

Documento de Trabajo - 2020/16

## **Cambio climático y recursos hídricos ¿Que dicen los organismos internacionales?**

Emilio Cerdá (Universidad Complutense de Madrid)  
Sonia Quiroga (Universidad de Alcalá)

diciembre 2020

**fedea**

*Las opiniones recogidas en este documento son las de sus autores y no coinciden necesariamente con las de FEDEA.*

## CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSOS HÍDRICOS ¿QUÉ DICEN LOS ORGANISMOS INTERNACIONALES?

Emilio Cerdá<sup>(1)</sup>, Sonia Quiroga<sup>(2)</sup>

(1) Departamento de Análisis Económico y Economía Cuantitativa e ICEI, Universidad Complutense de Madrid.

(2) Departamento de Economía, Universidad de Alcalá

### Resumen:

El cambio climático afecta y se ve afectado por los recursos hídricos mundiales. En este trabajo se parte del marco conceptual de la seguridad hídrica, elaborado por el Banco Mundial. A continuación, se analizan los capítulos correspondientes a hidrología y recursos hídricos contenidos en los diferentes informes del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), se presentan y comentan algunos aspectos importantes contenidos en el informe mundial de Naciones Unidas de 2020 sobre agua y cambio climático en el contexto de desarrollo sostenible, y se considera el enfoque de adaptación basado en el desarrollo de los servicios ecosistémicos. En el trabajo se consideran elementos de mitigación, impactos, vulnerabilidad y adaptación. El trabajo continúa, restringido al ámbito de la Unión Europea, presentando los resultados fundamentales de un importante informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente sobre adaptación de recursos hídricos y de un trabajo del *Joint Research Centre* (JRC) de la Unión Europea sobre impactos climáticos relacionados con los recursos hídricos.

**Palabras clave:** Agua, cambio climático, impactos, mitigación desde los recursos hídricos, adaptación de los recursos hídricos, IPCC.

**Clasificación JEL:** O13, Q01, Q25, Q54.

**Abstract:** Climate change affects and is affected by global water resources. The conceptual framework on water security is the starting point for this work. Next, the chapters corresponding to the hydrology and water resources contained in the different reports of the *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) are analyzed, some important aspects contained in the 2020 United Nations world report on water and climate change in the context of sustainable development are studied, and the adaptation approach based on the development of ecosystem services is presented. In this work, elements of mitigation, impacts, vulnerability and adaptation are considered. The work continues, restricted to the scope of the European Union, presenting the fundamental results of an important report of the European Environment Agency on adaptation of water resources and of a work of the *Joint Research Centre* (JRC) of the European Union on climate impacts related to water resources.

**Keywords:** Water, Climate change, impacts, mitigation from global water resources, adaptation of global water resources, IPCC.

**JEL Classification:** O13, Q01, Q25, Q54

## **1 Introducción**

Tal como se afirma en el quinto informe del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (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 social y 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. En este contexto, la adaptación al cambio climático en el sector del agua puede contribuir a mejorar la disponibilidad de agua (Jiménez Cisneros et al., 2014), pero también la arquitectura del sector hídrico desde el punto de vista de su gobernanza (Bisaro et al., 2018; Huntjens et al., 2011). Por tanto, es importante encontrar proyecciones de ofertas y demandas de agua para diferentes usos, a lo largo de horizontes temporales futuros y también analizar la perspectiva de la seguridad hídrica en una perspectiva de cambio en la vulnerabilidad social e institucional.

Este artículo pretende proporcionar una visión del papel de los organismos internacionales en la relación entre cambio climático y recursos hídricos. En primer lugar, se repasarán todos los principales informes internacionales de valoración de los impactos, entre ellos todos los informes del IPCC, a nivel mundial. Posteriormente se pondrá el foco en la Unión Europea.

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, además del papel que corresponde a los recursos hídricos en las posibilidades de mitigación. Este artículo intenta esclarecer dicho marco.

## **2. Marco conceptual de la seguridad hídrica y el papel de los organismos internacionales en la adaptación al cambio climático**

El concepto de seguridad hídrica es complejo. Se puede considerar su primera definición en el II Foro Mundial de La Haya (2000), donde se pone de manifiesto la importancia del agua en el desarrollo social. De ese modo, se establecen criterios para definir objetivos y evaluar políticas públicas a partir del análisis de los riesgos que resultan aceptables y de las disponibilidades que son adecuadas para la población. Desde entonces son múltiples las definiciones y aproximaciones al concepto de seguridad hídrica. CEPAL (2016) propone una definición según la cual la seguridad hídrica comprendería las siguientes áreas: (i) Una disponibilidad de agua que sea adecuada, en cantidad y calidad, para el abastecimiento humano, los usos de subsistencia, la protección de los ecosistemas y la producción; (ii) la capacidad —institucional, financiera y de infraestructura— para acceder y aprovechar dichos recursos de forma sustentable y manejar las interrelaciones y externalidades entre los diferentes usos y sectores, de manera coherente; y (iii) un nivel aceptable de riesgos para la población, el medio ambiente y la economía, asociados a los recursos hídricos.

En el mismo contexto el Banco Mundial (2018) ha sintetizado las definiciones existentes en un marco conceptual que se basa en una serie de capas, que se detallan en la Figura 1.



Figura 1.- Marco conceptual de la seguridad hídrica. Banco Mundial (2018)

Las cuatro capas reflejadas en los círculos concéntricos se pueden resumir en:

a) Impacto del sector hídrico: Alude a cómo el agua contribuye al bienestar de las personas, al incremento de la prosperidad económica y a la convivencia sostenible con el medio ambiente. Es en esta capa donde se manifiesta verdaderamente el concepto de seguridad hídrica, poniendo énfasis en los objetivos o impactos finales, y no meramente en el recurso disponible.

b) Desempeño del sector del agua: Analiza la gestión de los recursos hídricos en tres aspectos: (i) la gestión del recurso, (ii) la provisión de servicios (población, agricultura, industria, etc.), (iii) la gestión de los riesgos de desastres (ej. Inundaciones). Este aspecto es el que normalmente atienden los planes de gestión de cuencas hidrográficas. La diferencia con el marco de seguridad hídrica propuesto desde los organismos internacionales es que se pretende un mejor desempeño, pero basado en la evaluación del impacto en los objetivos sociales, ambientales y económicos. Dicha orientación a los objetivos es consistente con el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que ponen el foco en los logros más que en los procesos.

c) Arquitectura del sector hídrico: Incluye los aspectos vinculados a la gobernanza, las instituciones relacionadas con el agua, su financiación, el capital humano y las infraestructuras, que pueden ayudar a lograr una mayor resiliencia en el sector. No es posible llegar a un nivel adecuado de cumplimiento de los objetivos en el círculo externo si no se dispone de una buena gestión y arquitectura del sector hídrico.

d) En último lugar, el recurso natural constituye la esencia misma del sistema. En un contexto de adaptación al cambio climático es importante evaluar los impactos en el recurso en términos de cantidad, calidad y oportunidad para poder mejorar su gobernanza, lo que permitiría un mejor desempeño y por tanto reducir el impacto social, económico y ambiental.

El marco en su totalidad responde a la lógica de gestión o análisis por resultados, en la línea de los ODS que en su objetivo número 6 se propone garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos (ODS, 2015). Los indicadores o metas en las capas exteriores, que son las que impactan a la población de manera directa y deben forzar el

desarrollo de las capas internas. En respuesta a retos como el cambio climático, este marco responde a una necesidad de no entender la dotación como un fin en si mismo, sino como un recurso para dar un mejor servicio que redunde en bienestar humano, el desarrollo económico y el respeto por el medio ambiente. A continuación se detallan las principales conclusiones de los distintos informes del IPCC, tanto en lo referente a los efectos del cambio climático sobre el agua como recurso natural, como en los aspectos de gestión y sus impactos, más relacionados con la adaptación teniendo en cuenta el enfoque global de la seguridad hídrica.

### **3. 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, y en el año 2018 un informe especial sobre los impactos del cambio climático si se alcanza un aumento de temperatura de 1,5°C sobre los niveles preindustriales y las sendas de emisiones que permitirían alcanzar ese objetivo global. En este apartado se repasan estos siete documentos, señalando en cada caso las principales conclusiones que presentan. Se irán comentando los documentos siguiendo el orden que marca la fecha de publicación. Se intentará, en la medida de lo posible, no repetir conclusiones ya recogidas en documentos previos. Cuando se revisan estos importantes trabajos se observa claramente la evolución en cuanto a la forma de abordar los problemas, al lenguaje que se utiliza así como al enorme aumento en la cantidad y calidad de las investigaciones y publicaciones que sirven de base a los documentos.

#### **3.1 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.

A continuación se presentan algunas de las consideraciones más importantes que aparecen en el documento:

- Cambios en las condiciones climáticas debidas al aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero probablemente alterarán los recursos hídricos, su distribución en el espacio y el tiempo, el ciclo hidrológico de los cuerpos de agua, la calidad del agua, los sistemas de suministro de agua y los requerimientos de recursos hídricos en diferentes regiones.

- Cabe esperar que el cambio climático lleve a cambios en la humedad del suelo y en los recursos hídricos. La variable climática más importante que puede cambiar es la precipitación regional, que es una variable que no se pronostica bien.
- Tanto el suministro como el uso del agua en tierras semiáridas son muy sensibles a pequeños cambios en precipitación y en evapotranspiración<sup>1</sup> por vegetación, porque la fracción de precipitación que discurre por la superficie o se filtra hacia las aguas subterráneas es pequeña. Un aumento de calor dará lugar a mayor evapotranspiración, aunque este aumento se espera que sea parcialmente contrarrestado por una reducción de agua por las plantas en una atmósfera con mayor concentración de gases de efecto invernadero.
- Temperaturas más altas pueden tener también un impacto en las zonas de transición en cuanto a nieves invernales. Mayor precipitación en invierno debería ser en forma de lluvia, en lugar de nieve, de ese modo aumentando la escorrentía en invierno y disminuyendo los flujos de nieve fundida en primavera y verano. Allá donde la escorrentía adicional invernal no pueda ser almacenada debido a consideraciones que tienen que ver con el control de inundaciones o falta de almacenaje adecuado, podría producirse una pérdida en la cantidad de agua disponible para suministro.
- A consecuencia del cambio climático, cabe esperar cambios en la demanda de recursos hídricos en muchas regiones del mundo.
- Resultados obtenidos a partir de simulaciones realizadas en modelos atmosféricos de circulación general indican que los valores medios de precipitación en zonas del sur de España, Portugal y Grecia van a disminuir.

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.

### **3.2 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.

---

<sup>1</sup> La evapotranspiración se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en milímetros por unidad de tiempo.

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 capítulo se señalan algunas incertidumbres que están presentes en la valoración de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos:

- Incertidumbres en los modelos de circulación general, con una falta de especificación regional de localizaciones en las que se producen las consecuencias.
- Conocimiento insuficiente acerca de la variabilidad futura del clima, lo cual es un elemento básico de gestión del agua.
- Incertidumbres en la estimación de los cambios en los balances hídricos (relación entre entradas y salidas de agua), a nivel de cuenca, debidos a los cambios en la vegetación, en la atmósfera y en otras condiciones que probablemente existirán dentro de 50 o 100 años.
- Incertidumbre en las demandas futuras de agua para cada sector.
- Incertidumbre en los impactos ambientales y socioeconómicos de las medidas de respuesta.

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:

- Un cambio en el volumen y distribución de agua afectará a la oferta de agua superficial y subterránea para usos domésticos e industriales, para riego, generación de energía hidroeléctrica, navegación, ecosistemas acuáticos y usos recreativos de los cuerpos del agua.
- 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.

### **3.3 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:

- Hay tendencias aparentes en los caudales en ríos, arroyos y canales en muchas regiones, en unos casos crecientes y en otros decrecientes. Estas tendencias no pueden ser directamente atribuidas a cambios regionales de temperatura o de precipitación. Sin embargo, el extendido retroceso acelerado de glaciares y los cambios en los ritmos de los flujos de agua en muchas zonas, de primavera a invierno están asociadas muy probablemente al cambio climático.
- El efecto del cambio climático en los caudales y en la recarga de acuíferos varía entre regiones y también entre escenarios, siguiendo sobre todo los cambios en precipitación que aparecen en las proyecciones. En algunas partes del mundo, la dirección del cambio es consistente entre escenarios, aunque no lo es la magnitud del cambio. En otras partes del mundo, la dirección del cambio es incierta.
- El valor máximo que alcanzan los caudales de agua es probable que pase a alcanzarse en invierno, en lugar de alcanzarse en primavera, en muchas zonas en las que actualmente el flujo de nieve es un componente importante del balance hídrico.
- El retroceso de glaciares es probable que continúe, y muchos glaciares pequeños pueden desaparecer.
- 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.



