EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL AGUA

Documento técnico VI del IPCC

OMM

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

PNUMA

OMM

GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS
SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

PNUMA

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL AGUA

Edición a cargo de:

Bryson Bates
CSIRO
Australia

Zbigniew W. Kundzewicz
Academia Ciencias de Polonia e
Instituto de Investigaciones sobre
el Impacto Climático de Potsdam,
Alemania

Shaohong Wu
Academia de Ciencias
de China

Jean Palutikof
Centro Hadley de Predicción e
Investigación Climática de la Oficina
Meteorológica del
Reino Unido

Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, preparado en respuesta a una petición del Grupo. El material aquí presentado ha sido revisado por expertos y gobiernos, aunque no ha sido considerado por el Grupo respecto a su posible aceptación o aprobación.

Junio de 2008

Este documento ha sido preparado bajo la dirección de la Unidad Técnica de
Apoyo del Grupo de trabajo II del IPCC

Referencia bibliográfica sugerida:

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof, Eds., 2008: El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 págs.

© 2008, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

ISBN: 978-92-9169-323-8

Foto de portada: © Simon Fraser/Science Photo Library

Índice

Prefacio vii
Nota de agradecimiento viii
Resumen ejecutivo **1**
1. Introducción al cambio climático y el agua **5**
1.1 Consideraciones generales 7
1.2 Alcance 7
1.3 Contexto de este documento técnico: condiciones socioeconómicas y medioambientales 8
1.3.1 Cambios observados 8
1.3.2 Cambios proyectados 10
1.4 Descripción general 11
2. Cambios climáticos observados y proyectados en relación con el agua **13**
2.1 Cambios climáticos observados en relación con el agua 15
2.1.1 Precipitación (incluidos los valores extremos) y vapor de agua 15
2.1.2 Nieve y hielo terrestre 19
2.1.3 Nivel del mar 21
2.1.4 Evapotranspiración 21
2.1.5 Humedad del suelo 22
2.1.6 Escorrentía y caudal fluvial 22
2.1.7 Pautas de la variabilidad en gran escala 23
2.2 Influencias y retroefectos de los cambios hidrológicos sobre el clima 24
2.2.1 Efectos sobre la superficie terrestre 24
2.2.2 Retroefectos vinculados a cambios de la circulación oceánica 24
2.2.3 Emisiones y sumideros afectados por procesos hidrológicos o por retroefectos bio geoquímicos 25
2.3 Cambios climáticos proyectados en relación con el agua 25
2.3.1 Precipitación (incluidos los valores extremos) y vapor de agua 26
2.3.2 Nieve y hielo terrestre 29
2.3.3 Nivel del mar 29
2.3.4 Evapotranspiración 30
2.3.5 Humedad del suelo 31
2.3.6 Escorrentía y caudal fluvial 31
2.3.7 Pautas de variabilidad en gran escala 32
3. Vínculos entre el cambio climático y los recursos hídricos: impactos y respuestas **33**
3.1 impactos observados del cambio climático 35
3.1.1 Efectos observados resultantes de cambios en la criosfera 35
3.1.2 Hidrología y recursos hídricos 35
3.2 Cambios futuros respecto a en la disponibilidad y demanda de agua por efecto del cambio climático 40
3.2.1 Dinamizantes climáticos de los sistemas de agua dulce relacionados con el cambio climático en el futuro 40
3.2.2 Dinamizantes no climáticos de los sistemas de agua dulce en el futuro 44

