6

Medidas de mitigación del cambio climático en el sector hídrico

6.1 Introducción

Hay una relación recíproca entre las medidas de mitigación del cambio climático y el agua. Las medidas de mitigación podrían influir en los recursos hídricos y en su gestión, por lo que es importante tomar conciencia de ello al elaborar y evaluar las opciones de mitigación. Por otra parte, las políticas y medidas de gestión del agua podrían influir en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y, por consiguiente, en las respectivas medidas sectoriales de mitigación; la intervención en el sistema hídrico podría ser contraproducente cuando se evalúa en términos de mitigación del cambio climático.

La cuestión de la mitigación ha sido abordada en el 4IE del GTIII del IPCC (Mitigación), en el que se abordan siete sectores: suministro de energía, transporte y su infraestructura, edificios residenciales y comerciales, industria, agricultura, silvicultura, y gestión de desechos. Dado que los aspectos hídricos no estaban incluidos en el alcance de ese informe, se mencionaron únicamente las interrelaciones generales respecto a la mitigación del cambio climático, en su mayoría cualitativas. Sin embargo, otros informes del IPCC, como el TIE, contienen información sobre ese particular.

Las medidas de mitigación orientadas específicamente a distintos sectores podrían tener efectos diversos sobre el agua, que se describen en las secciones siguientes (véase también la Tabla 6.1). En los títulos de las subsecciones, los números entre paréntesis denotan prácticas u opciones de mitigación específicamente sectoriales descritas en la Tabla 6.1.

6.2 Mitigación por sectores

6.2.1 Captación y almacenamiento de dióxido de carbono (CAC) (véase el apartado (1) de la Tabla 6.1)

La captación y almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂) (CAC) es un proceso consistente en la separación del CO₂ de origen industrial y energético, su transporte al lugar de almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera durante largos períodos. La inyección de CO₂ en el espacio poroso y en las fracturas de una formación permeable podría desplazar el fluido existente, disolverse en él, mezclarse con él o reaccionar con las partículas de mineral, o podrían darse varios de estos procesos conjuntamente. Al atravesar la formación geológica, parte del CO₂ se disuelve en el agua allí contenida. Una vez disuelto, el CO₂ es transportado por el flujo freático regional. La fuga de CO₂ de los pozos de inyección o de los pozos abandonados y las fugas a lo largo de fallas geológicas y a través de capas de confinamiento insuficientes podrían degradar la calidad de las aguas subterráneas; además, la liberación de CO₂ en la atmósfera podría crear problemas de salud y de salubridad a nivel local. [CAC RRP, 5.RE]

Es importante observar que, en estos momentos, no se tiene una idea totalmente clara de la viabilidad o consecuencias, deseadas

o no, que podría tener este concepto de secuestro de carbono. La evitación o mitigación de sus efectos exigirá una selección cuidadosa de emplazamientos, una supervisión reglamentaria eficaz, un programa de control adecuado, y métodos de aplicación y medidas correctivas para detener y controlar las liberaciones de CO₂. [CAC 5.RE, 5.2],

6.2.2 Cultivos bioenergéticos (2)

La bioenergía produce beneficios en términos de mitigación, ya que sustituye el uso de combustibles de origen fósil. [UTCUTS 4.5.1] Sin embargo, la producción de biocombustibles en gran escala plantea cuestiones en varios aspectos, entre ellos la necesidad de utilizar fertilizantes y plaguicidas, el reciclado de nutrientes, el balance energético, el impacto sobre la biodiversidad, la hidrología y la erosión, los conflictos con la producción alimentaria, y el nivel de subvenciones financieras necesario. [UTCUTS 4.5.1]. En los cultivos dedicados a la bioenergía, el potencial de producción de energía y el potencial mitigador de los efectos de los GEI dependen de la disponibilidad de tierra, que debe satisfacer asimismo la demanda de agua y de protección de la naturaleza, la gestión sostenible de los suelos y de las reservas hídricas, y otros criterios de sostenibilidad. Diversos estudios ofrecen cifras dispares en cuanto a la contribución potencial de la biomasa al suministro energético mundial futuro, que estaría cifrado entre menos de 100 EJ/año y más de 400 EJ/año de aquí a 2050 (Hoogwijk, 2004; Hoogwijk et al., 2005; Sims et al., 2006). Smeets et al. (2007) señalan que el máximo potencial técnico alcanzable para los cultivos bioenergéticos en las tierras agrícolas actuales, si se diera el progreso tecnológico proyectado para la agricultura y la ganadería, podría generar más de 800 EJ/año sin poner en peligro el suministro mundial de alimentos. Las diferencias entre estudios son atribuibles principalmente a la incertidumbre sobre la disponibilidad de tierras, al rendimiento de los cultivos bioenergéticos y a los supuestos con respecto a la evolución del rendimiento agrícola. Los estudios que proyectan potenciales más elevados presuponen no sólo la utilización de tierras degradadas/excedentes, sino también de tierras actualmente dedicadas a la producción alimentaria, entre ellas las de pastoreo (por ejemplo, en Smeets et al., 2007). [GTIII 8.4.4.2]

Las prácticas agrícolas de mitigación de efectos de los GEI podrían intensificar en ciertos casos el uso de agua, reduciendo por consiguiente el flujo fluvial o la reserva de agua subterránea (Unkovich, 2003; Dias de Oliveira et al., 2005). Por ejemplo, las plantaciones bioenergéticas de especies perennifolias de enraizamiento profundo y alta productividad suelen consumir más agua que la cubierta del suelo a la que sustituyen (Berndes and Börjesson, 2002; Jackson et al., 2005). Algunas prácticas podrían afectar a la calidad del agua, debido a la mayor lixiviación de plaguicidas y nutrientes. (Machado and Silva, 2001; Freibauer et al., 2004). [GTIII 8.8]

Las prácticas de mitigación agrícola que desvían productos hacia usos alternativos (por ejemplo, los cultivos bioenergéticos) podrían conducir a la conversión de bosques en tierras de cultivo en otros lugares. Por el contrario, el aumento de la productividad

Tabla 6.1: Influencia de las opciones de mitigación sectoriales (o de sus consecuencias) sobre la calidad, cantidad y nivel del agua. Los efectos positivos sobre el agua se denotan mediante [+], los negativos mediante [-], y los inciertos mediante [?]. Los números entre paréntesis remiten a las notas y a los números de los apartados de la Sección 6.2.