- La demanda de agua, en general, está creciendo a causa del crecimiento de la población y del desarrollo económico, pero está decreciendo en algunos países. Es improbable que el cambio climático tenga un gran impacto en las demandas municipales e industriales, pero puede afectar de manera sustancial a las capturas de agua para irrigación.
- 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.
- La capacidad de adaptación (especialmente, la habilidad para implementar la gestión integrada de recursos hídricos) está distribuida de manera desigual a través del mundo.

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 (*confianza alta*).
- 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 (*confianza media a alta*).
- El cambio climático, probablemente va a ampliar las diferencias de recursos hídricos entre el norte y el sur de Europa (*evidencia bien establecida, confianza alta*).
- En las regiones europeas del Mediterráneo, el cambio climático probablemente incrementará de manera considerable la diferencia en los caudales entre invierno y verano.

### **3.4 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 párrafo anterior, las conclusiones con confianza muy alta y las conclusiones con confianza alta.

Capítulo 3, sobre recursos hídricos y su gestión.

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.
- Los efectos adversos del cambio climático sobre los recursos hídricos agravan los impactos de otras presiones, tales como el crecimiento de población, el cambio en la actividad económica, el cambio en los usos del suelo y la urbanización.
- 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.
- En algunos países y regiones, como Canadá, Australia, Estados Unidos, Reino Unido, Holanda, Alemania o la región del Caribe, se están desarrollando procedimientos de adaptación y prácticas de gestión del riesgo para el sector de recursos hídricos. En tales zonas, se han identificado cambios hidrológicos en las proyecciones de futuro, con las correspondientes incertidumbres.
- Desde el Tercer Informe de Evaluación del IPCC, muchas incertidumbres han sido evaluadas, se ha mejorado su interpretación y se han desarrollado nuevos métodos para su caracterización. Sin embargo, proyecciones cuantitativas de cambios de precipitación, flujos fluviales y niveles de agua a escala de cuenca aún permanecen con muchas incertidumbres.
- 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 3, sobre recursos hídricos y su gestión. Las conclusiones con confianza alta son las siguientes:

- Se prevé mayor intensidad y variabilidad en las precipitaciones, lo cual hace que aumenten los riesgos de inundación y sequía en muchas zonas.
- Más de un sexto de la población mundial vive en zonas en las que las cuencas de sus ríos están alimentadas por agua procedente de la fusión de nieves o de glaciares. Se verá afectada por un cambio estacional en el flujo fluvial, con un incremento del ratio del flujo invernal sobre el flujo anual y posible reducción en los flujos bajos causada por disminución en la extensión de los glaciares o del almacenaje del agua en forma de nieve.

- Los esfuerzos para contrarrestar la menor disponibilidad de agua de superficie, debido a una mayor variabilidad en las precipitaciones pueden ser más difíciles por el hecho de que la recarga de los acuíferos disminuirá de manera considerable en algunas regiones que ya tienen problemas de estrés hídrico.
- Agua más caliente, precipitación más intensa y periodos más largos de flujo bajo reducen la calidad del agua, lo cual impacta a los ecosistemas, a la salud humana y a la fiabilidad y costes de operación de los servicios de agua.
- En términos globales, la demanda de agua crecerá en las próximas décadas, debido principalmente al crecimiento de la población y aumento de la riqueza. En términos regionales, es probable que se produzcan grandes cambios en la demanda de agua para irrigación a causa del cambio climático.
- Los impactos negativos del cambio climático en los sistemas de agua pesan más que los beneficios. Todas las regiones amplias analizadas por el IPCC muestran un impacto neto negativo total del cambio climático sobre los recursos hídricos y los ecosistemas de agua dulce.
- Los impactos positivos debidos a un incremento anual de la escorrentía en algunas zonas del mundo serán atemperados por efectos negativos debidos al aumento en la variabilidad de las precipitaciones y cambios estacionales en la escorrentía, con efectos en la oferta de agua, calidad del agua y riesgos de inundación.

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.

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

- El estrés hídrico aumentará en el centro y sur de Europa. El porcentaje de área con alto estrés hídrico probablemente se incrementará del 19% en 2007 al 35% en 2070, y el número adicional de personas afectadas en 2070 se espera que esté entre 16 y 44 millones. Las regiones más afectadas son las del sur de Europa y algunas partes de Europa central y oriental, donde los flujos fluviales pueden llegar a reducciones de hasta el 80%. El potencial hidroeléctrico de Europa se espera que disminuya en media en un 6%, pero que tal descenso esté entre el 20% y el 50% en la región mediterránea europea, en 2070.
- La agricultura tendrá que hacer frente a una demanda de agua creciente para irrigación en el sur de Europa, con restricciones adicionales debidas a aumentos en la cantidad de nitratos en relación a los cultivos.

### 3.5 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 interdisciplinario 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.

- El calentamiento observado durante varias décadas ha sido vinculado a cambios experimentados por el ciclo hidrológico a gran escala. En particular, aumento del contenido de vapor de agua en la atmósfera; variación de las características, intensidad y valores extremos de la precipitación; disminución de la capa de nieve y fusión generalizada del hielo; y cambios en la humedad del suelo y en la escorrentía. Los cambios de la precipitación están sujetos a una variabilidad espacial e inter-decenal (cada diez años) considerable. Durante el siglo XX, la precipitación ha aumentado en mayor medida en extensiones terrestres y en latitudes septentrionales altas y ha disminuido entre los 10º S y los 30º N, a partir de los años 70. En la mayoría de las áreas, la frecuencia de fenómenos de precipitación intensa, o la proporción total de lluvia descargada por lluvias intensas ha aumentado. La superficie mundial de tierra clasificada como muy seca se ha duplicado con creces desde los años 70.
- Las simulaciones mediante modelos climáticos concuerdan en proyectar para el siglo XXI un aumento de la precipitación en latitudes altas (*muy probable*) y parte de los trópicos, y una disminución en algunas regiones subtropicales y en latitudes medias y bajas (*probable*).
- 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 (nivel de confianza muy alto).
- Según las proyecciones, la intensidad y variabilidad crecientes de la precipitación agravarían el riesgo de inundaciones y sequías en numerosas áreas. La frecuencia de episodios de precipitación intensa (o la proporción total de lluvia descargada por lluvias intensas) aumentará muy probablemente en la mayoría de las áreas durante el siglo XXI, repercutiendo así en el riesgo de inundaciones provocadas por lluvias. Al mismo tiempo,

aumentará la proporción de superficie terrestre que padece sequía extrema y se manifestará una tendencia a la sequía en el interior de los continentes durante el verano, particularmente en las regiones subtropicales de latitudes bajas y medias.

- Los cambios en la cantidad y calidad del agua por efecto del cambio climático afectarían a la disponibilidad, estabilidad, accesibilidad y utilización de los alimentos. Se prevé una disminución de la seguridad alimentaria y un aumento de la vulnerabilidad de los agricultores rurales pobres, particularmente en los trópicos áridos y semiáridos y en los grandes deltas de Asia y África.
- El cambio climático afecta a la función y utilización de las infraestructuras hídricas existentes, en particular la energía hidráulica, las protecciones estructurales contra inundaciones, el drenaje y los sistemas de riego, así como a las prácticas de gestión hídrica.
- Las prácticas de gestión hídrica actuales pueden no ser suficientemente sólidas para contrarrestar los efectos del cambio climático sobre la fiabilidad del abastecimiento, el riesgo de inundación, la salud, la agricultura, la energía o los ecosistemas acuáticos. En muchos lugares, la gestión del agua no puede contrarrestar satisfactoriamente ni siquiera la variabilidad climática actual, y las crecidas y sequías ocasionan grandes daños. En una primera fase, una mejor integración de la información sobre la variabilidad climática actual en la gestión hídrica permitiría adaptarse a los efectos del cambio climático a largo plazo. Factores climáticos y no climáticos, como el crecimiento de la población o el aumento de los posibles daños, agudizarán los problemas en el futuro (*nivel de confianza muy alto*).
- 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.
- Las medidas de mitigación podrían reducir la magnitud de los efectos del calentamiento mundial sobre los recursos hídricos, lo cual, a su vez, reduciría las necesidades de adaptación. Sin embargo, pueden tener efectos secundarios negativos considerables (por ejemplo, un aumento de las necesidades de agua para las actividades de forestación/reforestación, o para los cultivos bioenergéticos) si los proyectos no han sido ubicados, diseñados y gestionados con criterio sostenible. Por otro lado, las medidas

abarca por las políticas de gestión hídrica (por ejemplo los embalses) podrían influir en las emisiones de gases de efecto invernadero.

- 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.

### 3.6 El quinto informe de evaluación (2014)

Antes de comentar la aportación del Grupo de Trabajo II al quinto informe de evaluación del IPCC, veamos algunas de las conclusiones que aparecen con respecto a los recursos hídricos, 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).

#### *Cambio en el ciclo del agua*

Tal como se explica en el documento del IPCC (Stocker et al, 2013), el ciclo del agua describe el movimiento continuo del agua a través del sistema climático en sus formas líquida, sólida y de vapor, y el almacenaje en el océano, la criosfera, la superficie terrestre y la atmósfera. El movimiento del agua en el sistema climático es esencial para la vida en la tierra, ya que el agua que llega a la tierra como precipitación, que proporciona humedad al suelo y caudal a los ríos, ha sido evaporada desde el océano y transportada a la tierra por la atmósfera. El movimiento de agua entre la atmósfera y el océano también puede influir en la salinidad del océano, que es un dinamizador importante de la densidad y circulación del océano. El calor latente contenido en el vapor de agua en la atmósfera es crítico en la circulación de la atmósfera a escalas que van de las tormentas individuales a la circulación global de la atmósfera.

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.***

Otras conclusiones importantes sobre los cambios en el ciclo del agua, y los recursos hídricos (en general) del volumen sobre Bases Físicas son las siguientes:

- Se espera que la cantidad de vapor de agua en el aire aumente con un clima más cálido. Diferentes observaciones indican incrementos en el vapor de agua en la troposfera en escalas espaciales grandes. Es *muy probable* que la humedad de la troposfera haya aumentado desde 1970. La magnitud del cambio global observado en el vapor de agua en la troposfera está en torno al 3,5% en los últimos 40 años, lo cual es consistente con el cambio de temperatura observado de unos  $0,5^{\circ}C$  en el mismo periodo. El cambio en el vapor de agua puede ser atribuido a la influencia humana con *confianza media*.

- Aunque tendencias directas en precipitación y evaporación son difíciles de medir con los registros disponibles, la salinidad observada en la superficie del océano, que depende fuertemente de la diferencia entre evaporación y precipitación, muestra tendencias significativas. Los patrones espaciales de las tendencias de salinidad desde 1950 son muy similares a la salinidad media y la distribución media de evaporación menos precipitación: regiones con salinidad alta donde la evaporación domina se han hecho más salinas, mientras que regiones con salinidad baja en las que dominan las lluvias se han hecho menos salinas. Todo ello proporciona evidencia indirecta de que el patrón de evaporación menos precipitación sobre los océanos ha aumentado desde 1950 (*confianza media*). Estos cambios son consistentes con el incremento observado en el contenido de vapor de agua del aire más cálido. Es muy probable que los cambios observados en la salinidad de superficie y sub-superficie sean debido en parte a factores antropogénicos que influyen en el clima.
- En la mayor parte de las regiones analizadas se produce un decrecimiento en el número de eventos de nieve, allá donde se han observado aumentos de temperatura en invierno. Diferentes observaciones muestran reducciones significativas de la cubierta de nieve en el hemisferio norte, a lo largo de los últimos 90 años, con las mayores reducciones produciéndose en los años 1980. La mayor disminución de la cubierta de nieve se produce en el mes de junio, cuando la extensión media ha decrecido *muy probablemente* en un 53% entre 1967 y 2012. En el hemisferio norte la estación de nieve ha disminuido en 5,3 días por década, desde el invierno de 1972/73.
- Los cambios en la precipitación media a nivel mundial, en un mundo más cálido no serán uniformes: algunas regiones experimentarán aumentos, otras disminuciones y otras permanecerán sin cambios. Las zonas de latitud alta *probablemente* tendrán mayores precipitaciones debido a mayor capacidad de carga de agua en una troposfera más cálida. Zonas de latitudes medias y regiones subtropicales áridas y semiáridas experimentarán *probablemente* menor precipitación. Los mayores cambios en precipitación sobre el norte de Eurasia y América del Norte ocurrirán en invierno.
- Proyecciones regionales y a escala global de humedad del suelo y sequía se mantienen relativamente inciertas, en comparación con otros aspectos del ciclo del agua. Sin embargo, 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, mientras que se prevén aumentos en altas latitudes del norte.
- Es *probable* que desde 1950 el número de eventos de fuerte precipitación sobre superficie terrestre haya aumentado en más regiones que en regiones en las que ha disminuido. La confianza es más alta para América del Norte y Europa (aumentos en frecuencia e intensidad de fuertes precipitaciones), con variación estacional y regional.
- Eventos de precipitación extrema sobre la mayor parte de las masas de tierra de latitud media y sobre las regiones tropicales húmedas serán *muy probablemente* más intensos y frecuentes a finales del presente siglo, a medida que aumente la temperatura media de la superficie terrestre.