3.2.3 Impactos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua dulce en el futuro 45
3.2.4 Impactos del cambio climático sobre la demanda de agua dulce en el futuro 45
3.2.5 Impactos del cambio climático sobre el estrés hídrico en el futuro 46
3.2.6 Impactos del cambio climático sobre los costes, y otros aspectos socioeconómicos del agua dulce 46
3.2.7 Áreas y sectores de agua dulce muy vulnerables al cambio climático 48
3.2.8 Incertidumbres de los impactos proyectados del cambio climático sobre los sistemas de agua dulce 48
3.3 Adaptación hídrica al cambio climático: consideraciones generales 50
3.3.1 Gestión integrada de los recursos hídricos 51
4. El cambio climático y los recursos hídricos, por sistemas y sectores 55
4.1 Ecosistemas y biodiversidad 57
4.1.1 Contexto 57
4.1.2 Proyecciones de cambio hidrológico, y sus implicaciones respecto a la biodiversidad mundial 57
4.1.3 Impactos de los cambios hidrológicos sobre los principales tipos de ecosistema 57
4.2 Agricultura y seguridad alimentaria, uso de la tierra y silvicultura 61
4.2.1 Contexto 61
4.2.2 Observaciones 62
4.2.3 Proyecciones 63
4.2.4 Adaptación, vulnerabilidad y desarrollo sostenible 66
4.3 Salud humana 71
4.3.1 Contexto 71
4.3.2 Observaciones 73
4.3.3 Proyecciones 73
4.3.4 Adaptación, vulnerabilidad y desarrollo sostenible 73
4.4 Abastecimiento de agua y saneamientos 73
4.4.1 Contexto 73
4.4.2 Observaciones 74
4.4.3 Proyecciones 74
4.4.4 Adaptación, vulnerabilidad y desarrollo sostenible 76
4.5 Asentamientos e infraestructura 77
4.5.1 Asentamientos 78
4.5.2 Infraestructura 78
4.5.3 Adaptación 79
4.6 Economía: seguros, turismo, industria, transporte 79
4.6.1 Contexto 79
4.6.2 Costos socioeconómicos, mitigación, adaptación, vulnerabilidad, desarrollo sostenible 80
5. Análisis de los aspectos regionales del cambio climático y de los recursos hídricos 81
5.1 África 83
5.1.1 Contexto 83
5.1.2 Observaciones actuales 84
5.1.3 Cambios proyectados 86
5.1.4 Adaptación y vulnerabilidad 89
5.2 Asia 90
5.2.1 Contexto 90
5.2.2 Impactos observados del cambio climático sobre el agua 90
5.2.3 Proyección del impacto del cambio climático sobre el agua, y principales vulnerabilidades 92
5.2.4 Adaptación y vulnerabilidad 93
5.3 Australia y Nueva Zelandia 95

5.3.1 Contexto 95
5.3.2 Cambios observados 95
5.3.3 Cambios proyectados 96
5.3.4 Adaptación y vulnerabilidad 98
5.4 Europa 98
5.4.1 Contexto 98
5.4.2 Cambios observados 98
5.4.3 Cambios proyectados 99
5.4.4 Adaptación y vulnerabilidad 101
5.5 América Latina 101
5.5.1 Contexto 101
5.5.2 Cambios observados 102
5.5.3 Cambios proyectados 104
5.5.4 Adaptación y vulnerabilidad 106
5.6 América del Norte 108
5.6.1 Contexto y cambio observado 108
5.6.2 Cambios proyectados, y sus consecuencias 108
5.6.3 Adaptatción 111
5.7 Regiones polares 113
5.7.1 Contexto 113
5.7.2 Cambios observados 114
5.7.3 Cambios proyectados 115
5.7.4 Adaptación y vulnerabilidad 116
5.8 Islas pequeñas 116
5.8.1 Contexto 116
5.8.2 Tendencias climáticas observadas y proyecciones respecto a las regiones insulares 117
5.8.3 Adaptación, vulnerabilidad y sostenibilidad 119
6. Medidas de mitigación del cambio climático en el sector hídrico 123
6.1 Introducción 125
6.2 Mitigación por sectores 125
6.2.1 Captación y almacenamiento de dióxido de carbono (CAC) 125
6.2.2 Cultivos bioenergéticos 125
6.2.3 Electricidad obtenida mediante biomasa 127
6.2.4 Energía hidroeléctrica 127
6.2.5 Energía geotérmica 127
6.2.6 Uso de energía en edificios 128
6.2.7 Gestión y cambio del uso de la tierra 128
6.2.8 Gestión de tierras de cultivo (agua) 128
6.2.9 Gestión de tierras de cultivo (menor roturación) 129
6.2.10 Forestación o reforestación 129
6.2.11 Evitación / reducción de la deforestación 130
6.2.12 Gestión de desechos sólidos; tratamiento de aguas de desecho 130
6.2.13 Petróleo no convencional 130
6.3 Efectos de las políticas y medidas de gestión hídrica sobre las emisiones de GEI y su mitigación 130
6.3.1 Presas hidroeléctricas 131
6.3.2 Riego 132
6.3.3 Producción de residuos 132