Aspecto hídrico	Energía	Construcción	Industria	Agricultura	Bosques	Desechos
Calidad						
Químico/-biológico	CAC ⁽¹⁾ [?] Biocombustibles ⁽²⁾ [+/-] Energía geotérmica ⁽⁵⁾ [-] Petróleo no convencional ⁽¹³⁾ [-]		CAC ⁽¹⁾ [?] Tratamiento de aguas de desecho ⁽¹²⁾ [-] Electricidad mediante biomasa ⁽³⁾ [-/?]	Gestión y cambios de uso de la tierra ⁽⁷⁾ [+/-] Gestión (hídrica) de las tierras cultivables ⁽⁸⁾ [+/-] Gestión de tierras de cultivo (menor roturación ⁽⁹⁾ [+/-]	Forestación (sumideros) ⁽¹⁰⁾ [+]	Gestión de desechos sólidos. Tratamiento de aguas de desecho ⁽¹²⁾ [+/-]
Temperatura	Electricidad mediante biomasa ⁽³⁾ [+]					
Cantidad						
Disponibilidad/demanda	Energía hidroeléctrica ⁽⁴⁾ [+/-] Petróleo no convencional ⁽¹³⁾ [-] Energía geotérmica ⁽⁵⁾ [-]	Consumo de energía en edificios ⁽⁶⁾ [+/-]		Gestión y cambios de uso de la tierra ⁽⁷⁾ [+/-] Gestión (hídrica) de tierras de cultivo ⁽⁸⁾ [-]	Forestación ⁽¹⁰⁾ [+/-] Eliminación/disminución de la deforestación (11) [+]	Tratamiento de aguas de desecho ⁽¹²⁾ [+]
Flujo/escorrentía/recarga	Biocombustibles ⁽²⁾ [+/-] Energía hidroeléctrica ⁽⁴⁾ [+/-]			Gestión de tierras de cultivo (menor roturación ⁽⁹⁾ [+]		
Nivel hídrico						
Aguas superficiales	Energía hidroeléctrica ⁽⁴⁾ [+/-]			Gestión y cambios de uso de la tierra ⁽⁷⁾ [+/-]		
Aguas subterráneas	Energía geotérmica ⁽⁵⁾ [-]			Land-use change and management ⁽⁷⁾ [+/-]	Forestación ⁽¹⁰⁾ [-]	

Notas:

- (1) La captación y almacenamiento de dióxido de carbono (CAC) en el subsuelo conlleva riesgos potenciales respecto a la calidad del agua; el almacenamiento en aguas profundas (a más de 3.000 m de profundidad del agua más varios centenares de metros de sedimento) parece ser la alternativa más segura.
- (2) La expansión de los cultivos y bosques productores de bioenergía podría tener impactos negativos como, por ejemplo: aumento de la demanda de agua, contaminación del agua subterránea, o fomento de los cambios de uso de la tierra, con efectos indirectos sobre los recursos hídricos; y/o impactos positivos, gracias a una menor lixiviación de nutrientes, a la erosión del suelo, a la escorrentía, y al entarquinamiento corriente abajo.
- (3) Electricidad obtenida de biomasa: por lo general, una mayor contribución de la energía renovable (en comparación con la de las plantas que consumen combustibles de origen fósil) conlleva una disminución de la descarga de agua de refrigeración sobre las aguas de superficie.
- (4) Sea cual sea la medida adoptada, hay que considerar el impacto medioambiental y los múltiples beneficios de la energía hidroeléctrica, que podrían ser positivos o negativos.
- (5) La utilización de energía geotérmica podría ocasionar polución, hundimiento del terreno y, en algunos casos, demanda de recursos hídricos disponibles.
- (6) El uso de energía en el sector de la construcción podría reducirse adoptando diversas soluciones y medidas, con impactos tanto positivos como negativos.
- (7) La gestión y cambios de uso de la tierra podrían influir en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas (por ejemplo, aumentando o disminuyendo la lixiviación de nutrientes y plaguicidas) y en el ciclo hidrológico (local) (por ejemplo, incrementando el uso de agua).
- (8) Las prácticas agrícolas de mitigación podrían tener efectos tanto positivos como negativos sobre la conservación del agua y su calidad.
- (9) Una menor roturación favorece una mayor eficiencia en el uso de agua.
- (10) La forestación suele mejorar la calidad de las aguas subterráneas y reducir la erosión del suelo. Asimismo, influye en el ciclo hidrológico de la cuenca de captación y en el de la región (suavizando los procesos hidrológicos y disminuyendo así la escorrentía y las crecidas). Suele mejorar la protección de la cuenca hidrográfica a costa de la producción de aguas superficiales y de la recarga de los acuíferos, que podría ser crítica en regiones áridas y semiáridas.
- (11) La detención/enlentecimiento de la deforestación y de la degradación forestal conserva los recursos hídricos y evita crecidas, reduce la escorrentía, controla la erosión, y disminuye el entarquinamiento de los ríos.
- (12) Las diversas tecnologías de gestión de desechos y de control y tratamiento de agua de desecho podrían reducir las emisiones de GEI y tener efectos positivos sobre el medio ambiente, aunque podrían también poluir el agua si las instalaciones estuvieran diseñadas o gestionadas inadecuadamente.
- (13) A medida que escaseen los suministros de petróleo convencionales y aumenten los costos de extracción, los combustibles líquidos no convencionales serán más atractivos desde el punto de vista económico, aunque el atractivo quedará compensado por el aumento de los costos medioambientales (mayor demanda de agua; costos de saneamiento).

en las tierras de cultivo existentes podría ‘salvar’ algunos bosques y pastizales (West and Marland, 2003; Balmford et al., 2005; Mooney et al., 2005). El efecto neto de estas compensaciones recíprocas sobre la biodiversidad y otros servicios ecosistémicos no ha sido totalmente cuantificado (Huston and Marland, 2003; Green et al., 2005). [GTIII 8.8]

Si las plantaciones bioenergéticas están adecuadamente ubicadas, diseñadas y gestionadas, podrían reducir la lixiviación de nutrientes y la erosión del suelo, y generar servicios medioambientales adicionales, como la acumulación de carbono en el suelo, la mejora de la fertilidad del suelo, o la eliminación de cadmio y otros metales pesados del suelo o de los desechos. Asimismo, podrían incrementar la recirculación de nutrientes, contribuir al tratamiento de aguas de desecho y lodos ricos en nutrientes, y ofrecer hábitats para la biodiversidad en el paisaje agrícola (Berndes and Börjesson 2002; Berndes et al., 2004; Börjesson and Berndes, 2006). [GTIII 8.8] En el caso de las plantaciones forestales destinadas a la producción de biocombustibles, los impactos medioambientales negativos podrían evitarse diseñando adecuadamente los proyectos. Algunos de sus beneficios medioambientales son: menor degradación del suelo, disminución de la escorrentía hídrica y del entarquinamiento, y captación aguas abajo de la escorrentía agrícola poluyente. [UTCUTS, Ficha Informativa 4.21]