El informe, 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.

A continuación se presentan las principales conclusiones del capítulo 3, sobre recursos hídricos:

- 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 (evidencia robusta, acuerdo alto). Diferentes modelos utilizados desde el 4º informe de evaluación del IPCC, con incertidumbres mayores pero mejor cuantificadas, han demostrado diferencias claras entre los valores futuros a nivel global con mayores emisiones, que tienen impactos adversos más fuertes, y valores con menores emisiones, que causan menos daños y cuestan menos de adaptar. 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. El porcentaje de población mundial viviendo en cuencas de ríos con escasez nueva o agravada de agua aparece en las proyecciones que aumentará con el cambio climático del 8% para 2° C al 13% para 5° C.
- Las proyecciones indican que el cambio climático reducirá de manera significativa los recursos hídricos renovables de superficie y subterráneos en la mayor parte de las regiones secas subtropicales (evidencia robusta, acuerdo alto). Ello intensificará la competencia por el agua entre agricultura, ecosistemas, asentamientos humanos, industria y producción de energía, afectando al agua, la energía y la seguridad alimentaria a nivel regional (*evidencia limitada, acuerdo medio a alto*). Por el contrario, los recursos hídricos aumentarán en latitudes altas, de acuerdo con las proyecciones. Los cambios proporcionales son típicamente de uno a tres veces mayores para escorrentía que para precipitación.
- Hay *confianza baja*, debido a evidencia limitada, en que el cambio climático antropogénico ha afectado la frecuencia y magnitud de inundaciones a escala global. La limitación en la fuerza de la evidencia viene de que hay falta de registros a largo plazo en zonas de influencia no gestionadas. Además es difícil atribuir los cambios detectados al clima o a actividades humanas. Sin embargo, reciente detección de tendencias en precipitaciones extremas en algunos lugares implica riesgos mayores de inundación a nivel regional. De acuerdo con las proyecciones, los riesgos de inundación se incrementan en partes del sur, sureste y noreste de Asia, África tropical y Sur de América (*evidencia limitada, acuerdo medio*). Desde mediados del siglo XX, las pérdidas socioeconómicas por inundación han aumentado (desde una media de 7 billones de euros al año en los años 1980 a 24 billones de euros al año en 2011, con valores de inflación ajustados), debido principalmente a una mayor exposición de personas y bienes, así como a factores sociales relacionados con la población y el crecimiento económico (*confianza alta*). El riesgo global de inundaciones aumentará en el futuro, debido en parte al cambio climático (*evidencia limitada, acuerdo medio*).



- El cambio climático probablemente aumentará la frecuencia de sequías meteorológicas (menor precipitación) y sequías agrícolas (menor humedad del suelo) en regiones actualmente secas, a finales del siglo XXI (*confianza media*). Ello probablemente incrementará la frecuencia de sequías hidrológicas cortas (menor agua superficial y subterránea) en dichas regiones (*evidencia media, acuerdo medio*). Muy pocos estudios han considerado variaciones en el tiempo de sequía hidrológica, principalmente porque hay muy pocos registros largos en zonas de influencia sin intervenciones humanas directas. Se ha encontrado una tendencia sobre caudales mínimos en verano más bajos en el periodo 1962-2004 en algunas zonas de estudio en el sur y este de Europa, aunque no se encontró ninguna tendencia clara en el norte y oeste de Europa.
- El cambio climático impacta negativamente a los ecosistemas de agua dulce, cambiando los caudales y la calidad del agua (*evidencia media, acuerdo alto*).
- El cambio climático va a reducir la calidad del agua bruta (agua que no ha recibido ningún tratamiento), generando riesgos sobre la calidad del agua potable incluso con tratamiento convencional (*evidencia media, acuerdo alto*). Los riesgos vienen por el aumento de temperatura, aumento de sedimentos, cargas de nutrientes y contaminantes debidos a lluvias intensas, dilución reducida de contaminantes durante las sequías e interrupción en el uso de instalaciones de tratamiento durante las inundaciones.
- En regiones con almacenaje estacional de nieve, el cambio climático ha alterado la estacionalidad de los caudales y, de acuerdo con lo que dicen las proyecciones, tales alteraciones se incrementarán (*evidencia robusta, acuerdo alto*). Hay evidencia robusta de una ruptura del hielo más temprana en los ríos del Ártico. Allá donde el caudal es más bajo en verano, la disminución del almacenaje de nieve ha exacerbado la sequedad en verano.
- Todas las proyecciones para el siglo XXI muestran pérdida continua de masa de glaciares. En las zonas donde hay glaciares, la escorrentía alcanza un máximo anual en verano. Cuando los glaciares se reducen, su contribución relativa disminuye y el pico anual de escorrentía cambia hacia primavera. La fusión de glaciares aumenta en importancia durante las sequías y olas de calor. Si están en equilibrio, los glaciares reducen la variabilidad interanual de recursos hídricos, almacenando agua durante los años fríos o húmedos y liberándola durante los años cálidos. El encogimiento de glaciares hace que disminuya su influencia y haga la oferta de agua menos fiable.
- Hay *evidencia limitada y acuerdo bajo* en que el cambio climático antropogénico ha hecho una contribución significativa a la erosión del suelo, a cargas de sedimentos y a desprendimientos. Los registros disponibles están limitados en espacio y tiempo, y la evidencia sugiere que en la mayoría de los casos, los cambios de uso de la tierra y los cambios en la cubierta de la tierra son más significativos que los que provoca el cambio climático. Sin embargo, durante el siglo XXI, los episodios de lluvia intensa van a ser más pronunciados y frecuentes en muchas partes del mundo, lo cual puede dar lugar a una erosión del suelo más intensa incluso si la cantidad de lluvia total caída no se incrementa. A escala global, la erosión del suelo simulada suponiendo que se dobla el CO<sub>2</sub> se proyecta que va a crecer alrededor del 14% para la década de 2090, en comparación con la década de 1980. Los mayores incrementos se esperan en las zonas semiáridas, donde eventos extremos pueden contribuir aproximadamente a un 50% de la erosión total. Prácticas de gestión de la tierra son críticas para la mitigación de la erosión del suelo bajo el cambio climático proyectado.

- Un enfoque adaptativo a la gestión de los recursos hídricos puede abordar la incertidumbre debida al cambio climático (*evidencia limitada, acuerdo alto*). 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*<sup>2</sup>, 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.
- Bajo el cambio climático, la oferta fiable de agua de superficie se espera que disminuya a causa de un aumento en la variabilidad de los caudales debido a una mayor variabilidad en las precipitaciones y a un descenso en el hielo y la nieve almacenados. En estas circunstancias, podría ser beneficioso aprovechar la capacidad de almacenamiento del agua subterránea y aumentar la retirada de la misma. Sin embargo, esta opción es sostenible sólo donde, a largo plazo, las cantidades retiradas están bien por debajo de la recarga, teniendo que tener cuidado además de evitar la reducción excesiva de flujo de agua subterránea hacia los ríos. El porcentaje de población global que sufrirá una disminución de recursos de agua subterránea renovable de más del 10% entre 1980 y 2080 fue calculado en un rango que va del 24% al 38%. El área afectada por una disminución de recursos de agua subterránea se incrementa linealmente con un aumento de temperatura entre 0° y 3° C. Por cada grado de aumento de temperatura, un 4% de área global se proyecta que sufra una disminución de recursos de agua subterránea de más del 30%, y un adicional 1% que sufra una disminución de más del 70%.
- Muchas medidas de mitigación del cambio climático afectan a los recursos hídricos: A) La forestación generalmente incrementa la evapotranspiración y disminuye la escorrentía total. Por otra parte, tiene impactos beneficiosos sobre la erosión del suelo, el riesgo de inundación local, la calidad del agua (nitrógeno, fósforo, sedimentos suspendidos) y la calidad del hábitat de los ríos. B) Para un escenario de biocarburantes de la Agencia Internacional de la Energía, el uso de agua para regar la producción de biocarburantes se proyecta que crece desde el 0,5% de los recursos renovables globales de agua en 2005 al 5,5% en 2030. La producción de biocarburantes va a incrementar el consumo de agua en algunos países de manera significativa, de acuerdo con las proyecciones (Alemania, Italia y Sudáfrica) y a agravar la ya seria escasez de agua en otros (como España y China). C) La generación de energía hidroeléctrica da lugar a la alteración de los regímenes de caudal del río, lo cual afecta negativamente a los ecosistemas de agua dulce, en particular la biodiversidad y la abundancia de organismos ribereños así como la fragmentación de los canales del río por presas tiene impactos negativos en las especies migratorias. D) La fuga de CO<sub>2</sub> a acuíferos de agua dulce desde acuíferos de agua salada usados para captura y almacenamiento de carbono (CCS) puede hacer que disminuya el pH entre 1 y 2 unidades y aumentar las concentraciones de metales, uranio y bario. La presión ejercida por inyección de gas puede empujar salmuera o agua salada a partes de agua dulce del acuífero. E) El fracking usa grandes cantidades de agua (entre 9000 y 30000 m<sup>3</sup> por pozo) mezclada con diferentes sustancias químicas de las que una parte vuelve a la superficie. Se sospecha que el fracking puede dar lugar a contaminación de acuíferos de agua dulce que estén por

---

<sup>2</sup> Acciones *low-regret* son aquéllas de coste relativamente bajo y que proporcionan relativamente grandes beneficios bajo climas futuros previstos

encima o de aguas superficiales, pero faltan estudios y observaciones apropiados. F) La densificación de áreas urbanas para reducir las emisiones por el tráfico está en conflicto con la idea de proporcionar espacio abierto adicional para inundación en el caso de desbordamiento.

- Algunas decisiones de gestión de recursos hídricos afectan a las emisiones de gases de efecto invernadero. Así, la gestión de demanda de agua tiene un impacto significativo sobre el consumo de energía porque requiere energía para bombear y tratar agua, calentarla y tratar las aguas residuales. Por ejemplo, el suministro y tratamiento de agua fueron responsables del 1,4% del consumo total de electricidad en Japón en 2008.

A continuación se presentan las principales conclusiones del capítulo 23, sobre Europa, en cuanto a recursos hídricos:

- Tendencias observadas y proyecciones futuras en cuanto al clima muestran cambios regionales en temperatura y precipitación en Europa (*confianza alta*), tal como aparece en el 4º informe de evaluación, 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 (*confianza alta*), sequías meteorológicas (*confianza media*) y eventos de precipitación intensa (*confianza alta*), con variaciones a través de Europa.
- Se espera que el cambio climático impida actividad económica en el sur de Europa más que en otras regiones europeas (*confianza media*), y en el futuro pueden incrementarse las disparidades entre regiones (*confianza baja*). El sur de Europa es particularmente vulnerable al cambio climático (*confianza alta*), y muchos sectores se verán afectados de manera adversa (turismo, agricultura, recursos forestales, infraestructuras, energía, salud de la población) (*confianza alta*).
- El aumento del nivel del mar y el incremento de eventos extremos en cuanto a precipitación aumentará el riesgo de inundaciones fluviales y costeras en Europa y, sin medidas adaptativas, aumentarán sustancialmente los daños por inundación (personas afectadas y pérdidas económicas) (*confianza alta*).
- Como consecuencia del cambio climático, la producción de energía hidroeléctrica probablemente disminuirá en todas las regiones de Europa, excepto en Escandinavia (*confianza alta*). En el sur de Europa dicha producción se espera que disminuya entre un 5% y un 15% en 2050 con respecto a 2005. La producción de energía eléctrica térmica probablemente disminuirá durante el verano, ya que habrá menor capacidad aprovechable (*confianza alta*).
- El cambio climático incrementará las necesidades de irrigación (*confianza alta*), pero la irrigación futura estará restringida por una escorrentía reducida, por las demandas de otros sectores y por los costes económicos. En torno al año 2050, la irrigación no será suficiente en algunas sub-regiones para prevenir los daños que las olas de calor causan a los cultivos (*confianza media*). Los costes del sistema aumentarán bajo todos los escenarios climáticos (*confianza alta*). La gestión integrada del agua, también a través de las fronteras de los países, se hace necesaria para abordar la competencia entre las

demandas futuras de la agricultura, la energía, la conservación y los asentamientos humanos.

