genera una curva de relación inversa como se puede ver en el cuarto apartado de la figura 6.1. El daño anual esperado es la suma de los daños causados por los eventos y se puede expresar a través de la expresión:

$$E(x) = \int_0^1 x(p_r) dp_r$$

O lo que es lo mismo, el área bajo la curva de daño-probabilidad.

Incertidumbres, costes y beneficios

Existen dos consideraciones a tener en cuenta. En primer lugar, es que, al tratarse de costes anuales esperados, se trata de una medida que se perpetúa a lo largo de los años. Por tanto, no se debe tener en cuenta solo el riesgo del año presente, sino también incorporar los riesgos futuros. El hecho de que se dé mayor importancia a los valores presentes (ya sean ganancias, o, como en este caso, costes) nos obliga a utilizar tasas de descuento o interés (r_t) para corregir el desfase temporal en los valores. Aplicando la fórmula

$$VP_t = \frac{E(x)_t}{(1 + r_t)^t}$$

Podemos conocer el valor actual de los costes esperados en el periodo t . La suma de los valores presentes de los costes esperados para un periodo T puede definirse a través de la fórmula

$$VP_T = \sum_{t=1}^T \frac{E(x)_t}{(1 + r_t)^t}$$

El cálculo de la tasa de descuento idónea es objeto de debate. Tasas altas de descuento se relacionan con valoraciones bajas de los costes y beneficios futuros, es decir, con planteamientos más cortoplacistas, mientras que valores bajos de r darían una importancia semejante a la actual a los valores futuros. Se trata por tanto no sólo de una cuestión puramente económica, sino filosófica y psicológica. La importancia de este valor se da en el hecho de que, para periodos largos, pequeñas variaciones pueden implicar grandes desviaciones entre valores.

Análisis de los impactos sobre el medio ambiente

Los impactos ambientales son a menudo un ejemplo de daños intangibles, ya que los bienes y servicios que estos prestan, los llamados servicios de los ecosistemas (ES), no son a menudo intercambiados en los mercados, y por tanto no pueden ser asociados a un coste monetario específico por las vías habituales. Una consideración importante es que, al contrario que en el caso de los sistemas humanos, los potenciales beneficios de las inundaciones sobre los sistemas naturales son dignos de atención. Las inundaciones son procesos naturales para muchos ecosistemas fluviales, en ocasiones necesarios para su regulación. Estos han de ser tenidos en cuenta junto a los efectos nocivos y aquellos de impacto ambiguo (Balbi et al., 2013).

A la hora de cuantificar los impactos ambientales es necesario incorporar técnicas de evaluación distintas a las habituales. Éstas pueden agruparse entre aquellas que asumen la existencia de mercados secundarios que ayudan a revelar las preferencias de los usuarios y las que carecen de una fundamentación basada en precios de mercado (Balbi et al., 2013). A continuación se describirán las más importantes:

- **Costes de reparación y restauración:** Este método equipara el valor de los daños sobre un ecosistema a los costes de restaurarlo y recuperarlo.
- **Gastos preventivos:** De manera similar al sistema anterior, equipara el valor de los daños al coste de protegerlos.

- **Costes de viaje:** Estudia los costes de viaje en los que incurren los visitantes de un determinado entorno natural para estimar el valor que la sociedad otorga al ecosistema.
- **Precios hedónicos:** Emplea herramientas econométricas para calcular lo que los individuos están dispuestos a pagar de más por bienes y servicios mercantilizados con relación al ecosistema a evaluar.
- **Evaluación contingente:** Evalúa la disposición a pagar (o, alternativamente, la disposición a aceptar compensación) declarada por individuos para estimar el valor que se otorga a un bien o servicio.
- **Rendimientos económicos directos:** En determinados casos existen rendimientos económicos de un ecosistema que sí son intercambiados en mercados convencionales y por tanto son evaluables por métodos tradicionales.
- **Valoración a través de experimentos:** Finalmente, es posible recurrir a la economía experimental para observar las valoraciones dadas por los individuos a los distintos entornos.