6.2.3 Electricidad obtenida mediante biomasa (3)

Las tecnologías de suministro de energías renovables no hidroeléctricas, especialmente la solar, la eólica, la geotérmica y la obtenida mediante biomasa, contribuyen actualmente en escasa medida al suministro mundial de calor y electricidad, pese a aumentar muy rápidamente, aunque partiendo de un nivel bajo. El crecimiento de la electricidad biomásica viene limitado por su costo y por obstáculos sociales y medioambientales. [GTIII 4.RE] En el caso particular de la electricidad biomásica, toda cantidad de biomasa necesaria que exceda de la disponible a partir de desechos agrícolas y forestales tendría que ser cultivada expresamente para ese fin [GTIII, Capítulos 8 y 9], con lo cual podría estar limitada por la disponibilidad de tierra y de agua. Pese al considerable grado de incertidumbre, debería ser posible producirla en todas las regiones para satisfacer la demanda de electricidad adicional de origen bioenergético, cifrada en 432 TWh/año de aquí a 2030, según las proyecciones de este estudio. [GTIII 4.4.4] En general, la sustitución de los combustibles de origen fósil por biomasa para la generación de energía eléctrica reducirá la cantidad de agua de refrigeración descargada en los cursos de agua de superficie.

6.2.4 Energía hidroeléctrica (4)

Los sistemas de energía renovable, como la energía hidroeléctrica, podrían contribuir a la seguridad del suministro eléctrico y a la protección del medio ambiente. Sin embargo, la construcción de centrales hidroeléctricas podría tener también impactos ecológicos sobre las pesquerías y los ecosistemas fluviales existentes, como consecuencia de un cambio del régimen de flujo (la gráfica hídrica) y de las pérdidas de agua evaporativas (cuando se trata de

centrales hidroeléctricas de agua embalsada). Las perturbaciones sociales podrían ser también una de sus consecuencias. Por último, la disponibilidad de agua para la navegación (la profundidad del agua) podría ocasionar problemas. Algunos de sus efectos positivos son: la regulación del caudal, el control de las crecidas, y la disponibilidad de agua de riego durante la estación seca. Por otra parte, la energía hidroeléctrica no necesita de agua con fines de refrigeración (como ocurre con las centrales térmicas) ni de riego de cultivos, como sucede con los biocombustibles. Un 75% de los embalses del mundo han sido construidos con fines de riego, de control de crecidas y de abastecimiento de agua en áreas urbanas, y muchos de ellos podrían dotarse de pequeños equipos suplementarios de generación de energía eléctrica sin producir impactos medioambientales adicionales. [GTIII 4.3.3]

Los grandes sistemas hidroeléctricos (>10 MW) aportaron más de 2.800 TWh de energía consumida en 2004, y suministraron un 16% de la electricidad mundial (un 90% de la electricidad renovable). Las centrales hidroeléctricas en construcción, una vez completadas, podrían incrementar en un 4,5% aproximadamente la participación de la energía hidroeléctrica, y podrían construirse nuevas centrales que suministraran, con un costo bajo, otros 6.000 TWh/año o más de electricidad, principalmente en los países en desarrollo. La instalación de turbinas más potentes y eficaces en las centrales existentes sería rentable, con independencia del tamaño de las centrales. [GTIII 4.3.3.1]

Los pequeños sistemas (<10 MW) y microsistemas (<1 MW) hidroeléctricos, que suelen aprovechar el desnivel natural de los ríos, han suministrado electricidad a muchas comunidades rurales de países en desarrollo, como Nepal. Su capacidad de generación actual es incierta, con predicciones que arrojan desde 4 TWh/año hasta un 9% de la producción hidroeléctrica total, cifrada en 250 TWh/año. El potencial técnico mundial de las centrales hidroeléctricas pequeñas y de las microcentrales se sitúa en torno a 150-200 GW, existiendo muchos emplazamientos disponibles aún no explotados [GTIII 4.3.3.1]

Sea cual sea la medida que se adopte, es necesario evaluar, además de los aspectos negativos, los numerosos beneficios de la energía hidroeléctrica, entre ellos la creación de recursos de riego y de suministro de agua, la rápida respuesta a las fluctuaciones de la demanda de la red eléctrica ocasionadas por las crestas o intermitencias de las energías renovables, los lagos dedicados a fines recreativos, y el control de las crecidas. [GTIII 4.3.3.1]

6.2.5 Energía geotérmica (5)

Los recursos geotérmicos se utilizan desde antiguo para la extracción directa de calor destinado a la calefacción de distritos urbanos, a los procesos industriales y al calentamiento del agua y de las viviendas, así como para usos recreativos y terapias de balneario. [GTIII 4.3.3.4]

Los campos geotérmicos de vapor natural son escasos, y la mayoría de ellos están constituidos por una mezcla de vapor y agua caliente que obliga a instalar sistemas de ciclo de vaporización sencillo o doble para separar el agua caliente y

poder utilizarla seguidamente en plantas binarias o para usos de calefacción directa. La reinyección de los fluidos mantiene una presión constante en el reservorio, incrementando de ese modo la vida útil del campo geotérmico y atenuando la preocupación acerca de su impacto medioambiental. [GTIII 4.3.3.4]

Los problemas de sostenibilidad asociados al hundimiento de la tierra, a un ritmo de extracción de calor que supere su capacidad de recuperación natural (Bromley and Currie, 2003), a la polución química de los cursos de agua (por ejemplo, en forma de arsénico) y a las consiguientes emisiones de CO₂, han motivado en algunos casos la denegación de permisos de explotación de centrales eléctricas geotérmicas. Tal situación podría superarse en cierta medida recurriendo a técnicas de reinyección. La tecnología de perforación a mayor profundidad podría contribuir a desarrollar abundantes lechos de roca seca y caliente en los cuales, mediante inyección de agua en rocas fracturadas artificialmente, se extraería calor en forma de vapor. Sin embargo, ello entraña también una demanda adicional de recursos hídricos disponibles. [GTIII 4.3.3.4]

6.2.6 Uso de energía en edificios (6)

La refrigeración por evaporación, como medida de mitigación, implica un ahorro sustancial en el uso anual de energía de refrigeración residencial. Sin embargo, este tipo de refrigeración incrementa la presión sobre los recursos hídricos disponibles. El uso de energía de refrigeración en los edificios puede reducirse por distintos medios, por ejemplo disminuyendo la carga de refrigeración mediante un diseño adecuado de la forma y orientación de los edificios. Si se reduce este tipo de energía cuando se utiliza refrigeración por agua, la demanda hídrica disminuirá. [GTIII 6.4.4]