- 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 (*confianza media*), 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.

### **3.7 Calentamiento global de 1,5°C. Informe Especial del IPCC (2018)**

El Acuerdo de París en su artículo 2 establece el objetivo de limitar el aumento de la temperatura mundial muy por debajo de los 2 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar aún más el aumento de la temperatura a 1,5 grados centígrados.

En el Prólogo del Informe se dice que muchos países consideraron que un nivel de calentamiento global cercano a 2º C podría no ser seguro y que existía un conocimiento limitado sobre las implicaciones de un nivel de calentamiento de 1,5ºC sobre riesgos relacionados con el clima y en términos de escala de ambición sobre mitigación y su factibilidad. Partes del Acuerdo de París invitaron al IPCC a valorar los impactos de un calentamiento de 1,5ºC por encima de los niveles preindustriales y las sendas de emisiones que permitirían alcanzar esta ambición global.

El resultado es este documento de 630 páginas. Se trata del primer informe del IPCC elaborado de manera conjunta por los Grupos de Trabajo I, II y III. Consta de 5 capítulos, cuyos títulos son los siguientes: 1) Marco y contexto. 2) Sendas de mitigación compatibles con 1,5ºC en el contexto del desarrollo sostenible. 3) Impactos del calentamiento global de 1,5ºC en los sistemas naturales y humanos. 4) Fortalecimiento e implementación de la respuesta mundial. 5) Desarrollo sostenible, erradicación de la pobreza y reducción de las desigualdades.

Algunas conclusiones generales del informe son las siguientes:

- Se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0º C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8ºC a 1,2ºC. Es probable que el calentamiento global llegue a 1,5ºC entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual (*nivel de confianza alto*).
- El calentamiento debido a emisiones antropogénicas desde el periodo preindustrial hasta el presente persistirá durante siglos y continuará causando cambios a largo plazo en el sistema climático, con impactos asociados (*confianza alta*), pero solo esas emisiones es improbable que causen un calentamiento global de 1,5ºC (*confianza media*).

- Riesgos para sistemas naturales y humanos relacionados con el clima son mayores para un calentamiento global de 1,5°C que para las condiciones actuales, pero menores que para 2°C (*confianza alta*). Estos riesgos dependen de la magnitud y tasa de calentamiento, de la localización geográfica, de los niveles de desarrollo y vulnerabilidad, y de las decisiones e implementación de opciones de mitigación y adaptación (*confianza alta*).

Los aspectos del informe relacionados con los recursos hídricos los encontramos principalmente en el capítulo 3. Destacamos las siguientes conclusiones:

- Se estima que se producirán varios cambios regionales en el clima como consecuencia de un calentamiento global de hasta 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales, entre ellos el incremento de las temperaturas extremas en muchas regiones (*confianza alta*) y el aumento de la frecuencia, la intensidad o la cantidad de las precipitaciones intensas en varias regiones (*confianza alta*).
- En términos de aridez y sequía, la limitación del calentamiento global a 1,5°C se espera que reduzca de manera sustancial la probabilidad de cambios extremos en cuanto a disponibilidad de agua en algunas regiones, en comparación con cambios bajo 2°C de calentamiento (*confianza media*). Para un cambio de 1,5°C a 2°C de incremento de calentamiento global, los estudios y análisis disponibles sugieren fuertes aumentos en la probabilidad de aridez y reducción en la disponibilidad de agua en la región Mediterránea (incluyendo el Sur de Europa, Norte de África y Oriente Próximo) y en el sur de África (*confianza media*). En la región Mediterránea ya se detecta la tendencia a la aridez con un calentamiento global de menos de 1°C (*confianza media*).
- Las proyecciones dan riesgos de escasez de agua mayores en 2°C que en 1,5°C en algunas regiones (*confianza media*). Dependiendo de condiciones socio-económicas futuras, limitar el calentamiento global a 1,5°C en comparación con 2°C puede reducir la proporción de población mundial expuesta a estrés hídrico inducido por el cambio climático hasta en un 50%, aunque hay una variabilidad considerable entre regiones (*confianza media*).
- La frecuencia y magnitud proyectadas de inundaciones en algunas regiones son menores bajo 1,5°C que bajo 2°C de calentamiento (*confianza media*). La exposición humana a un incremento en las inundaciones aparece en las proyecciones considerablemente menor en 1,5°C que en 2°C, aunque cambios proyectados crean riesgos regionales diferenciados (*confianza media*). Las diferencias en los riesgos entre regiones están muy influidos por condiciones socio-económicas (*confianza media*).
- En las proyecciones aparece que la limitación del calentamiento global a 1,5°C en comparación con 2°C hace que los impactos en los ecosistemas terrestres, acuáticos y costeros sean menores y que retengan más los servicios que prestan (*confianza alta*).

- Se prevé que los riesgos relacionados con el clima para la salud, los medios de subsistencia, la seguridad alimentaria, el suministro de agua, la seguridad humana y el crecimiento económico aumenten con un calentamiento global de 1,5°C, y que esos riesgos sean aún mayores con un calentamiento global de 2°C.

#### **4 Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020. Agua y cambio climático**

El *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos* es el reporte emblemático de ONU-Agua sobre cuestiones de agua y saneamiento, centrándose en un tema diferente cada año. El informe lo publica la UNESCO, en nombre de ONU-Agua, y su producción está coordinada por el Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de Recursos Hídricos. Tiene como objetivo proporcionar herramientas a los responsables de la toma de decisiones para la implementación del uso sostenible de los recursos hídricos.

En el Prefacio se indica que este informe de 2020 (UNESCO,ONU-AGUA, 2020) aborda los vínculos fundamentales entre el agua y el cambio climático, en el contexto de una agenda más amplia de desarrollo sostenible. Se centra en los desafíos, oportunidades y potenciales respuestas al cambio climático, en términos de adaptación, mitigación y aumento de resiliencia, que pueden ser atendidos mediante la mejora en la gestión y uso de los recursos hídricos, en tanto que se suministren agua y servicios de saneamiento para todos, de forma sostenible.

El informe, de 260 páginas, tras un extenso Prólogo sobre el estatus de los recursos hídricos bajo el contexto del cambio climático, consta de 14 capítulos. El informe es extenso y trata muchos temas interesantes, de los que a continuación sólo vamos a comentar algunos de ellos que hemos seleccionado.

Marcos de política internacional. En el informe se examinan los siguientes marcos de política internacional en lo que respecta al agua y cambio climático: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, el Acuerdo de París sobre el cambio climático y el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres.

*La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.* Fue adoptada el 25 de septiembre de 2015 por la Asamblea General de Naciones Unidas. Plantea 17 objetivos (ODS), con 169 metas que abarcan las esferas económica, social y ambiental.

Como ya se ha comentado en el apartado 2, el ODS 6 consiste en “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”. Este objetivo lleva 8 metas asociadas, algunas de ellas son las siguientes:

- De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible.
- De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial

atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.

- De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
- De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

En el Informe de Naciones Unidas de 2020 sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (UN, 2020), se destaca que, a menos que las tasas actuales de progreso se incrementen sustancialmente, las metas fijadas para el ODS 6 no se alcanzarán en 2030. Se presentan algunos datos interesantes:

- La proporción de población mundial que utiliza servicios seguros de agua potable aumentó del 61% en 2000 al 71% en 2017. A pesar del progreso, 2200 millones de personas en el mundo aun no disponen de esos servicios, incluyendo 758 millones que ni siquiera disponen de un nivel básico.
- La proporción de población mundial que utiliza servicios seguros de saneamiento aumentó del 28% en 2000 al 45% en 2017. A pesar del progreso, 4200 millones de personas en el mundo aun no disponen de esos servicios, incluyendo 2000 millones que ni siquiera disponen de un nivel básico.
- En 2017, solo el 60% de las personas disponía de instalaciones para lavarse las manos con agua y jabón en sus casas. Sólo el 28% en el conjunto de países menos desarrollados.
- Dos de cada cinco consultorios de salud en el mundo no disponen de instalaciones para lavado de manos con agua y jabón o para frotarse las manos con alcohol.
- La gestión integrada de recursos hídricos es un marco global que cubre políticas, instituciones, instrumentos de gestión y financiación para la gestión exhaustiva y colaborativa de los recursos hídricos. De 172 países, el 60% reconocen un nivel de implementación muy bajo, bajo o medio-bajo.
- La escasez de agua podría desplazar a 700 millones de personas en 2030.

Tal como se indica en el informe que se analiza en este apartado, el agua es esencial para las necesidades humanas básicas (ODS 6), pero también para los ecosistemas marinos (ODS 14) y terrestres (ODS 15), para la producción de alimentos (ODS 2) y energía (ODS 7), apoyar los medios de subsistencia (ODS 8) y la industria (ODS 9, 12) y proporcionar entornos sostenibles y saludables para vivir (ODS 1, 3, 11). Además, el agua tiene un papel fundamental que desempeñar tanto en la mitigación como en la adaptación al cambio climático (ODS 13), y contribuye a promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas (ODS 16) (UNESCO, ONU-AGUA, 2020).

*Acuerdo de París sobre el cambio climático.* Se adoptó el 12 de diciembre de 2015, en la COP 21 de París, entrando en vigor el 4 de noviembre de 2016, habiendo sido ratificado (a mediados del año 2020) por 189 de las 197 partes de la Convención.

Como ya se ha comentado en el apartado 3.7, el objetivo a largo plazo del Acuerdo de París es limitar el aumento de la temperatura mundial muy por debajo de los 2 grados centígrados por

encima de los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar aún más el aumento de la temperatura a 1,5 grados centígrados. El Acuerdo se centra en hacer frente a la mitigación y adaptación al cambio climático, así como a las necesidades financieras necesarias para alcanzar este objetivo.

En virtud del Acuerdo, cada Parte se compromete (de manera vinculante) a preparar, comunicar, mantener y aplicar medidas determinadas a nivel nacional (NDC por sus siglas en inglés) para mitigar y adaptarse al cambio climático. Estas medidas deben ser revisadas cada cinco años y están diseñadas para ser progresivas, siendo voluntarios los informes de las NDC sobre las medidas de adaptación. Se alienta a las Partes a que elaboren Planes Nacionales de Adaptación, destinados a identificar las necesidades de adaptación a medio y largo plazo y desarrollar las estrategias necesarias para abordarlas.

Aunque el agua no aparezca mencionada expresamente en el Acuerdo de París, es un componente esencial de casi todas las estrategias de mitigación y adaptación. En cambio, el agua sí se identifica como la prioridad número uno de las acciones de adaptación de la mayoría de las contribuciones previstas y determinadas a nivel nacional (NDC) y está directa o indirectamente relacionada con otras áreas prioritarias (UNESCO, ONU-AGUA, 2020).

El informe señala en el capítulo 10 sobre perspectivas regionales que hay variaciones significativas en cómo figura el agua en las NDC.

Es menos probable que el agua cuente en las NDC de los países desarrollados, que han tenido que centrarse en la mitigación, y pocas incluyen algún componente de adaptación. No incorporar el tema del agua en una NDC no significa necesariamente una falta de integración climática más amplia con respecto al agua. En los países de la Comisión Económica para Europa (CEPE), hay poco énfasis en el agua en sus NDC centradas en mitigación, pero la región tiene algunos de los ejemplos más sólidos de iniciativas climáticas-hídricas transfronterizas y regionales (UNESCO, ONU-AGUA, 2020).

En los países correspondientes a las Comisiones Económicas para África, Asia y Pacífico y Asia Occidental, más de la mitad de las NDC que mencionan medidas relacionadas con el agua describen actividades relacionadas tanto con la creación de instituciones como con la infraestructura. Los planes del sector del agua se mencionan en un poco más de un tercio de las NDC examinadas de los países de América Latina (UNESCO, ONU-AGUA, 2020).