Resultados generales de los casos de estudio

Río Urola

El primero de los estudios analizados (Osés, 2009) analiza la cuenca del río guipuzcoano Urola. La cuenca de este río se extiende a lo largo de 337 km² e incluye las localidades de Legazpi, Zumarraga, Urretxu, Azkoitia, Azpeitia, Zestoa y Zumaia. Es en los cascos urbanos de estas localidades en los que se restringe el ámbito de estudio.

El estudio analiza los daños potenciales agrupándolos en cuatro tipos: daños directos en la propiedad; Impactos indirectos en la propiedad; perjuicios sobre la salud; y otros daños. El estudio parte de la estimación de los daños de potenciales avenidas teniendo en cuenta las condiciones socioeconómicas y climáticas presentes. A partir de ahí, se genera un escenario base o referencia. Bajo este escenario, los daños esperados se reparten de distinta manera entre los municipios, que no solo difieren en los daños anuales esperados sino también en la distribución de los daños causados por cada tipo de evento.

El análisis continúa con el estudio del escenario base proyectado. Este escenario incluye cambios socioeconómicos y demográficos, pero mantiene las condiciones climáticas y por tanto las características físicas de cada tipo de avenida constantes. Utilizando el año 2080 como horizonte temporal, para el estudio se emplearon los términos medios de la evolución esperada de variables como población, vivienda o actividades económicas. El aumento del riesgo por inundación con respecto al escenario base es del 2,73% para la cuenca hidrológica en su conjunto. Por municipios los datos varían también, pasando de valores inferiores al 1,5% en Legazpi, Zestoa o Azkoitia hasta el 5% de aumento en Urretxu y Zumaia.

El tercero de los escenarios introduce, además de los cambios en las tendencias socioeconómicas y demográficas, variaciones en las características de las avenidas como consecuencia del cambio climático. Para la creación de este escenario, la referencia toma da por Osés (2009) calcula el aumento de la probabilidad de sucesos extremos en un margen de entre un 2,5% y un 5% (Palmer y Räisänen, 2002; Milly et al., 2002). El aumento del riesgo asociado a este escenario es notablemente mayor que en el caso anterior, llegando a doblar

los daños asociados en el escenario base en municipios como Urretxu y Zestoa. En promedio, el aumento del riesgo en la cuenca alcanzaría el 68%.

Tabla 6.1: Daño anual esperado y su variación en distintos escenarios y municipios (Euros 2005).

		Escenario Base	Escenario-Base Proyectado	Escenario climático
Legazpi	Daño anual esperado	12.535	12.557	20.771
	Variación	-	0,17%	65,41%
Urretxu	Daño anual esperado	5.649	5.932	12.152
	Variación	-	5,00%	104,85%
Zumarraga	Daño anual esperado	5.705	6.110	7.600
	Variación	-	7,09%	24,39%
Azpeitia	Daño anual esperado	18.549	18.563	22.994
	Variación	-	0,07%	23,87%
Azkoitia	Daño anual esperado	12.082	12.523	20.490
	Variación	-	3,65%	63,62%
Zestoa	Daño anual esperado	13.575	13.592	29.057
	Variación	-	0,12%	113,79%
Zumaia	Daño anual esperado	15.234	16.327	26.930
	Variación	-	7,17%	64,94%

Fuente: Osés (2009).

Amurrio

Galarraga et al. (2011) estudian el caso del río Nervión a su paso por Amurrio (Álava). Se trata de un municipio de poco más de 10 000 habitantes repartidos en nueve núcleos poblacionales cercanos al caudal estudiado.

El estudio considera tres niveles de inundación: avenidas de retorno de 50, 100 y 500 años. En este caso los daños se clasifican en cinco grupos para ser estudiados: daños relacionados con la propiedad residencial directos e indirectos; daños directos e indirectos en la propiedad no residencial; daños sobre el patrimonio cultural; impactos sobre la salud humana (distinguiendo en este caso entre los daños causados por el evento, los daños relacionados con actividades posteriores al suceso y los derivados del cambio en la percepción del riesgo en las víctimas); y finalmente otros daños.