6.2.7 Cambio de uso y gestión de la tierra (7)

Según las directrices UTCUTS del IPCC en materia de buenas prácticas de uso de la tierra, hay seis grandes categorías posibles de tierras en función de su uso: tierras forestales, tierras de cultivo, praderas, humedales, asentamientos, y otras. Los cambios de uso de la tierra (por ejemplo, la conversión de cultivos en praderas) podrían inducir un cambio neto de las reservas de carbono y diferentes impactos sobre los recursos hídricos. Con respecto a los cambios de uso de la tierra distintos de su conversión en bosque (como se ha examinado en la Sección 6.2.10), los documentos anteriores del IPCC hacen muy pocas referencias a su impacto sobre los recursos hídricos. La restauración de humedales, una de las principales prácticas agrícolas de mitigación [GTIII 8.4.1.3], se traduce en una mejora de la calidad del agua y en una disminución de las inundaciones. [UTCUTS, Tabla 4.10] La puesta en barbecho, otra de las prácticas de mitigación identificadas por el GTIII, podría tener impactos positivos tanto sobre la conservación del agua como sobre la calidad de ésta. [GTIII, Tabla 8.12]

Las prácticas de gestión de la tierra utilizadas para mitigar el cambio climático podrían tener también diferentes impactos sobre los recursos hídricos. Muchas de las prácticas recomendadas

para la conservación del carbono del suelo –menor roturación, aumento de la cubierta vegetal, o mayor utilización de cultivos perennes– evitan asimismo la erosión, pudiendo contribuir a la mejora de la calidad del agua y del aire (Cole et al., 1993). Tales prácticas podrían tener también otros efectos adversos, al menos en ciertas regiones y en determinadas condiciones. Entre ellos, una mayor contaminación de las aguas subterráneas por nutrientes y plaguicidas mediante lixiviación, con un menor grado de roturación (Cole et al., 1993; Isensee and Sadeghi, 1996). En buena medida, sin embargo, esos posibles efectos negativos no han sido confirmados ni cuantificados, y no no hay certeza con respecto al grado en que podrían compensar los beneficios medioambientales del secuestro de carbono. [GTIII TIE 4.4.2]

El grupo de prácticas conocido como intensificación agrícola (Lal et al., 1999; Bationo et al., 2000; Resck et al., 2000; Swarup et al., 2000) y, en particular, las prácticas que mejoran la producción y el aporte a los suelos de desechos de origen vegetal (rotación de cultivos, menor uso del barbecho, cultivos protectores, siembra de variedades de alto rendimiento, gestión integrada de plagas, fertilización adecuada, correcciones orgánicas, riego, gestión del nivel freático y gestión específica del lugar, entre otros), reporta numerosos beneficios secundarios, el más importante de los cuales es el aumento y el mantenimiento de la producción alimentaria. Entre los beneficios medioambientales cabe señalar el control de la erosión, la conservación del agua, el aumento de la calidad de ésta, y la disminución del entarquinamiento en reservorios y vías navegables. La calidad del suelo y del agua resulta negativamente afectada por el uso indiscriminado de insumos agrícolas y de agua de riego [UTCUTS, Hoja Informativa 4.1]

La gestión de nutrientes para conseguir un uso eficaz de los fertilizantes impacta positivamente en la calidad del agua. [GTIII, Tabla 8.12] Además, las prácticas que reducen las emisiones de N₂O suelen mejorar la eficiencia de uso del nitrógeno procedente de esa fuente y de otras (por ejemplo, del estiércol), disminuyendo por consiguiente las emisiones de GEI procedentes de la fabricación de fertilizantes y evitando los efectos nocivos de los poluyentes nitrogenados en la calidad del agua y del aire (Dalal et al., 2003; Paustian et al., 2004; Oenema et al., 2005; Olesen et al., 2006). [GTIII 8.8]

Los sistemas agroforestales (plantación de árboles en tierras de cultivo) podrían reportar múltiples beneficios, y en particular energía para las comunidades rurales y sinergias entre el desarrollo sostenible y la mitigación de los efectos de los GEI. [UTCUTS 4.5.1] Sin embargo, los sistemas agroforestales podrían tener impactos negativos respecto a la conservación del agua. [GTIII, Tabla 8.12]

6.2.8 Gestión de tierras de cultivo (agua) (8)

Las prácticas agrícolas que promueven la mitigación de los efectos de los gases invernadero tienen impactos tanto positivos como negativos respecto a la conservación y calidad del agua. Cuando fomentan la eficiencia de uso del agua (por ejemplo, recurriendo en menor medida a la roturación de las tierras),

podrían tener efectos beneficiosos. Pero en ciertos casos podrían intensificar el uso de agua, reduciendo de ese modo el flujo fluvial o las reservas de agua subterránea (Unkovich, 2003; Dias de Oliveira et al., 2005). La gestión de los arrozales ha ejercido, en general, un impacto positivo sobre la calidad del agua, gracias a una menor cantidad de poluyentes químicos en las aguas de drenaje. [GTIII, Tabla 8.12]

6.2.9 Gestión de tierras de cultivo (menor roturación) (9)

El término ‘roturación de conservación’ es un concepto genérico que abarca muy diversos tipos de prácticas de labranza, entre ellas la roturación cincelante, en crestas, en franjas, sobre hojarasca, y la no roturación (CTIC, 1998). La roturación de conservación reporta numerosos beneficios secundarios. Los más importantes son: control de la erosión hídrica y eólica, conservación hídrica, mayor capacidad de retención de agua, menor compactación, mayor resistencia del suelo a los insumos químicos, aumento de la calidad del suelo y del aire, aumento de la biodiversidad del suelo, menor uso de energía, mejora de la calidad del agua, menor entarquinamiento de reservorios y vías navegables, y posible duplicación de las cosechas. En ciertas áreas (por ejemplo, en Australia), una lixiviación más intensa por efecto de una mayor retención de agua vinculada a la roturación de conservación podría ocasionar una salinización en cotas inferiores. [UCTUTS, Hoja Informativa 4.3] Entre los beneficios secundarios de la roturación de conservación cabe señalar: menor erosión del suelo, mejora de la calidad del agua, aumento de la eficiencia de los combustibles, y mayor productividad de los cultivos. [UTCUTS 4.4.2.4] La gestión de la roturación y de los desechos tiene impactos positivos sobre la conservación del agua. [GTIII, Tabla 8.12]