No hay mecanismos formales que enlacen los objetivos de desarrollo sostenible con el Acuerdo de París, lo que resulta en procesos paralelos (UNESCO, ONU-AGUA, 2020).

*Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030.* Se adoptó en la tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas celebrada en Sendai (Japón), el 18 de marzo de 2015. Se trata de un instrumento sucesor del Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015. Un cambio importante con respecto al marco anterior consiste en el marcado énfasis puesto en la gestión del riesgo de desastres, en lugar de la gestión de desastres.

Establece 7 metas mundiales y las siguientes cuatro prioridades de acción: comprender el riesgo de desastres, fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo, invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia y aumentar la



preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y para “reconstruir mejor” en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción (UNISDR, 2015).

Si bien el agua rara vez se menciona en el Marco de Sendai, el agua fluye a través de cada una de las prioridades de acción y es fundamental para las 7 metas. Las inundaciones y tormentas representan casi el 90% de los desastres naturales más graves. Los peligros relacionados con el agua son particularmente sensibles incluso a pequeños cambios en el clima, por lo que la frecuencia, magnitud e intensidad de estos peligros están cambiando en el tiempo (UNESCO, ONU-AGUA, 2020).

Estos tres marcos de política internacional constituyeron un paso histórico para hacer frente a los desafíos mundiales más apremiantes, pero siguen sufriendo algunos de los problemas de acuerdos anteriores. En la práctica no se ha producido interrelación entre los diferentes objetivos de desarrollo sostenible, que además se abordan de manera separada a nivel mundial y nacional. De igual forma, la integración entre las agendas mundiales también se ha retrasado (UNESCO, ONU-AGUA, 2020).

#### Opciones de mitigación desde los recursos hídricos.

La adaptación y la mitigación son estrategias complementarias para gestionar y reducir los riesgos del cambio climático. Normalmente se relaciona a los recursos hídricos con políticas de adaptación. Sin embargo, también existen opciones de mitigación en cada uno de los sectores relacionados con el agua, aunque la mayoría no se reconocen. Por ello, consideramos que es interesante hacer referencia a dichas opciones, tal como se hace en el capítulo 3 del informe.

La mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero debidas a la gestión hídrica y al saneamiento provienen: 1) de la energía utilizada para hacer funcionar los sistemas, 2) de los procesos bioquímicos del agua o del tratamiento de las aguas residuales.

De acuerdo con lo que típicamente informan los países, las empresas de servicios públicos de agua y aguas residuales son responsables de entre el 3 y el 7% del total de emisiones de gases de efecto invernadero, aunque estas estimaciones no incluyen emisiones producidas por agua caliente en hogares y empresas, ni emisiones asociadas a la descarga de aguas residuales no tratadas (Trommsdorf, 2015). Según el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, el 80% de las aguas residuales son vertidas a ríos o mares sin un tratamiento adecuado, por lo que las emisiones relacionadas con el sector de suministro de agua y saneamiento y su potencial para contribuir de manera significativa a la mitigación del cambio climático no deben descuidarse (UNESCO, ONU-AGUA, 2020).

El uso de electricidad por parte del sector del agua representa aproximadamente el 4% de la producción mundial de electricidad. La Agencia Internacional de Energía (IEA) estima (para 2020) un consumo de electricidad por parte del sector de recursos hídricos de 978 TWh, repartidos de la siguiente forma: extracción (35,99%), tratamiento de aguas residuales (22,7%), distribución (19,94%), transporte (15,03%), desalación (5,73%) y reutilización (0,61%). Para 2040 estima un consumo de electricidad de 1473 TWh (un aumento del 50,6% con respecto a 2020), con los siguientes porcentajes: extracción (24,98%), desalación (23,42%), tratamiento

de aguas residuales (21,32%), transporte (14,93%), distribución (13,93%) y reutilización (1,43%). Destaca el importante aumento que se estima para la desalación (IEA, 2020).

Una disminución de recursos hídricos puede llevar a una mayor dependencia de otras fuentes de suministro de agua intensivas en energía como la desalación. Hay un potencial significativo para ahorrar energía en el sector del agua si se explotan todas las posibilidades de eficiencia energética y de recuperación de energía. Las aguas residuales contienen cantidades significativas de energía incorporada que si se aprovecha puede cubrir más de la mitad de las necesidades de electricidad de las instalaciones municipales para aguas residuales. También hay una importante oportunidad de reducir pérdidas de agua a lo largo de la cadena de suministro (escapes, roturas y robos), que podrían ahorrar agua y energía (IEA, 2020).

Las emisiones de metano causadas por la descomposición de material orgánico en los embalses de presas pueden contribuir hasta en un 1,5% de las emisiones globales (CO<sub>2</sub> equivalentes), una cifra que puede aumentar debido a la construcción de nuevas presas en diversos lugares y al aumento de la erosión debido al cambio de uso del suelo y prácticas inadecuadas de manejo de la tierra. Además, el aumento de la descarga de aguas residuales y la escorrentía rica en fertilizantes pueden conducir a mayores niveles de eutrofización. Se estima que las emisiones de metano resultantes de lagos y embalses pueden aumentar entre un 30% y un 90% hasta 2100 (UNESCO, ONU-AGUA, 2020).

De entre los ecosistemas terrestres, los humedales, incluidas las turberas, son los que albergan las mayores reservas de carbono, ya que almacenan el doble de carbono que los bosques. Sin embargo, los humedales están bajo alta presión, y la tasa de pérdida de humedales es tres veces mayor que la de los bosques. Según el Programa de Desarrollo de Naciones Unidas, en el último siglo el mundo ha perdido el 70% de sus humedales naturales. Un humedal mal administrado puede convertirse en una fuente de gases de efecto invernadero en lugar de un filtro. Si se tiene en cuenta que los humedales brindan múltiples beneficios colaterales, como atenuación de inundaciones y sequías, depuración de agua y biodiversidad, su conservación y restauración son de suma importancia. Evitar la pérdida de humedales es menos costoso que su restauración (UNESCO, ONU-AGUA, 2020).

En el capítulo 12 sobre financiación climática se parte de que la gestión de los recursos hídricos está actualmente sub financiada y necesita una mayor atención por parte de los gobiernos. También se señala que la financiación del agua ofrece considerables beneficios potenciales ya que las medidas preventivas podrían tener un retorno positivo de las inversiones en forma de evitar pérdidas futuras al tiempo que mejoraría las prácticas actuales de gestión del agua. Los defensores de los proyectos hídricos podrían tener como objetivo aumentar la participación en la financiación climática y resaltar la relación del agua con otros sectores ligados al clima para así conseguir más financiación para la gestión hídrica. Los proyectos que deseen utilizar la financiación climática deben abordar explícitamente las causas y/o consecuencias del cambio climático para que se consideren financiables. Como hay mucha más financiación climática para mitigación que para adaptación (al menos así ha sido hasta ahora), es importante insistir en los aspectos de mitigación de los recursos hídricos (UNESCO, ONU-AGUA, 2020).

## **5 El agua y la resiliencia al cambio climático: un enfoque más allá de la infraestructura tradicional natural**

El cambio climático se manifiesta a través del agua. Nueve de cada diez desastres naturales se relacionan con el agua y el riesgo climático vinculado al agua se extiende en cascada a través de los sistemas alimentarios, energéticos, urbanos y ambientales (WB, 2019a). Para lograr los objetivos relacionados con el clima y el desarrollo (ODS, 2015) es necesario considerar los recursos hídricos como un elemento central para las estrategias de adaptación y tal y como se recoge en varias de las estrategias de organismos internacionales de referencia en la gestión del agua, así como el GWSP (Global Water Security and Sanitation Partnership), es necesario orientar la gestión hídrica a la reducción de la vulnerabilidad y el incremento de la resiliencia al cambio climático (WB, 2019b; BID, 2020a; BID, 2020b; UNESCO, ONU-AGUA, 2020).

Los servicios ecosistémicos proporcionados por cuencas y litorales saludables aparecen por tanto como un elemento esencial para propiciar el desarrollo con resiliencia al clima, con beneficios potenciales para el sector agrario y energético. Cada vez son más los estudios que ponen el foco de la resiliencia en los mecanismos de adaptación no basados en la infraestructura gris, dado que no todos los desastres naturales pueden evitarse y es necesario fomentar la recuperación o adaptación a los efectos de aquellos que ocurrirán. Por ejemplo, Hallegatte et al (2017) señalan que las políticas que hacen que las personas sean más resilientes —es decir más capaces de afrontar las consecuencias de desastres que no se pueden evitar y recuperarse de los mismos— pueden ahorrar 100 mil millones de dólares al año. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2020a) indica que para cerrar su brecha de infraestructura, América Latina y el Caribe necesitan algo más que invertir en nuevas estructuras y pone de manifiesto cómo el desarrollo de una nueva gama de servicios basados en la tecnología, pero también en el desarrollo de servicios ecosistémicos puede revertir en una mayor eficiencia de las inversiones en infraestructura tradicional y que existe el potencial para transformar los sectores de energía, transporte y agua con un enfoque resiliente desde los servicios.

Otro ejemplo de este cambio de paradigma, se encuentra en la estrategia del Banco Mundial para la seguridad hídrica “Plan de Acción Estratégico: Un mundo con seguridad hídrica para todos” (WB, 2019a), que menciona las siguientes medidas clave para lograr los objetivos ODS y de desarrollo en un contexto de cambio climático:

- Ampliar la gestión integrada de los recursos hídricos más allá de los enfoques tradicionales
- Promover inversiones y soluciones que incorporen la gestión de la infraestructura natural
- Apoyar acciones a escala para generar resiliencia frente al clima combinando la gestión de cuencas, la infraestructura sostenible, y el empoderamiento y el aprendizaje a través de instituciones flexibles.

Las medidas de mitigación, adaptación y resiliencia tienen por tanto al agua como elemento central, no hay infraestructura, tecnología o servicio que logre la eficiencia sin una buena planificación de los recursos hídricos, tanto desde el punto de vista de su gestión (oferta) como desde el punto de vista de sus usos (demanda).

Otro reciente estudio del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2020b) propone buenas prácticas que podrían demostrar que la adaptación al cambio climático puede ser rentable incluso para el sector privado (por tanto sin incluir el coste social). A través del proyecto de Proadapt, Mercados Privados para la Resiliencia Climática (PMCR, por sus siglas en inglés) un grupo de expertos de 6 países demostró que se puede involucrar a los productores privados y que las estrategias de adaptación fueron una oportunidad para aumentar sus beneficios, en muchos de los ejemplos a través de una mejora en la gestión del agua. Algunos ejemplos de dichas buenas prácticas incluyen: (i) la cosecha de agua a través de sembrado forestal para plantar café en sombra de calidad en Nicaragua, (ii) créditos para empresas desarrolladoras de sistemas eficientes de colecta de agua en las casas en Jamaica, (iii) información meteorológica a través de mensajería instantánea para evitar las pérdidas por inundaciones en el Gran Chaco en Paraguay, o (iv) el fomento de la economía circular en Sao Paulo, a través de la producción de diésel, para evitar la escasez de agua.

## **6 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 que:

- Prevenga todo deterioro adicional y proteja y mejore el estado de los ecosistemas acuáticos y, con respecto a sus necesidades de agua, de los ecosistemas terrestres y humedales.
- Promueva un uso sostenible del agua.
- Se establezcan medidas específicas de reducción progresiva o supresión gradual de los vertidos, las emisiones y las pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias.
- Garantice la reducción progresiva de la contaminación del agua subterránea y evite nuevas contaminaciones.
- Contribuya a paliar los efectos de las inundaciones y sequías.

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).

La Actuación 3 consiste en introducir la adaptación en el marco del “pacto entre alcaldes” para la adopción de estrategias de adaptación locales y actividades de concienciación.

La Actuación 4 se propone remediar el déficit de conocimientos. Se señalan las siguientes lagunas relacionadas con los conocimientos: información sobre daños y sobre costes y beneficios de la adaptación; evaluaciones de riesgos y análisis de ámbito regional y local; marcos, modelos e instrumentos de apoyo a la toma de decisiones y para evaluar el grado de eficacia de las diferentes medidas de adaptación; medios de seguimiento y evaluación de los esfuerzos realizados en épocas anteriores.

La Actuación 8 trata de promover los seguros y los demás productos financieros para las decisiones sobre inversiones y empresas resistentes. La finalidad de la Comisión es mejorar la penetración en el mercado de los seguros contra las catástrofes naturales.