El estudio analiza los cambios en las avenidas, los cuales crecen de manera proporcional en los tres tipos de evento analizados. Para eventos con periodos de retorno de 50 años, los daños crecerían en promedio un 16,20%, pasando de los 14,84 millones de euros a los 17,25. Para eventos con periodo de retorno de 100 años, los daños crecerían un 14,3% pasando de 16,6 millones de euros a los 19 millones. Finalmente, los eventos con mayores periodos de retorno pasarían de significar pérdidas de 21,21 millones de euros a los 24,73 millones, un aumento del 19,1%.

Apertura del canal de Deusto en Bilbao

El estudio de Osés, Foudi y Galarraga (2012) analiza el impacto de la apertura del Canal de Deusto en Bilbao sobre el riesgo de inundación en el área urbana. Esta obra ya en marcha, convertirá la península de Zorrozaurre en una isla, permitiendo un cambio en la capacidad de carga de la zona y haciendo que las potenciales subidas de la ría redujeran su potencial dañino.

Este estudio no incluye escenarios climáticos, pero compara los efectos de la apertura del canal en términos de reducción del riesgo de inundaciones. Los periodos de retorno tomados como referencia para este estudio fueron de 10, 100 y 500 años. Para cada escenario y periodo de retorno se realizaron dos aproximaciones para generar un intervalo. Destaca la reducción del riesgo en avenidas más frecuentes e intermedias, reduciéndose a cero en el caso de las avenidas con periodos de retorno de 10 años y reduciéndose más de un 65% en el caso de las avenidas con periodos de retorno de 100 años. En el tercero de los casos las reducciones en el riesgo rondan el 30%.

Ebro en las inmediaciones de Zaragoza

El estudio del riesgo de desbordamiento del río Ebro a su paso por Zaragoza y varios municipios cercanos (Pastriz, Alfajarín, el Burgo de Ebro, Nuez de Ebro y Villafranca de Ebro) se describe en Foudi et al (2015). Los tipos de inundación calculados correspondían a los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años. Los daños aparecen desglosados en el estudio según tipos de bien afectados. En la tabla 6.2 se pueden observar los impactos anuales esperados en cada municipio según el tipo de daño analizado. Se puede observar que la capital autonómica acapara cerca de la mitad de los daños esperados por inundaciones. No se trata de una proporción muy alta si se compara con el número de habitantes de cada municipio, ya que

el 98% de los habitantes de la zona reside en Zaragoza, aunque solo suponga algo más de una cuarta parte de los daños residenciales esperados.

Tabla 6.2: Daños anuales esperados por sector y municipio, millones de euros

	Residencial	No-residencial	Agricultura	Salud	Medio Ambiente	Total
Alfajarín	65,62	17,09	0,21	1,70	NA	84,63
El Burgo de Ebro	1,46	4,24	0,24	0,09	NA	6,03
Nuez del Ebro	0,00	0,00	0,19	0,00	NA	0,20
Pastriz	38,36	29,19	0,30	1,17	NA	69,02
Villafranca del Ebro	0,01	0,00	0,33	0,00	NA	0,41
Zaragoza	36,05	121,56	0,31	5,34	NA	163,64
Total	141,89	172,09	1,58	8,31	NA	331,43

Fuente: Foudi et al (2015).