6.2.10 Forestación o reforestación (10)

En términos generales, cabría esperar que los bosques utilizaran más agua (la transpirada más la evaporada que intercepta la cubierta forestal) que los cultivos, la hierba o la vegetación de escasa altura. Este efecto, que se manifiesta en tierras forestadas o reforestadas, podría estar relacionado con unas mayores pérdidas de intercepción, especialmente cuando la cubierta forestal permanece húmeda la mayor parte del año (Calder, 1990) o bien, en regiones más secas, con el desarrollo de sistemas radiculares de mayor masa que permiten la extracción y uso de agua durante estaciones secas prolongadas. [UTCUTS 2.5.1.1.4]

Las pérdidas de intercepción son mayores en bosques con gran superficie foliar durante todo el año. Así, estas pérdidas tienden a ser mayores en los bosques perennifolios que en los caducifolios (Hibbert, 1967; Schulze, 1982), y cabría esperar que fueran mayores en los bosques de crecimiento rápido con altas tasas de almacenamiento de carbono que en los bosques de crecimiento lento. Por ello, la forestación de tierras no boscosas con coníferas de crecimiento rápido suele ocasionar una disminución del flujo de agua en las cuencas, que podría inducir escasez de agua durante las sequías (Hibbert, 1967;

Swank and Douglass, 1974). En Vincent (1995), por ejemplo, se concluía que la plantación de ciertas especies de pinos de gran demanda hídrica para recuperar las cuencas degradadas de Tailandia había ocasionado una disminución importante de los flujos fluviales de la estación seca respecto de los bosques caducifolios originales. Aunque los bosques reducen el flujo en promedio, podrían reducir las crestas de flujo e incrementar éste durante la estación seca, debido a la mayor capacidad de infiltración y a la gran capacidad de retención de agua de las tierras forestales (Jones and Grant, 1996). Los bosques desempeñan asimismo un papel importante en la mejora de la calidad del agua. [UTCUTS 2.5.1.1.4]

En numerosas regiones del mundo cuyos bosques crecen sobre capas freáticas salinas someras, el menor uso de agua ocasionado por la deforestación podría elevar las capas freáticas e incrementar el transporte de sal a la superficie (Morris and Thomson, 1983). En tales situaciones, un gran consumo de agua por los árboles puede ser beneficioso (por ejemplo, mediante forestación o reforestación) (Schofield, 1992). [UTCUTS 2.5.1.1.4]

En los trópicos secos, las plantaciones forestales suelen consumir más agua que la vegetación de poca altura, ya que los árboles pueden obtener agua a mayor profundidad y evaporar un mayor volumen de agua interceptada. Los bosques recién plantados pueden consumir más agua (por transpiración e intercepción) que la obtenida de la precipitación anual, y tener que recurrir al agua almacenada (Greenwood et al., 1985). Por ello, la forestación o reforestación extensivas en los trópicos secos puede tener un fuerte impacto sobre el suministro de agua subterránea y los flujos fluviales. No está tan claro, sin embargo, si la sustitución de bosques naturales por plantaciones, incluso de especies exóticas, incrementa el consumo de agua en los trópicos en los casos en que no varía la profundidad de las raíces ni el comportamiento estomacal de las especies arbóreas. En la zona seca de India, el consumo de agua de las plantaciones de eucaliptos es similar al de los bosques caducifolios secos autóctonos: ambos tipos de bosques utilizan esencialmente la totalidad de la precipitación anual (Calder, 1992). [UTCUTS 2.5.1.1.4]

La forestación y la reforestación, así como la protección forestal, podrían tener también efectos hidrológicos beneficiosos. Tras la forestación de las áreas húmedas, la cantidad de escorrentía directa disminuye inicialmente con rapidez y, a continuación, se vuelve paulatinamente constante, mientras que el caudal de base aumenta lentamente a medida que la edad de la población arbórea se acerca a la madurez (Fukushima, 1987; Kobayashi, 1987), lo que parece indicar que la reforestación y la forestación contribuyen a la disminución de las crecidas y a una mejor conservación hídrica. En las áreas en que la disponibilidad de agua es limitada, la forestación, especialmente la plantación de especies de gran demanda hídrica, podría reducir de manera apreciable el flujo fluvial, lo cual afectaría a los habitantes de la cuenca (Le Maitre and Versfeld, 1997), y reduciría el flujo de agua destinado a otros ecosistemas y ríos, afectando por consiguiente a los acuíferos y a su recarga (Jackson et al., 2005). Además,

algunos de los posibles cambios de las propiedades del suelo se deben en gran medida a cambios de la hidrología. Podría ser necesario evaluar por separado los beneficios hidrológicos de la forestación en cada emplazamiento. [GTIII TIE 4.4.1]

Los beneficios socioeconómicos positivos, como la creación de riqueza o de puestos de trabajo, tendrán como contrapartida la pérdida de bienestar que conlleva una menor disponibilidad de agua, de pastizales, de recursos naturales y de tierras agrícolas. La forestación de tierras ya erosionadas o degradadas por otras causas podría tener un efecto positivo neto sobre el medio ambiente; en las cuencas en que la producción de agua es abundante o en que ésta no es muy consumida, la disminución del flujo fluvial podría no ser crítica. [UTCUTS 4.7.2.4]

6.2.11 Evitación/reducción de la deforestación (11)

La detención o enlentecimiento de la deforestación y de la degradación forestal (pérdida de densidad de carbono) y la gestión sostenible de los bosques podrían contribuir en buena medida a evitar emisiones, a conservar los recursos hídricos y evitar inundaciones, a reducir la escorrentía, a controlar la erosión, a reducir el entarquinamiento fluvial, y a proteger las pesquerías y las inversiones en centrales hidroeléctricas, preservando al mismo tiempo la diversidad biológica (Parrotta, 2002). [GTIII 9.7.2]

La preservación de los bosques conserva los recursos hídricos y evita inundaciones. En América Central, concretamente, parece ser que los daños causados por crecidas tras el huracán Mitch se agravaron por la pérdida de cubierta forestal. Al reducir la escorrentía, los bosques controlan la erosión y la salinidad. Por consiguiente, el mantenimiento de la cubierta forestal podría reducir el entarquinamiento de los ríos y proteger las pesquerías y las inversiones en centrales hidroeléctricas (Chomitz and Kumari, 1996). [GTIII TIE 4.4.1]

La deforestación y la degradación de las cuencas de captación en tierras altas podría perturbar los sistemas hidrológicos, reemplazando los flujos hídricos anuales corriente abajo por regímenes de crecidas y sequías (Myers, 1997). Aunque suele haber sinergias entre el aumento del almacenamiento de carbono que conllevan las actividades de forestación, reforestación y deforestación (FRD) y otros impactos concomitantes deseables, no es posible aplicar reglas generales; los impactos deben valorarse por separado en cada caso. Los impactos asociados pueden ser importantes y, en conjunto, la conveniencia de determinadas actividades FRD podría resultar seriamente afectada por sus impactos asociados. [UTCUTS 3.6.2]