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

### **6.1 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<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> La Agencia Europea del Medio Ambiente es un organismo de la Unión Europea (UE) que entró en vigor a finales de 1993. En la actualidad son países miembros de la Agencia los 28 países de la UE más Islandia,

A continuación se resumen los principales apartados que se analizan en el informe.

*Impactos socioeconómicos en la Unión Europea*

Una de las fuentes de información utilizadas para la elaboración de este informe ha sido el cuestionario enviado por la Agencia Europea del Medio Ambiente y el Ministerio de Medio Ambiente de Alemania a cada uno de los países miembros. En la Tabla 1 se recogen las respuestas recibidas en cuanto a la opinión de los países sobre los principales impactos socioeconómicos.

Tabla 1. Opinión de los países sobre los principales impactos socioeconómicos

<b>Impacto del cambio climático</b>	<b>Impacto socioeconómico</b>
Episodios extremos inundaciones	<b>Pérdida económica:</b> Austria, Francia, Países Bajos, España, Suecia, Reino Unido, Estonia, Hungría, Malta, Eslovenia y Rumanía
	<b>Infraestructura y propiedad:</b> Austria, Bélgica, Finlandia, Irlanda, Lituania, Países Bajos, Noruega, Eslovaquia, Suecia, Reino Unido, Estonia y Malta
	<b>Pérdida de vidas:</b> Bélgica y Rumanía
	<b>Efecto adverso para la salud humana:</b> Hungría.
Episodios extremos: sequías/olas de calor	<b>Pérdida económica:</b> Austria, Reino Unido, Irlanda, Hungría y Eslovenia
	<b>Pérdida de vidas:</b> Francia e Italia
	<b>Impacto sobre la agricultura:</b> Francia, Suiza, Noruega, Reino Unido, Irlanda y Malta
Escasez de agua	<b>Limitación del abastecimiento, competencia entre usuarios:</b> Bélgica, Chipre, Finlandia, Irlanda, Noruega, España, Suecia, Reino Unido, Malta y Eslovenia
	<b>Pérdida en energía hidroeléctrica y nuclear:</b> España y Suiza
	<b>Intensificación de los conflictos por el agua, restricción del consumo:</b> Eslovaquia, España, Suiza, Irlanda, Luxemburgo y Hungría
Altos caudales	<b>Beneficio hidroeléctrico:</b> Finlandia, Noruega y Suecia
	<b>Riesgos en la seguridad de los embalses:</b> Noruega
Aumento de la temperatura	<b>Enfermedades:</b> España
	<b>Pérdida de turismo invernal:</b> Suiza

*Fuente: Encuesta de la AEMA y de Alemania (MMA, 2009)*

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

---

Liechtenstein, Noruega, Suiza y Turquía. El informe que se analiza se refiere a todos los países que son miembros de la Agencia, no sólo a los de la UE.

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.

### *Políticas de adaptación*

A la hora de elegir las acciones de adaptación a llevar a cabo en el sector de recursos hídricos se establecen las tres prioridades siguientes:

- La primera prioridad de la adaptación debe ser la disminución de la vulnerabilidad de las personas y las sociedades al desplazamiento de las tendencias hidro-meteorológicas, el aumento de la variabilidad y los episodios extremos.
- La segunda prioridad debe ser la protección y la recuperación de los ecosistemas y los recursos del suelo y agua que suministran bienes y servicios críticos.
- La tercera prioridad debe ser la disminución del déficit entre la oferta y la demanda de agua. Las estrategias convencionales para aumentar la oferta ya no sirven para satisfacer las necesidades crecientes y no pueden cubrir la incertidumbre generada por el aumento de la variabilidad climática y el cambio climático. Hace falta disminuir la demanda de agua.

En la Tabla 2 se presenta un marco útil para todo tipo de actuaciones en materia de adaptación, que aparece en el informe.

Tabla 2. Tipología de las posibles estrategias de adaptación

Tipo de adaptación	Descripción y ejemplos de aplicación
Compartir pérdidas	Estrategias del tipo de los seguros. Utilización de otros productos financieros nuevos que cubren el riesgo. Diversificación.
Prevenir los efectos estructurales y tecnológicos (suele depender de nuevas inversiones)	Soluciones de alta ingeniería y aplicación de normas de diseño mejoradas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la capacidad de embalse</li> <li>• Aumento de los trasvases</li> <li>• Aplicación de programas de eficiencia</li> <li>• Ampliación de programas de protección costera</li> <li>• Modernización de los sistemas de transporte de aguas residuales y aguas de lluvia</li> <li>• Construcción de viviendas resilientes</li> <li>• Modificación de las infraestructuras de transporte</li> <li>• Instalación o adopción de medidas en el riesgo de los cultivos</li> <li>• Acondicionamiento del espacio de los ríos</li> <li>• Creación de corredores de vida silvestre</li> </ul>
Prevenir los efectos: legislativos, reglamentarios e institucionales	Búsqueda de nuevas formas de ordenación transversal a través de los sectores individuales y las áreas de responsabilidad (integración). Cambio de las prácticas tradicionales de ordenación territorial para dar mayor importancia a factores nuevos como el riesgo de inundación y el mantenimiento del equilibrio entre la oferta y la demanda de agua y la seguridad del abastecimiento. Adopción de nuevos métodos de gestión de la incertidumbre. Aportación de más recursos para la defensa de las costas y los estuarios contra las inundaciones. Revisión de los manuales técnicos de los planificadores. Introducción del cambio climático entre los criterios de designación de los espacios de protección de la biodiversidad. Modificación de las normas de diseño (por ejemplo, la normativa de construcción) y vigilancia de su cumplimiento.
Evitar o aprovechar los cambios en los riesgos: cambiar la ubicación y otras estrategias de prevención	Emigración de la población lejos de las áreas de alto riesgo. Plantación de nuevos cultivos agrícolas. Cambio de la localización de las viviendas nuevas, las industrias consumidoras de agua y el turismo. Mejora de los sistemas de predicción para avisar con antelación sobre los riesgos y los impactos climáticos. Planes de contingencia y actuaciones en caso de catástrofe.
Investigar	Uso de la investigación para: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocer mejor la relación entre los cambios climáticos pasados y actuales y su efecto en los sistemas ambientales, sociales y económicos (por ejemplo, la hidrología fluvial y costera, la tolerancia a la sequía y la distribución de la flora y la fauna, los impactos económicos sobre los sectores industriales claves y las economías regionales)</li> <li>• Mejorar la predicción climática a corto plazo y la caracterización de los riesgos</li> <li>• Generar datos espaciales y temporales de mayor resolución sobre la futura variabilidad del clima a partir de escenarios climáticos basados en modelos</li> <li>• Obtener más información sobre la frecuencia y la magnitud de los episodios extremos bajo la influencia del cambio climático</li> <li>• Encontrar mejores indicadores regionales del cambio climático</li> <li>• Realizar evaluaciones integradas del impacto climático basadas en los riesgos</li> </ul>
Educar el comportamiento	Alargar los plazos de planificación (necesidad de contemplar no sólo el intervalo inmediato de dos a cinco años, sino las décadas de 2020, 2050 y posteriores). Disminución del desigual grado de concienciación de las partes interesadas respecto al cambio climático. Aumento de la sensibilidad de la población sobre la necesidad de las actuaciones individuales ante el cambio climático (por ejemplo, en materia de salud, protección del hogar e inundaciones) y aceptación de los cambios en las políticas públicas (por ejemplo, en materia de protección de las costas, protección de los espacios naturales y conservación de la biodiversidad)

Fuente: MMA (2009)



### *El cambio climático y la política del agua en la Unión Europea*

La Directiva Marco del Agua (DMA) (Directiva 2000/60/CE) entró en vigor el 22 de diciembre de 2000 y establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Su objetivo es asegurar el buen estado de las aguas superficiales y subterráneas en los Estados miembros de la Unión Europea, incluyendo además las aguas continentales, las aguas costeras y las de transición.

En el año 2001 se estableció la Estrategia Común de Implantación (ECI) de la DMA, que define una estrategia consensuada que sirve de guía orientativa para la aplicación de la DMA. La ECI ha desarrollado una guía para el análisis económico y la necesidad de tener en cuenta el cambio y las incertidumbres, incluyendo una referencia específica al cambio climático. El análisis económico debe asegurar que, una vez identificadas las medidas de control de las presiones, se realice un análisis coste-eficacia para determinar el mejor conjunto de medidas. Además, debe determinar si el cumplimiento de un objetivo en una masa de agua supone un coste desproporcionado.

El Programa Europeo de Cambio Climático de 2006 (PECCII) incluye un programa de impactos y adaptación. En la reunión del PECCII sobre el agua se reconoció que la DMA es un instrumento clave para la política de adaptación al cambio climático en el sector de recursos hídricos. El tratamiento que se da al sector del agua puede servir de ejemplo para otros sectores porque requiere que los Estados miembros :

- Se comprometan a realizar un inventario exhaustivo de las presiones ambientales, incluyendo las presiones adicionales del cambio climático.
- Apliquen un enfoque a nivel de cuenca hidrográfica, traspasando las fronteras administrativas.
- Se marquen un objetivo a largo plazo para la gestión de los ecosistemas.
- Controlen los impactos ambientales relevantes (los del cambio climático y otros).
- Definan objetivos claros de calidad ambiental.
- Formulen y apliquen planes de gestión con medidas concretas para cumplir dichos objetivos.
- Revisen sus planes de gestión periódicamente para considerar los datos e informaciones más recientes.

Con este enfoque, la Directiva define ciclos de gestión de seis años, empezando los primeros planes de gestión en 2009 (con objetivos hasta 2015), con la primera revisión y actualización en 2015.

En el informe se considera que las cuestiones clave y los aspectos relacionados con la interacción entre el marco político introducido por la DMA y el cambio climático son los siguientes:

- El cambio climático puede alterar los parámetros cuantitativos de carácter hidro-morfológico y físico-químico que determinan el estado biológico de las masas de agua.

- El cambio climático puede aumentar la frecuencia de los episodios extremos de inundación.
- El cambio climático puede aumentar la frecuencia de las sequías y la escasez de agua.

*Actividades y problemas nacionales sobre el cambio climático en relación con los recursos hídricos*

El capítulo 3 del informe utiliza información procedente de varias fuentes para ofrecer una panorámica de las prácticas existentes y de las políticas e inversiones planteadas para el desarrollo de la adaptación al cambio climático. En concreto, las fuentes utilizadas en el informe son las siguientes:

- La encuesta sobre cambio climático y agua realizada por la AEMA y el Ministerio de Medio Ambiente de Alemania.
- Las comunicaciones nacionales a la Convención Marco de Cambio Climático.
- Las respuestas a un cuestionario sobre sequía y escasez de agua, distribuido por la Comisión Europea.

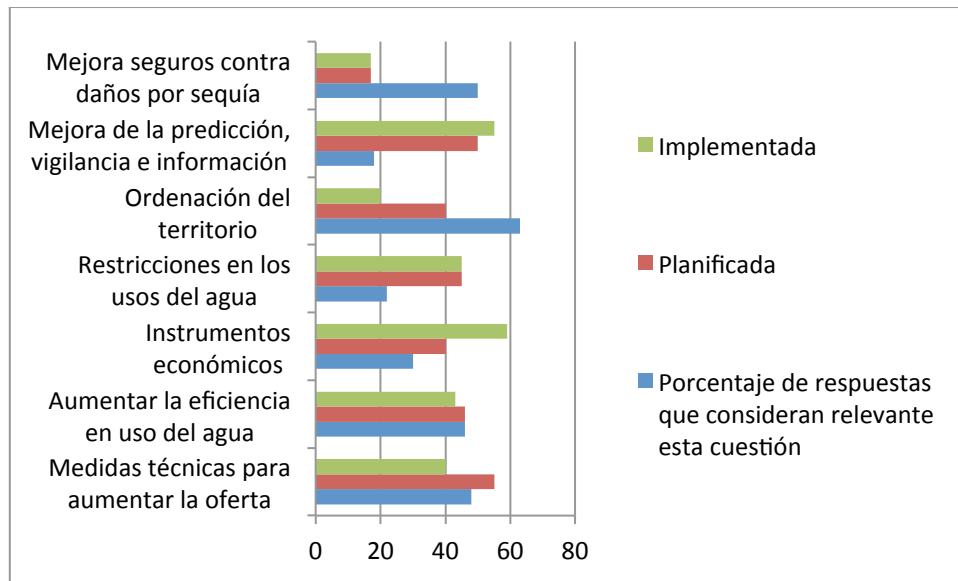
El Anexo 1 del informe presenta información bastante detallada de cada uno de los siguientes 28 países de Europa: Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Malta, Países Bajos, Noruega, Portugal, Rumanía, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza y Reino Unido (con información separada entre Inglaterra-Gales y Escocia). Es decir, 25 países de la Unión Europea (los 28, con la excepción de Croacia, Luxemburgo y Polonia), más Islandia, Noruega y Suiza. Para cada uno de dichos países, en el informe se proporciona información sobre los tres aspectos siguientes:

- Sinopsis de problemas y acciones de adaptación.
- Resumen de las acciones de adaptación y su estado de aplicación.
- Información sobre el uso de los instrumentos comunitarios y otras políticas nacionales en relación a la adaptación, la demanda y gestión del agua.