6.3.4 Drenaje de las tierras de cultivo 132
6.3.5 Tratamiento de aguas de desecho 132
6.3.6 Desalinización 133
6.3.7 Energía geotérmica 133
6.4 Posibles conflictos entre la adaptación y la mitigación en relación con los recursos hídricos 133
7. Implicaciones respecto a las políticas y el desarrollo sostenible 135
7.1 Implicaciones respecto a las políticas, por sectores 137
7.2 Principales impactos hídricos proyectados, por regiones 139
7.3 Implicaciones respecto a las políticas de mitigación del clima 141
7.4 Implicaciones respecto al desarrollo sostenible 141
8. Lagunas de conocimiento y temas de estudio sugeridos 143
8.1 Necesidades observacionales 145
8.2 Comprensión de las proyecciones climáticas y de sus impactos 145
8.2.1 Comprensión y proyección del cambio climático 145
8.2.2 Impactos relacionados con el agua 146
8.3 Adaptación y mitigación 147
Referencias 149
Apéndice I: Descripciones de modelos climáticos 175
Apéndice II: Glosario 177
Apéndice III: Siglas, símbolos químicos, unidades científicas 195
Apéndice IV: Lista de autores 197
Apéndice V: Lista de revisores 199
Apéndice VI: Autorizaciones de publicación 203
Índice temático 205

Prefacio

El presente documento técnico sobre el cambio climático y el agua del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es el sexto de la serie de documentos técnicos del IPCC, y ha sido redactado en respuesta a una propuesta de la Secretaría del Programa Mundial sobre el Clima-Agua (PMC-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. En noviembre de 2002 se celebró en Ginebra una reunión consultiva sobre el cambio climático y el agua, en la que se recomendó la preparación de un documento técnico específico en lugar de un informe especial para abordar este tema. El documento debía basarse fundamentalmente en los resultados del Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, aunque también en publicaciones anteriores del Grupo. El IPCC decidió asimismo que el agua debía considerarse como un tema transversal en el Cuarto Informe de Evaluación.

En el presente documento técnico se examina el problema del agua dulce. El aumento del nivel del mar ha sido tenido en cuenta únicamente en la medida en que pudiera influir sobre el agua dulce en áreas costeras e interiores. El clima, el agua dulce y los sistemas biofísicos y socioeconómicos están interconectados de manera compleja. Por consiguiente, la variación de uno de esos factores podría inducir un cambio en cualquiera de los demás. Los asuntos relacionados con el agua dulce son críticos a la hora de determinar vulnerabilidades clave, tanto a nivel regional como sectorial. Por ello, la relación entre el cambio climático y los recursos de agua dulce es fundamental para la sociedad humana, y tiene también implicaciones respecto a las demás especies vivas.