Análisis de los impactos ambientales

Costa vasca

El análisis de los impactos de la subida del nivel del mar sobre la costa vasca realizado por Galarraga et al (2011) parte de la estimación de incrementos del nivel marítimo de entre 28,5 y 48,7 cm para los escenarios A1B y A2 del IPCC a finales del siglo XXI. La segunda estimación implicaría la pérdida de un total de 100,26 hectáreas de litoral. Para la evaluación de las pérdidas causadas, los autores tuvieron en cuenta las pérdidas causadas en los servicios de los ecosistemas (ES), y siguieron su clasificación para definir estos costes según el tipo de servicio (servicios de aprovisionamiento, culturales y de regulación) al que afectarían. Los tipos de ecosistema sobre los que se darían las pérdidas serían playas, zonas fangosas, dunas vegetadas, acantilados y rocas supra-litorales, humedales y marismas. Se tomaron dos tasas de descuento diferenciadas (1% y 2%), existiendo variaciones en los resultados asociados a cada elección.

Con una tasa de descuento del 2%, los autores calculan que para el año 2100 que este fenómeno genere pérdidas de entre 87 y 231 millones de euros a precios de 2005. Esto supondría pérdidas de entre 0,872 y 2,304 millones de euros por hectárea. La Tabla 6.3 muestra como la selección de una tasa de descuento menor conlleva importantes cambios en los resultados. El rango de pérdidas económicas se incrementa hasta alcanzar entre 213 y 564 millones de euros, con valores por hectárea de entre 2,133 y 5,633 millones de euros.

Tabla 6.3: Estimaciones de impactos económicos debidos a un aumento del nivel del mar obtenidas por Galarraga et al. (2011) para la CAPV (Mn€ 2005).

Hábitat	Tipología de valor	Pérdida total de bienestar (en millones de euros)	
		Tasa de dto. del 2%	Tasa de dto. del 1%
Playas de arena y grava y zonas fangosas	Valor recreacional	31,134-59,630	71,979-132,776
	Valor de uso pasivo*		
Acantilados y rocas supralitorales	Valor de uso pasivo	13,833-43,040	34,794-108,262
Humedales y marismas	Valor económico total	1,171	2,841
Hábitats terrestres (bosques de ribera)	Captura de carbono	41,328-127,200	104,255-320,925
	Recreación en zonas boscosas		
	Valor de uso pasivo		
Pérdida económica total		87,466-231,032	213,869-564,804
Pérdida por hectárea		0,872-2,304	2,133-5,633

*: Solo mencionado en la tasa de dto. del 1%

Fuente: Galarraga et al (2011).

Conclusión y discusión

La magnitud de los impactos generados por las inundaciones hace necesaria la adopción de estrategias para la prevención de riesgos derivados de tales eventos. La necesidad paralela de optimizar estrategias fuerza las autoridades a cuantificar las características de los riesgos. Solo a través de la medición de los riesgos es posible el diseño de las distintas estrategias para afrontarlos, ya sea para la adopción de medidas “blandas” como la adopción de sistemas de alerta temprana o “duras” como la creación de infraestructuras como canales de desagüe o diques. La diversidad de los impactos hace que no se puedan proponer soluciones adaptables universalmente, sino que las características de cada zona, ya sea a escala cuenca, urbana o costera, son las que marcan las necesidades de cada intervención.

Las medidas tomadas para la reducción de los riesgos derivados de las inundaciones deberán ser tomadas en el contexto de las medidas de adaptación al cambio climático, debido al efecto previsto de éste sobre aspectos como el régimen de precipitaciones o el nivel del mar. Si bien existen incertidumbres importantes sobre la magnitud de los impactos y su forma, la evolución

de los modelos climáticos y las herramientas de *downscaling*, que permiten obtener estimaciones sobre la evolución del clima a escala cuenca, donde el riesgo de inundabilidad puede estudiarse más precisamente, hacen que las estimaciones sobre la evolución futura de los riesgos sean cada vez más precisas.

Además de la perspectiva de adaptación también ha de considerarse la cuestión de papel de la mitigación. La probabilidad de lograr sendas de emisiones que eviten impactos queda fuera del ámbito de este estudio, pero en cualquier caso no dependerá en gran medida de las medidas de adaptación diseñadas a efecto de reducir el riesgo de inundación. Sin embargo, sí ha de tenerse en cuenta el impacto de las medidas de adaptación sobre las emisiones. Determinadas medidas, tales como la construcción de infraestructuras como los diques pueden resultar útiles desde la perspectiva de la adaptación generando por el lado opuesto aumentos en los niveles de emisiones (incluyendo la reducción de los niveles de secuestro de carbono). La ponderación de las dos fuerzas o la promoción de medidas adaptativas que sean también de mitigación dependerá de cada caso particular.