En la Figura 2 se presenta el porcentaje de respuestas que consideran relevante la cuestión de aplicación y planificación futura de medidas de control de la sequía y la escasez de agua. Se han identificado las siete líneas de actuación siguientes:

- Medidas técnicas (de ingeniería) para aumentar la oferta. Por ejemplo, volumen de los embalses, trasvases, desalinización, etc.
- Aumentar la eficiencia de utilización del agua. Algunos ejemplos: disminución de pérdidas, utilización de aguas grises, regadíos más eficientes.
- Instrumentos económicos. Por ejemplo, tarificación del agua, contadores, licencias de extracción, etc.
- Restricciones en los usos del agua. Por ejemplo, establecimiento de una lista de prioridades con escasez de agua.

Figura 2. Aplicación y planificación futura de las medidas de control de la sequía y la escasez de agua: Porcentaje de respuestas que consideran relevante esta cuestión (%)



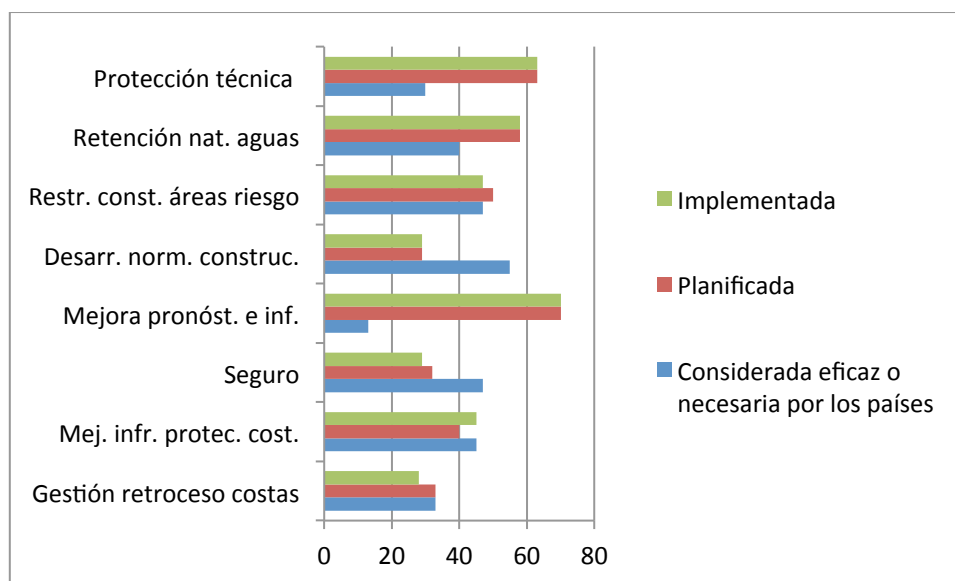
Fuente: MMA (2009)

- Medidas de planificación del paisaje para mejorar el balance hídrico. Por ejemplo, reforestación, disminución del sellado de los suelos, cambios en los usos de territorio, etc.
- Mejora de la predicción, vigilancia e información.
- Mejora de las líneas de seguro para cubrir los daños causados por las sequías.

En la Figura 3 se presenta el porcentaje de respuestas que consideran relevante la cuestión de aplicación y planificación futura de medidas de control de las inundaciones. Se han identificado las ocho líneas de actuación siguientes:

- Medidas técnicas (de ingeniería) para la protección contra inundaciones a base de diques, muros, ampliación de embalses y mejora de la red de drenaje.
- Medidas para la retención de agua en los paisajes naturales. Por ejemplo, restauración de las llanuras de inundación o cambio en los usos del territorio.
- Restricción del desarrollo de los asentamientos y las construcciones en áreas de riesgo.
- Desarrollo de normativa, códigos y reglamentos de construcción. Por ejemplo, construcción con superficies permeables, tejados ecológicos, etc.
- Mejora de los sistemas de predicción e información.
- Mejora de las líneas de seguros para cubrir los daños de inundaciones.
- Reforzamiento y ampliación de la actual infraestructura de protección costera existente.
- Estrategia de retroceso de las costas. Por ejemplo, realineación controlada de las presas.

Figura 3. Aplicación y planificación futura de las medidas de control de las inundaciones: Porcentaje de respuestas que consideran relevante esta cuestión (%)



Fuente: MMA (2009)

## 6.2 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 Europea<sup>4</sup>:

<sup>4</sup> 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.

- 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 3. 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
<b>Unión Europea</b>	<b>3,1</b>	<b>3,9</b>	<b>2,4</b>	<b>2,4</b>

Fuente: European Commission, 2014

En la Tabla 3 se presentan los cambios de temperatura, en grados centígrados, en las simulaciones climáticas para 2071-2100, en comparación con el periodo 1961-1990. Se observa que el aumento de temperatura es mayor en la región Norte de Europa y menor en Reino Unido e Irlanda. Si se quiere establecer la comparación con el nivel pre-industrial, hay que tener en cuenta que el incremento de temperatura global del periodo 1961-1990, con respecto a la época pre-industrial, es aproximadamente de 0,3° C.

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.

En la Tabla 4 se presentan los cambios de precipitación, en tanto por ciento, en las simulaciones climáticas para 2071-2100, en comparación con el periodo 1961-1990. En dicha Tabla se observa cómo las precipitaciones aumentan en el Norte de Europa y disminuyen en el Sur de Europa.

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 4. 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
<b>Unión Europea</b>	<b>1</b>	<b>-2</b>	<b>6</b>	<b>-1</b>

*Fuente: European Commission, 2014*

#### *Impactos en agricultura*

En la Tabla 5 se presentan los cambios en la productividad de las cosechas para el periodo 2071-2100 con respecto a 1961-1990, tal como pronostican las simulaciones. En el conjunto de la Unión Europea, de acuerdo con el modelo utilizado en el estudio, la productividad se reduce el 11% en el escenario de Referencia y el 2% en el escenario de 2° C. Sin embargo, el impacto varía mucho de unas regiones a otras, produciéndose un aumento de productividad en el Norte de Europa (sobre todo) y en el Sur de Europa Central para los dos escenarios analizados, y una disminución de productividad en el Sur de Europa (sobre todo) y en el Norte de Europa Central. El caso de la región del Reino Unido e Irlanda es atípico, ya que se produce una pequeña disminución para el escenario de Referencia y un gran aumento para el escenario de 2° C. Los peores pronósticos en los dos escenarios corresponden al Sur de Europa.

Tabla 5. 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

#### *Impactos de las inundaciones causadas por los ríos*

Para estimar los cambios en la frecuencia y severidad de las inundaciones causadas por ríos, se utiliza el modelo hidrológico LISFLOOD, desarrollado para pronosticar inundaciones y valorar los correspondientes impactos a escala Europea. El modelo utiliza rejillas de 5Km x 5Km de resolución. Los principales resultados que proporciona el modelo son los daños anuales esperados y la población afectada esperada (por año).

En la Tabla 6 se presentan los daños anuales esperados causados por inundaciones causadas por ríos. El periodo de control se refiere a 1961-1990.

Tabla 6. 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.

## Sequías

El análisis de sequías hidrológicas está apoyado en simulaciones hidrológicas realizadas con el modelo LISFLOOD, con realizaciones climáticas basadas en el marco A1B. De las simulaciones diarias para todas las celdas correspondientes a ríos se extraen flujos anuales mínimos a lo largo de Europa y, utilizando análisis de valores extremos se obtiene la distribución de cambios en la frecuencia y magnitud de sequías evaluadas entre 2071-2100 y el periodo de control 1961-1990.

Los impactos que se presentan no dan valores monetarios y no incluyen consecuencias sobre otros sectores que pueden resultar afectados por sequías, como navegación o producción de energía. Se considera que el umbral a partir del cual se produce impacto consiste en el caudal mínimo para un periodo de 20 años; es decir, la productividad media de las cosechas o las personas afectadas sufren impactos negativos a partir de caudales bajos que ocurren una vez en 20 años o con menor frecuencia.

La Tabla 7 presenta la superficie de tierra agrícola afectada por sequías. El único escenario que se analiza es el de Referencia. En el conjunto de la Unión Europea, se pasa de una superficie afectada de 96.000 Km<sup>2</sup>/año en el periodo base, a otra de 710.000 Km<sup>2</sup>/año a finales del siglo XXI, lo que supone un incremento del 640%. El mayor empeoramiento se produce en la región del Sur de Europa, con un incremento del 1.407%. En el Norte de Europa se produce una reducción en la superficie afectada.

Tabla 7. Superficie de tierra agrícola afectada por sequía. En miles de Km<sup>2</sup> 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, los resultados se presentan en la Tabla 8. 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).

Tabla 8. Número de personas afectadas por sequías. En millones de personas al año.

	Unión Europea	Norte de Europa	R. Unido e Irlanda	Norte de Europa Central	Sur de Europa Central	Sur de Europa
Control	22	1	3	7	6	5
Referencia	153	0	18	18	37	80
Cambio %	592	-66	560	153	642	1.378

Fuente: European Commission, 2014



## Costas

Para estudiar los impactos del cambio climático en las costas se utiliza DIVA (*Dynamic Interactive Vulnerability Assessment*), que es un modelo integrado de sistemas de costa que valora los impactos biofísicos y socioeconómicos de la subida del nivel del mar y el desarrollo socioeconómico. Se evalúan varios tipos de impacto biofísico para cada segmento costero, dependiendo de la subida del nivel del mar, incluyendo pérdidas en tierra seca a causa de la erosión costera e inundaciones debidas a oleajes y efectos sobre las aguas de los ríos. El modelo puede considerar dos tipos de adaptación pública: Construcción o elevación de diques y alimentación de playas/orillas. En este proyecto PESETA II no se considera adaptación pública.

Tabla 9. Impacto de las inundaciones causadas por mar. 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	4.963	225	966	2.613	997	163
Referencia	17.159	1.035	2.987	9.438	2.634	1.065
Cambio %	246	361	209	261	164	555
2° C	13.787	553	2.464	7.778	2.089	903
Cambio %	178	146	155	198	110	455

Fuente: European Commission, 2014

En la Tabla 9 se presentan los resultados en cuanto a daños estimados a causa de inundaciones por mar. A nivel global de Unión Europea, los daños podrían más que triplicar los correspondientes al periodo de control, en el escenario de Referencia, debido principalmente al aumento de los daños estimados en la región del Norte de Europa Central, que es la región con mayores daños causados por este motivo. Para los dos escenarios considerados, los mayores daños se dan en la región del Norte de Europa Central, pero los mayores incrementos (en tanto por ciento) con respecto al periodo de control se dan en la región del Sur de Europa.

## 7 Conclusiones

El cambio climático afecta a ecosistemas, sociedades humanas y economías de diversas formas, y el agua es el medio primario a través del cual se sienten estos impactos. En respuesta al reto que supone el cambio climático, el marco conceptual de la seguridad hídrica responde a la necesidad de no entender la dotación hídrica como un fin en si mismo, sino como un recurso para dar mejor servicio que redunde en bienestar humano, desarrollo económico y respeto por el medio ambiente.

Los impactos del cambio climático en los sistemas de agua y su gestión de 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.

Si bien no hay mucha discrepancia acerca del incremento de las temperaturas, que han sido simuladas con diferentes Modelos de Circulación General (GCM por sus siglas en inglés) en escenarios con distintas condiciones, las previsiones sobre las tendencias de las precipitaciones son más variables y ambiguas. A menudo, las tendencias en los eventos extremos (precipitaciones más fuertes, olas de calor, sequías prolongadas) muestran una dirección más clara que las tendencias de las precipitaciones totales anuales y que los patrones estacionales.

El primer informe de evaluación del IPCC de 1990 ya advertía de que cambios en las condiciones climáticas debidas al aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero alterarían los recursos hídricos, su distribución en el espacio y en el tiempo, el ciclo hidrológico de los cuerpos de agua y los requerimientos de recursos hídricos en diferentes regiones.