Las oficinas de los tres Grupos de Trabajo del IPCC seleccionaron un equipo interdisciplinario de redacción de autores principales, con el fin de lograr un equilibrio desde el punto de vista regional y temático. Como todos los documentos técnicos del IPCC, también éste está basado en el texto de los informes del IPCC aprobados/aceptados/adoptados con anterioridad, ha sido revisado simultáneamente por expertos y gobiernos, y ha sido sometido a una revisión final de los gobiernos. La Oficina del IPCC actuó como consejo editorial para asegurarse de que los autores principales tendrían en cuenta oportunamente todos los comentarios aportados para la finalización del documento.

En su 37ª reunión de Budapest, en abril de 2008, la Oficina consideró los principales comentarios recibidos durante la revisión final de los gobiernos. En base a sus observaciones y peticiones, los autores principales finalizaron el documento técnico, y la Oficina autorizó su presentación al público.

Tenemos una gran deuda de gratitud con los autores principales (mencionados en este documento), que ofrecieron su tiempo con gran generosidad y completaron el documento técnico en el plazo previsto. Nos gustaría agradecer al Dr. Jean Palutikof, Jefe de la Unidad de Apoyo Técnico del Grupo de trabajo II del IPCC, su experto liderazgo durante la redacción de este documento.

Rajendra K. Pachauri
Presidente del IPCC

Renate Christ
Secretaria del IPCC

Osvaldo Canziani
Copresidente del Grupo de trabajo II del IPCC

Martin Parry
Copresidente del Grupo de trabajo II del IPCC

Nota de Agradecimiento

Agradecemos a la Unidad de Apoyo Técnico del Grupo de trabajo II, y en particular a Norah Pritchard y Clair Hanson, su dedicación durante la preparación de este documento técnico.

El Gobierno de Canadá aceptó amablemente acoger la segunda reunión de los autores principales, y estamos muy agradecidos a Terry Prowse por acometer el difícil trabajo de organización en Victoria, Columbia Británica.

Maurice Roos, proveniente del Departamento de Recursos Hídricos del Estado de California, y Bill Girling, de Manitoba Hydro, asistieron a la segunda reunión de autores principales para aportar asesoramiento y sugerencias desde su perspectiva como usuarios.

Marilyn Anderson preparó el índice, y Nancy Boston editó el texto.

Nuestro agradecimiento a todos los autores, a sus familias, a las instituciones y a los gobiernos por haber hecho posible este documento.

Bryson Bates
Zbyszek Kundzewicz
Shaohong Wu
Jean Palutikof

23 de junio de 2008

El cambio climático y el agua

El presente documento técnico fue encargado por la Plenaria del IPCC en respuesta a las sugerencias del Programa Mundial sobre el Clima - Agua, el Diálogo sobre el Agua, y otras organizaciones implicadas en el abastecimiento de agua. Ha siso preparado bajo los auspicios del Presidente del IPCC, Dr. R.K. Pachauri.

Autores Principales Coordinadores
Bryson Bates (Australia), Zbigniew W Kundzewicz (Polonia) y Shaohong Wu (China)

Autores Principales
Nigel Arnell (Reino Unido), Virginia Burkett (Estados Unidos de América), Petra Döll (Alemania), Daniel Gwary (Nigeria), Clair Hanson (Reino Unido), BertJan Heij (Países Bajos), Blanca Elena Jiménez (México), Georg Kaser (Austria), Akio Kitoh (Japón), Sari Kovats (Reino Unido), Pushpam Kumar (Reino Unido), Christopher H.D. Magadza (Zimbabwe), Daniel Martino (Uruguay), Luis Jose Mata (Alemania/Venezuela), Mahmoud Medany (Egipto), Kathleen Miller (Estados Unidos de América), Taikan Oki (Japón), Balgis Osman (Sudán), Jean Palutikof (Reino Unido), Terry Prowse (Canadá), Roger Pulwarty (Estados Unidos de América/ Trinidad y Tabago), Jouni Räisänen (Finlandia), James Renwick (Nueva Zelandia), Francesco Nicola Tubiello (Estados Unidos de América/IIASA/Italia), Richard Wood (Reino Unido), y Zong-Ci Zhao (China)

Autores que han contribuido
Julie Arblaster (Australia), Richard Betts (Reino Unido), Aiguo Dai (Estados Unidos de América), Christopher Milly (Estados Unidos de América), Linda Mortsch (Canadá), Leonard Nurse (Barbados), Richard Payne (Australia), Iwona Pinskwar (Polonia) y Tom Wilbanks (Estados Unidos de América)

Resumen ejecutivo

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.