6.2.12 Gestión de desechos sólidos; tratamiento de aguas de desecho (12)

Los vertederos controlados (con o sin recuperación y utilización de gases) permiten controlar y reducir las emisiones de GEI, aunque podrían tener efectos negativos sobre la calidad del agua cuando los emplazamientos están inadecuadamente gestionados. Lo mismo cabe decir de los tratamientos biológicos

aeróbicos (compostaje) y anaeróbicos (digestión anaeróbica). El reciclado, la reutilización y la minimización de desechos podrían tener efectos negativos para el rescate de desechos en los vertederos al aire libre, siendo la polución del agua una de sus posibles consecuencias. [GTIII, Tabla 10.7]

Cuando se aplican con eficiencia, las tecnologías de transporte y tratamiento de aguas de desecho reducen o eliminan la generación de GEI y sus emisiones. Además, la gestión del agua de desecho facilita la conservación del agua, ya que evita la polución ocasionada por descargas de agua no tratada sobre las aguas superficiales y subterráneas, los suelos y las zonas costeras, reduciendo así el volumen de poluyentes y reduciendo el volumen de agua que es necesario tratar. [GTIII 10.4.6]

Las aguas de desecho tratadas pueden ser reutilizadas o descargadas, aunque la reutilización es la alternativa más conveniente para los riegos agrícolas y hortícolas, la piscicultura, la recarga artificial de acuíferos y otras aplicaciones industriales. [GTIII 10.4.6]

6.2.13 Petróleo no convencional (13)

A medida que escaseen los suministros de petróleo convencional y aumenten los costos de extracción, los combustibles líquidos no convencionales serán más interesantes desde el punto de vista económico, aunque a cambio de un mayor costo medioambiental (Williams et al., 2006). La extracción y refinado de pizarras y arenas bituminosas requieren abundante agua. Dos de las tecnologías de recuperación de arenas asfálticas son: la extracción a cielo abierto (de superficie), en que los depósitos se encuentran a poca profundidad, y la inyección *in situ* de chorros de vapor en los pozos para reducir la viscosidad del petróleo antes de su extracción. El proceso consume aproximadamente 4 litros de agua por litro de petróleo producido, pero de él se obtiene un producto refinable. El proceso *in situ* consume aproximadamente 2 litros de agua por litro de petróleo, aunque el producto resultante es muy pesado y necesita ser limpiado y disuelto (generalmente con nafta) en la refinería, o enviado a una unidad de conversión profunda para producir petróleo bruto sintético ligero con una eficiencia energética de 75% aproximadamente (NEB, 2006). La eficiencia energética del refinado de arenas bituminosas se sitúa en torno al 75%. La extracción de arenas bituminosas produce grandes cantidades de contaminantes y áreas de tierras alteradas. [GTIII 4.3.1.4]

6.3 Efectos de las políticas y medidas de gestión hídrica sobre las emisiones de GEI y su mitigación

Como se ha indicado en la sección anterior, las prácticas de mitigación del cambio climático en diversos sectores podrían producir un impacto sobre los recursos hídricos. Inversamente, las políticas y medidas de gestión hídrica podrían influir en las emisiones de GEI asociadas a diferentes sectores y, por consiguiente, en sus respectivas medidas de mitigación (Tabla 6.2).

Tabla 6.2: Influencia de la gestión hídrica sobre las emisiones sectoriales de GEI. El aumento de las emisiones de GEI se ha denotado mediante el símbolo [-] (dado que implica un efecto negativo), mientras que la disminución de las emisiones de GEI va acompañada del símbolo [+]. Los números entre paréntesis remiten a las notas y a los números de los apartados de la Sección 6.3.

Sector	Calidad		Cantidad		Nivel del agua	
	Química/biológica	Temperatura	Demanda promedio	Humedad del suelo	Agua superficial	Agua subterránea
Energía		Energía geotérmica ⁽⁷⁾ [+]	Presas hidráulicas ⁽¹⁾ [+/-] Riego ⁽²⁾ [-] Energía geotérmica ⁽⁷⁾ [+] Desalinización ⁽⁶⁾ [-]		Presas hidroeléctricas ⁽¹⁾ [+/-]	
Agricultura			Presas hidroeléctricas ⁽¹⁾ [-]	Irrigación ⁽²⁾ [+/-] Producción de residuos ⁽³⁾ [+]		Drenaje de tierras de cultivo ⁽⁴⁾ [+/-]
Desechos	Tratamiento de aguas de desecho ⁽⁵⁾ [+/-]					

Notas:

- (1) La energía hidroeléctrica no consume combustibles de origen fósil, y es una fuente importante de energía renovable. Sin embargo, se ha cuestionado recientemente la impronta de los reservorios hidroeléctricos en términos de GEI. El metano, en particular, constituye un problema.
- (2) La aplicación de medidas de riego más eficaces podría incrementar las reservas de carbono del suelo, gracias al aumento del rendimiento y de la producción de residuos. Sin embargo, es posible que algunas de estas ganancias queden contrarrestadas por las emisiones de CO₂ inherentes a la energía consumida para hacer llegar el agua. El riego podría inducir también emisiones adicionales de CH₄ y N₂O, en función de las circunstancias específicas de cada caso.
- (3) La aplicación de los residuos al suelo para mejorar la capacidad de retención de agua traerá consigo el secuestro de carbono, gracias al aumento de la productividad de los cultivos y a una menor respiración del suelo.
- (4) El drenaje de tierras de cultivo en regiones húmedas podría incrementar la productividad (y, por consiguiente, el carbono del suelo) y, posiblemente, suprimir emisiones de N₂O, gracias a una mejor aireación. Sin embargo, el nitrógeno perdido por drenaje podría ser susceptible de perderse en forma de N₂O.
- (5) En función del diseño y gestión de las instalaciones (tecnologías de tratamiento y depuración de aguas de desecho), las emisiones de CH₄ y N₂O (la principal fuente de emisiones de GEI por las aguas de desecho) pueden aumentar o disminuir en todas las etapas, desde la de incorporación a la de evacuación; en la práctica, sin embargo, la mayoría de las emisiones tienen lugar antes de que el agua llegue a la planta de tratamiento.
- (6) La desalinización requiere energía y, por lo tanto, genera emisiones de GEI.
- (7) A diferencia de otros métodos de producción energética, la utilización de energía geotérmica para calefacción no produce emisiones de GEI.