Posteriormente el IPCC ha publicado otros cuatro informes de evaluación, además de un documento técnico monográfico sobre el cambio climático y el agua, en los que se recogen muchos impactos del cambio climático en la hidrología y los recursos hídricos, que se analizan en el trabajo, junto con otras importantes conclusiones de estos documentos. La cuenca Mediterránea y el sur de Europa aparecen repetidamente en estos informes como zonas especialmente vulnerables, que sufrirán una disminución de recursos hídricos a causa del cambio climático.

En el año 2015, la comunidad internacional puso en marcha tres importantes mecanismos para abordar importantes problemas globales que afectan a la humanidad, como el cambio climático y los problemas que afectan a los recursos hídricos: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, el Acuerdo de París sobre el cambio climático y el Marco Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres. Estos tres marcos de política internacional constituyeron un paso histórico para hacer frente a los desafíos mundiales más apremiantes, pero siguen sufriendo algunos de los problemas de acuerdos anteriores. En la práctica no se ha producido interrelación entre los diferentes objetivos de desarrollo sostenible, que además se abordan de forma separada a nivel mundial y nacional. No hay mecanismos formales que enlacen los objetivos de desarrollo sostenible con el Acuerdo de París, lo que resulta en procesos paralelos. La integración entre las diferentes agendas mundiales va con retraso.

Existe una idea bastante extendida de que la mitigación del cambio climático tiene que ver con la energía, mientras que la adaptación corresponde al agua. Esta idea está cambiando, ya que los recursos hídricos pueden y deben jugar también su papel en la mitigación, lo cual se analiza en este trabajo.

Los impactos climáticos en el periodo 2071-2100, en comparación con el periodo 1961-1990 que pronostican los modelos del JRC de la Unión Europea y en lo que respecta al sur de Europa consisten en importantes reducciones en las precipitaciones, disminución en la productividad de las cosechas, aumento en los daños esperados por inundaciones causadas tanto por los ríos como por el mar y aumento de superficie de tierra y de personas afectadas por sequías.

Los servicios ecosistémicos proporcionados por cuencas y litorales saludables aparecen como un elemento esencial para propiciar el desarrollo con resiliencia al clima, con beneficios potenciales para los sectores agrario y energético. De entre los ecosistemas terrestres, los

humedales son los que albergan mayores reservas de carbono, ya que almacenan el doble de carbono que los bosques. Si se tiene en cuenta que los humedales brindan múltiples beneficios colaterales, como atenuación de inundaciones y sequías, depuración de agua y biodiversidad. Su conservación y restauración son de suma importancia.

## Referencias

Barros, V. R., Field, C. B., Dokken, D. J., Mastrandrea M. D., Mach, K. J., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R. and White, L. L. (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, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

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.

BID (2020a). *From structures to services: the path to better infrastructure in Latin America and the Caribbean*. [Eds] Cavallo E, Powell A, Serebrisky T. Inter-American Development Bank. En Internet: <https://publications.iadb.org/publications/english/document/From-Structures-to-Services-The-Path-to-Better-Infrastructure-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf>.

BID (2020b). *Proadapt: Movilizando el sector privado para la resiliencia al cambio climático*. Autor: Marcelo Furlán. Co-autores y editors: Svante Persson, María Margarita Cabrera y David Zepeda. En Internet: [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Proadapt\\_Movilizando\\_el\\_sector\\_privado\\_para\\_la\\_resiliencia\\_al\\_cambio\\_climatico.pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Proadapt_Movilizando_el_sector_privado_para_la_resiliencia_al_cambio_climatico.pdf).

Bisaro A., Roggero M., Villamayor-Tomas S. (2018). Institutional Analysis in Climate Change Adaptation Research: A Systematic Literature Review. *Ecological Economics*, 151, 34-43.

CEPAL (2016). *Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe*. Serie Recursos Naturales e Infraestructura, 178. Autor: Humerto Peña, CEPAL.

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 Reserch Centre. Institute for Prospective Technological Studies, Seville, Spain.

Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R. and White, L. L. (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, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Hallegatte S., Vogt-Schilb A., Bangalore M., Rozenberg J. (2017). "Indestructibles: Construyendo la resiliencia de los más pobres frente a desastres naturales," resumen, Banco Mundial, Washington, DC.

Huntjens P., Lebel L., Pahl-Wostl P., Camkin J., Schulze R., Kranz N. (2011). Institutional design propositions for the governance of adaptation to climate change in the water sector. *Global Environmental Change*, 22, 67–81.

IEA (2020). *Introduction to the water-energy nexus*. International Energy Agency, Paris. <https://www.iea.org/articles/introduction-to-the-water-energy-nexus>.

IPCC (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and effort to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H. -O. Pörtner, D. Roberts, J. Kkea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.J. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jiménez Cisneros, B.E., Oki, T., Arnell, N. W., Benito, G., Cogley, J. G., Döll, P., Jiang, T. and Mwakalila, S. S. (2014). *Freshwater resources*. In *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 [Field, C. B. et al (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 229-269.

McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J. and White, K. S. (eds) (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, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

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.

ODS (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Agenda para el desarrollo sostenible de las Naciones Unidas. En Internet: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible>.

Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J., van der Linden, P. and Hanson, C. (eds) (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, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M. M. B., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P. M. (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, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Tegart, W. J. McG., Sheldon, G. W. and Griffiths, D. C. (eds) (1990). *Climate Change: The IPCC Impacts Assessment (1990)*. Report prepared for Intergovernmental Panel on Climate Change by Working Group II. Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia.

Trommsdorf, C. (2015). *Can the water sector deliver on carbon reduction?* The International Water Association (IWA), London.

UN (2020). *The Sustainable Development Goals Report 2020*. United Nations Publications, New York.

UNESCO, ONU-AGUA (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático*. UNESCO, París.

UNISDR (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, Ginebra. Suiza.

Watson, R. T., Zingowera, M. and Moss, R. H. (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, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

WB (2019a). Plan de Acción Estratégico: Un mundo con seguridad hídrica para todos. *Report 2019 (English)*. Washington, D.C. : World Bank Group. En Internet: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview#2>

WB, (2019b). *Connecting the Drops : Global Water Security and Sanitation Partnership Annual Report 2019 (English)*. Washington, D.C. : World Bank Group. En Internet: <http://documents.worldbank.org/curated/en/997021571169834156/Connecting-the-Drops-Global-Water-Security-and-Sanitation-Partnership-Annual-Report-2019>

## ÚLTIMOS DOCUMENTOS DE TRABAJO

- 2020-16: “Cambio climático y recursos hídricos ¿Que dicen los organismos internacionales?”, **Emilio Cerdá y Sonia Quiroga**.
- 2020-15: “Evaluación Económica de Proyectos y Políticas de Transporte: Metodología y Aplicaciones. Parte 3: Análisis coste-beneficio de las subvenciones a residentes en el transporte aéreo”, **Ginés de Rus, Javier Campos, Daniel Graham y M. Pilar Socorro**.
- 2020-14: “Colaboración Público-Privada en Infraestructuras. Economía y retos de gobernanza”, **José Ramon Martínez Resano**.
- 2020-13: “Spillovers in pension incentives and the joint retirement behavior of Spanish couples”, **Sílvia García-Mandicó y Sergi Jiménez-Martín**.
- 2020-12: “Evaluación Económica de Proyectos y Políticas de Transporte: Metodología y Aplicaciones. Parte 2: Análisis coste-beneficio de proyectos ferroviarios: líneas de alta "velocidad y suburban”, **Ginés de Rus, Javier Campos, Armando Ortuno, M. Pilar Socorro y Jorge Valido**.
- 2020-11: “Evaluación Económica de Proyectos y Políticas de Transporte: Metodología y Aplicaciones. Parte 1: Metodología para el análisis coste-beneficio de proyectos y políticas de transporte”, **Ginés de Rus, Javier Campos, Daniel Graham, M. Pilar Socorro y Jorge Valido**.
- 2020-10: “La política hídrica en España: hacia una integración avanzada de agua, territorio y sociedad”, **Fernando Magdaleno Mas**.
- 2020-09: “Reutilización de agua: estado actual y perspectivas”, **Ramón Sala-Garrido, , María Molinos-Senante, Ramón Fuentes y Francesc Hernández Sancho**.
- 2020-08: “Valoración de riesgos por inundaciones”, **Nuria Osés-Eraso y Sébastien Foudi**.
- 2020-07: “Un modelo robusto para la predicción ad-futurum de los efectos de la epidemia del Covid-19”, **Juan Luis Fernández-Martínez**.
- 2020-06: “Consistent estimation of panel data sample selection models”, **Sergi Jiménez-Martín, José M. Labeaga y Majid al Sadoon**.
- 2020-05: “Encajando el puzle: Una estimación rápida del número de infectados por COVID-19 en España a partir de fuentes indirecta”, **David Martín-Barroso, Juan A. Núñez-Serrano, Jaime Turrión y Francisco J. Velázquez**.
- 2020-04: “Does the Liquidity Trap Exist?”, **Stéphane Lhuissier, Benoît Mojon y Juan Rubio-Ramírez**.
- 2020-03: “How effective has been the Spanish lockdown to battle COVID-19? A spatial analysis of the coronavirus propagation across provinces”, **Luis Orea e Inmaculada C. Álvarez**.
- 2020-02: “Capital humano y crecimiento: teoría, datos y evidencia empírica”, **Angel de la Fuente**.
- 2020-01: “Twin Default Crises”, **Caterina Mendicino, Kalin Nikolov, Juan Rubio-Ramirez y Javier Suarez**.
- 2019-07: “Vivienda y política pública: objetivos e instrumentos”, **Miguel-Ángel López García**.
- 2019-06: “Mercados, entidades financieras y bancos centrales ante el cambio climático: retos y oportunidades”, **Clara I. González y Soledad Núñez**.
- 2019-05: “Education and Gender Differences in Mortality Rates”, **Cristina Belles-Obrero, Sergi Jiménez-Martín y Judit Vall Castello**.
- 2019-04: “Las viviendas turísticas ofertadas por plataformas on-line: Estado de la cuestión”, **Armando Ortuño y Juan Luis Jiménez**.
- 2019-03: “Now-casting Spain”, **Manu García y Juan F. Rubio-Ramírez**.
- 2019-02: “Mothers’ care: reversing early childhood health shocks through parental investments”, **Cristina Belles-Obrero, Antonio Cabrales, Sergi Jimenez-Martin y Judit Vall-Castello**.
- 2019-01: “Measuring the economic effects of transport improvements”, **Ginés de Rus y Per-Olov Johansson**.
- 2018-15: “Diversidad de Género en los Consejos: el caso de España tras la Ley de Igualdad”, **J. Ignacio Conde-Ruiz, Manu García y Manuel Yañez**.
- 2018-14: “How can urban congestion be mitigated? Low emission zones vs. congestion tolls”, **Valeria Bernardo, Xavier Fageda y Ricardo Flores-Fillol**.
- 2018-13: “Inference in Bayesian Proxy-SVARs”, **Jonas E. Arias, Juan F. Rubio-Ramírez y Daniel F. Waggoner**.
- 2018-12: “Evaluating Large Projects when there are Substitutes: Looking for Possible Shortcuts”, **Per-Olov Johansson y Ginés de Rus**.
- 2018-11: “Planning, evaluation and financing of transport infrastructures: Rethinking the basics”, **Ginés de Rus y M. Pilar Socorro**.
- 2018-10: “Autonomía tributaria subnacional en América Latina”, **Juan Pablo Jiménez e Ignacio Ruelas**.
- 2018-09: “Ambition beyond feasibility? Equalization transfers to regional and local governments in Italy”, **Giorgio Brosio**.
- 2018-08: “Equalisation among the states in Germany: The Junction between Solidarity and Subsidiarity”, **Jan Werner**.
- 2018-07: “Child Marriage and Infant Mortality: Evidence from Ethiopia”, **J.García-Hombrados**
- 2018-06: “Women across Subfields in Economics: Relative Performance and Beliefs”, **P. Beneitoa, J.E. Boscá, J. Ferría y M. García**.
- 2018-05: “Financial and Fiscal Shocks in the Great Recession and Recovery of the Spanish Economy”, **J. E. Boscá, R. Doménech, J. Ferri, R. Méndez y J. F. Rubio-Ramírez**.
- 2018-04: “Transformación digital y consecuencias para el empleo en España. Una revisión de la investigación reciente”, **Lucas Gortazar**.