La discusión sobre las tasas de descuento a utilizar no puede darse tampoco por concluida. Como se ha mencionado, existen dimensiones no solo económicas para la toma de la decisión de qué tasas de descuento aplicar a la medición de impactos y proceso de toma de decisiones, sino también filosóficas y psicológicas. Si bien puede parecer que la elección entre tasas de descuento que a menudo varían entre el 2% y el 6% no es importante, la necesidad de realizar análisis a largo plazo genera divergencias significativas.

Markandya y Watkiss (2009) señalan algunas de estas cuestiones, así como la necesidad de tener en cuenta aspectos redistributivos relacionados con el riesgo de inundación. La relación entre pobreza y vulnerabilidad se extiende en lo geográfico (países más pobres muestran mayores impactos físicos), demográfico (mayor densidad de población en áreas de menores recursos) y económico (menor capacidad de adaptarse y protegerse frente a los riesgos derivados del clima).

Bibliografía

- Ayala-Carcedo, F.J. 2002. "El Sofisma de La Imprevisibilidad de Las Inundaciones Y La Responsabilidad Social de Los Expertos: Un Análisis Del Caso Español Y Sus Alternativas." *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, no. 33: 79–92.
- Balbi, Stefano, Carlo Giupponi, Vahid Mojtahed, and Roland Olschewski. 2013. *The Economics of Hydro-Meteorological Disasters: Approaching the Estimation of the Total Costs*. 2013-12. BC3 Basque Centre for Climate Change. <http://www.bc3research.org/workingpapers/2013-12.html>.
- BOE. 2010. *Real Decreto 903/2010, de 9 de Julio, de Evaluación Y Gestión de Riesgos de Inundación*.
- EC. 2007. *Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the Assessment and Management of Flood Risks*.
- Foudi, Sebastien, and Nuria Osés. 2014. "Flood Risk Management: Assessment for Prevention with Hydro-Economic Approaches." In *Routledge Handbook of the Economics of Climate*

ChangeAdaptation, edited by Anil Markandya, Ibon Galarraga, and Elisa Sainz de Murieta. Taylor & Francis.

Foudi, Sebastien, Nuria Osés, and I. Tamayo. 2015. "Integrated Spatial Flood Risk Assessment: The Case of Zaragoza." *Land Use Policy* 42: 278–92.

Galarraga, Ibon, Nuria Osés, Anil Markandya, Aline Chiabai, and Kaysara Khatun. 2011. "Aportaciones desde la economía de la adaptación a la toma de decisiones sobre Cambio Climático: Un ejemplo para la Comunidad Autónoma del País Vasco." *Economía Agraria y Recursos Naturales (Agricultural and Resource Economics)* 11 (1): 113–42. doi:10.7201/earn.v11i1.14538.

Markandya, Anil, and Paul Watkiss. 2009. *Potential Costs and Benefits of Adaptation Options: A Review of Existing Literature*. GE.10-60924. UNFCCC. <http://unfccc.int/resource/docs/2009/tp/O2r01.pdf>.

Osés, Nuria. 2009. "Costes Del Cambio Climático En El País Vasco Por Riesgo de Inundación." *Ekonomiaz: Revista Vasca de Economía*, no. 71: 62–83.

Osés, Nuria, Sebastien Foudi, and Ibon Galarraga. 2012. *Análisis Del Impacto Socio Económico Del Daño Por Inundación En La Ría de Nervión: Un Cambio de Escenario Ante La Apertura Del Canal de Deusto*. Informe de avance de proyecto. Bilbao: Basque Centre for Climate Change (BC3).