6.3.1 Presas hidroeléctricas (1)

Un 75% de los reservorios de agua mundiales han sido construidos con fines de riego, de control de crecidas y para el abastecimiento de agua a las ciudades. Las emisiones de gases invernadero varían en función del emplazamiento del reservorio, de la densidad de potencia (capacidad de potencia por superficie inundada), de la velocidad del flujo y del tipo de central eléctrica (de agua embalsada o de agua corriente). Recientemente, se ha cuestionado la impronta de los reservorios hidroeléctricos en términos de gases invernadero. Aunque en la superficie de algunos reservorios se ha constatado la absorción de dióxido de carbono, la mayoría de ellos emiten pequeñas cantidades de GEI, debido a que el agua transporta carbono a lo largo del ciclo natural del carbono. Se han registrado altas emisiones de metano en reservorios tropicales extensos y poco profundos, en los que el ciclo natural del carbono alcanza su máxima productividad, mientras que en los reservorios profundos se ha observado un menor nivel de emisiones. El metano procedente de llanuras inundables y humedales podría suprimirse inundando éstas para formar un nuevo reservorio, ya que el metano se oxida durante su ascenso a lo largo de la columna de agua. La formación de metano en agua dulce trae aparejados subproductos de carbono (ácidos fenólico

y húmico) que secuestran eficazmente éste. Es necesario investigar más a fondo los reservorios tropicales de poca profundidad para determinar hasta qué punto podrían incrementar las emisiones de metano. [GTIII 4.3.3.1]

Se ha averiguado recientemente que la emisión de gases invernadero por los reservorios, debida a la putrefacción de la vegetación y a la afluencia de carbono procedente de la cuenca, es uno de los impactos de las presas sobre los ecosistemas. Ello contradice la idea tradicional de que la energía hidroeléctrica produce sólo efectos atmosféricos positivos (por ejemplo, una reducción de las emisiones de CO₂ y de óxidos nitrosos), en comparación con las fuentes de generación de energía convencionales (World Commission on Dams, 2000).

Los estudios de evaluación de la vida útil de las centrales hidroeléctricas disponibles cuando se preparaba el 4IE indican que las emisiones netas de gases de efecto invernadero eran, en conjunto, bajas. La medición del aumento de las emisiones antropógenas en los reservorios de agua dulce sigue siendo incierta, por lo que el Consejo Ejecutivo de la CMCC ha excluido de su Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) dos grandes proyectos hidroeléctricos con una capacidad de almacenamiento de agua importante. [GTIII 4.3.3.1]

6.3.2 Riego (2)

En la actualidad, un 18% aproximadamente de las tierras del planeta dedicadas al cultivo reciben agua suplementaria gracias al riego (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio 2005a, b). La ampliación de esa superficie (siempre que las reservas de agua lo permitan) y la utilización de medidas de riego más eficaces podrían acrecentar el almacenamiento de carbono en el suelo gracias al aumento del rendimiento y a la producción de desechos (Follett, 2001; Lal, 2004). Sin embargo, es posible que estas ganancias queden, en parte, contrarrestadas por el dióxido de carbono proveniente de la energía utilizada para hacer llegar el agua (Schlesinger, 1999; Mosier et al., 2005) o por las emisiones de N_2O vinculadas a una mayor humedad y a los insumos de fertilizante nitrogenado (Liebig et al., 2005), aunque este último efecto no ha sido objeto de numerosas mediciones. [GTIII 8.4.1.1.d] La ampliación de la superficie de humedal arrocero podría ocasionar asimismo un aumento de las emisiones de metano del suelo (Yan et al., 2003). [GTIII 8.4.1.1.e]

6.3.3 Producción de residuos (3)

La competencia entre malas hierbas por la obtención de agua es una de las causas más importantes del fracaso de los cultivos o de la disminución de su rendimiento en todo el mundo. Los progresos conseguidos en cuanto a métodos de control de malas hierbas y en cuanto a maquinaria agrícola permiten ahora mantener numerosos cultivos con un grado de roturación mínimo (menor roturación) o sin necesidad de roturación (ausencia de roturación). Esas prácticas, consistentes en mantener en la superficie del suelo los residuos de los cultivos, evitando así las pérdidas de agua por evaporación, están siendo cada vez más utilizadas en todo el mundo (véase, por ejemplo, Cerri et al., 2004). Dado que la alteración del suelo tiende a favorecer las pérdidas de carbono, debido a un aumento de la descomposición y de la erosión (Madari et al., 2005), la agricultura basada en la roturación somera o nula produce un aumento de carbono en el suelo, aunque no siempre (West and Post, 2002; Alvarez, 2005; Gregorich et al., 2005; Ogle et al., 2005). La adopción de la roturación somera o nula podría afectar también a las emisiones de N_2O , aunque sus efectos netos no son coherentes y no han sido adecuadamente cuantificados a nivel mundial. (Cassman et al., 2003; Smith and Conen, 2004; Helgason et al., 2005; Li et al., 2005). El efecto de un menor grado de roturación sobre las emisiones de N_2O depende posiblemente del suelo y de las condiciones climáticas: en ciertas áreas, favorece la emisión de N_2O ; en otras, podría reducir las emisiones o no ejercer una influencia medible (Marland et al., 2001). Además, la agricultura sin roturación podría reducir las emisiones de dióxido de carbono inherentes al uso de energía (Marland et al., 2003; Koga et al., 2006). Los sistemas que retienen los residuos de los cultivos tienden también a incrementar el carbono del suelo, debido a que tales residuos son precursores de la materia orgánica del suelo, que constituye la principal reserva de carbono de éste. La evitación de la quema de desechos (por ejemplo, mecanizando la recolección de la caña de azúcar, que elimina la necesidad de una quema previa a la cosecha; Cerri et al., 2004) evita también la

emisión de aerosoles y de GEI a causa del fuego, aunque podrían aumentar las emisiones de dióxido de carbono derivadas del uso de combustible [GTIII 8.4.1.1.c]

6.3.4 Drenaje de tierras de cultivo (4)

En las regiones húmedas, el drenaje de tierras de cultivo podría facilitar la productividad (y acrecentar, por consiguiente, las reservas de carbono del suelo) e incluso, en algunos casos, suprimir las emisiones de N_2O gracias a una mejor aireación (Monteny et al., 2006). Sin embargo, el nitrógeno perdido a causa del drenaje podría ser susceptible a las pérdidas en forma de N_2O (Reay et al., 2003). [GTIII 8.4.1.1.d]

6.3.5 Tratamiento de aguas de desecho (5)

Las emisiones de CH_4 de los vertederos, que son la fuente de emisiones de GEI más importante del sector de residuos, subsisten decenios después de haber sido evacuados los desechos; por consiguiente, para estimar la tendencia de las emisiones se necesitan modelos que incorporen tendencias temporales. Se emite también CH_4 durante el transporte de las aguas de desecho, durante el proceso de tratamiento de éstas y en las fugas producidas por la digestión anaeróbica de los desechos y lodos del agua de desecho. Las principales fuentes de N_2O son los desechos de origen humano y el tratamiento de las aguas de desecho. [GTIII 10.3.1]

Las emisiones de metano de las aguas de desecho aumentarían en casi un 50% entre 1990 y 2020, especialmente en los países del Asia oriental y meridional que se desarrollan rápidamente. Las estimaciones de las emisiones mundiales de N_2O procedentes de aguas de desecho son incompletas, y están basadas únicamente en el tratamiento de los desechos de origen humano, aunque indican un aumento del 25% entre 1990 y 2020. Es importante señalar, sin embargo, que en estos escenarios no se contempla cambio alguno, y que las emisiones reales podrían ser mucho más bajas si se adoptaran medidas adicionales. La futura disminución de las emisiones en el sector de desechos dependerá en parte de la disponibilidad, a partir de 2012, de mecanismos Kyoto como, por ejemplo, el MDL. [GTIII 10.3.1]

En los países en desarrollo, las emisiones de CH_4 y N_2O procedentes del agua de desecho suelen ser mayores que en los países desarrollados, debido al rápido crecimiento de la población y a una urbanización no acompañada de un desarrollo parejo de la infraestructura de tratamiento de aguas de desecho. Esta afirmación puede constatararse examinando la estimación de las emisiones de metano y N_2O correspondientes a 1990 y las tendencias proyectadas de aquí a 2020 de las emisiones provenientes de aguas de desecho y de desechos de origen humano. [GTIII 10.3.3]

Aunque las emisiones de GEI provenientes de aguas de desecho son actualmente menores que las provenientes de desechos, se sabe que un volumen sustancial de emisiones no ha sido

cuantificado en las estimaciones actuales, especialmente el procedente de fosas sépticas, letrinas y descargas incontroladas en países en desarrollo. Los procesos de tratamiento ‘natural’ descentralizados y las fosas sépticas de los países en desarrollo podrían generar emisiones relativamente abundantes de metano y N_2O , particularmente en China, India e Indonesia. En los países en desarrollo, el alcantarillado a cielo raso y la acumulación no reglamentada de aguas de desecho suelen redundar en descargas incontroladas en ríos y lagos, que ocasionan un aumento del volumen de agua de desecho paralelo al desarrollo económico. Por otra parte, en México, Zimbabwe, China y Suecia se están utilizando, como solución, retretes de bajo consumo de agua (3-5 litros) y saneamientos ecológicos (en particular, con retretes ecológicos), que reciclan los nutrientes de manera inocua en forma de agricultura productiva y en el medio ambiente. Estas soluciones son también aplicables en muchos países en desarrollo y desarrollados, especialmente si padecen escasez de agua, si su suministro de agua es irregular, o si requieren medidas adicionales para la conservación de los recursos hídricos. Todas esas medidas favorecen un menor tamaño de las plantas de tratamiento de aguas de desecho, una menor carga de nutrientes y un volumen proporcionalmente menor de emisiones de GEI. [GTIII 10.6.2] En términos generales, la cantidad de aguas de desecho recogidas y tratadas está aumentando en muchos países, con objeto de mantener y mejorar la calidad del agua potable y de obtener otros beneficios para la salud pública y para la protección del medio ambiente. Al mismo tiempo, las emisiones de GEI procedentes de aguas de desecho disminuirán a medida que aumente la recogida de aguas de desecho y su tratamiento [GTIII 10.6.2]

6.3.6 Desalinización (6)

En las regiones con escasez de agua, ésta podría obtenerse (en parte) por desalinización de agua salada. Este proceso requiere energía y conlleva, por consiguiente, la emisión de GEI cuando se utilizan combustibles de origen fósil. [GTII 3.3.2]

6.3.7 Energía geotérmica (7)

La utilización de energía geotérmica para calefacción no genera emisiones de GEI, como ocurre con otros métodos de generación de energía (véase también la Sección 6.2.5).

6.4 Posibles conflictos entre la adaptación y la mitigación en relación con los recursos hídricos

Es posible que surjan conflictos entre la adaptación y la mitigación en relación con los recursos hídricos. Los escasos estudios existentes a ese respecto (por ejemplo, Dang et al., 2003) indican que las repercusiones recíprocas entre la mitigación y la adaptación son, a nivel mundial, marginales en la mayoría de los casos, aunque podrían ser importantes a escala regional. En las regiones en que el cambio climático ocasione cambios significativos del régimen hidrológico pero que sigan teniendo un potencial hidroeléctrico disponible, la competencia por el agua se acentuará, especialmente si se realizan esfuerzos de adaptación al cambio climático en diversos sectores (por ejemplo, la competición por los recursos hídricos de superficie entre el riego, para hacer frente al impacto del cambio climático sobre la agricultura, el aumento de la demanda de agua potable, y el aumento de la demanda de agua de refrigeración en el sector energético). Esa posibilidad subraya hasta qué punto es importante integrar las estrategias de gestión de la tierra y del agua en las cuencas hidrográficas, a fin de conseguir una asignación óptima de los escasos recursos naturales (tierra y agua). Asimismo, hay que evaluar simultáneamente la mitigación y la adaptación, y establecer compromisos explícitos para la optimización de las inversiones financieras, fomentando al mismo tiempo el desarrollo sostenible. [GTII 18.8, 18.4.3]

Varios estudios confirman las posibles fricciones (inevitables, por razones ecológicas y de calidad del agua) entre el suministro de agua, el control de las crecidas, la energía hidroeléctrica y el flujo fluvial mínimo, en condiciones de cambio climático e hidrológico (Christensen et al., 2004; Van Rheeën et al., 2004). [GTII 18.4.3]

La adaptación al cambio de los regímenes hidrológicos y de la disponibilidad de agua requerirá además un aportación continua de energía adicional. En las regiones en que el agua escasea, el aumento de la reutilización y tratamiento de las aguas de desecho, la extracción a gran profundidad y, especialmente, la desalinización en gran escala incrementarán el uso de energía en el sector hídrico (Boutkan and Sitkker, 2004), con las consiguientes emisiones de GEI, a menos que se recurra a opciones de ‘energía limpia’ para generar la energía necesaria [GTII 18.4.3]