El calentamiento observado durante varias décadas ha sido vinculado a cambios experimentados por el ciclo hidrológico en 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 interdecenal 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 10°S y los 30°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 *(probable*[1]*)*. La superficie mundial de tierra clasificada como muy seca se ha duplicado con creces desde los años 70 *(probable)*. Ha habido disminuciones importantes de la cantidad de agua almacenada en los glaciares de montaña y en la cubierta de nieve del Hemisferio Norte. Se han observado variaciones en la amplitud y cronología de las crecidas en los ríos alimentados por glaciares o por el deshielo de nieve, y en fenómenos relacionados con el hielo en ríos y lagos *(nivel de confianza alto)*. [2.1[2]]

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)*. Fuera de esas áreas, el signo y magnitud de los cambios proyectados varían de un modelo a otro, dando lugar a una considerable incertidumbre respecto a las proyecciones de precipitación.[3] Así pues, las proyecciones de los cambios futuros de la precipitación son más fiables para unas regiones que otras. Las proyecciones de los modelos concuerdan tanto menos cuanto más disminuye la escala espacial. [2.3.1]

Para mediados del siglo XXI las proyecciones indican que, como consecuencia del cambio climático[4] , la escorrentía fluvial promedia 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.[5] Muchas áreas semiáridas y áridas (por ejemplo, la cuenca mediterránea, el oeste de Estados Unidos de América, 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 alto)*. [2.3.6]

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 *(probable)*, 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. [2.3.1, 3.2.1]

Las proyecciones indican que las reservas de agua almacenada en los glaciares y en la capa de nieve disminuirán durante este siglo, reduciendo así la disponibilidad de agua durante los periodos calurosos y secos (debido a un cambio estacional del caudal fluvial, a un aumento de las aportaciones invernales al total anual, y a reducciones de los caudales menores) en regiones dependientes del deshielo en las principales cordilleras montañosas, en las que vive actualmente más de la sexta parte de la población mundial *(nivel de confianza alto)*. [2.1.2, 2.3.2, 2.3.6]

Las proyecciones indican que los aumentos de temperatura del agua y la variación de los fenómenos extremos, incluidas las crecidas y sequías, afectarían a la calidad del agua y agudizarían la polución del agua por múltiples causas, desde la acumulación de sedimentos, nutrientes, carbono orgánico disuelto, patógenos, plaguicidas o sal hasta la polución térmica, con posibles efectos negativos sobre los ecosistemas, la salud humana, y la fiabilidad y costes de operación de los sistemas hídricos *(nivel de confianza alto)*. Además, el aumento del nivel del mar extendería la salinización a las aguas subterráneas y a los estuarios, reduciendo así la disponibilidad de agua dulce para las poblaciones y ecosistemas en áreas costeras. [3.2.1.4, 4.4.3]

A nivel mundial, los efectos negativos del futuro cambio climático sobre los sistemas de agua dulce compensarían sus efectos positivos *(nivel de confianza alto)*. De aquí a 2050, las proyecciones indican que la extensión de terreno que padecerá un estrés hídrico más acentuado por efecto del cambio climático llegará a ser el doble de la que padece un estrés hídrico menor. Las áreas en que las proyecciones indican una menor escorrentía experimentarían una clara reducción de los servicios obtenidos de los recursos hídricos. Una mayor escorrentía anual en algunas áreas generaría un mayor abastecimiento total de agua. En

[1] Véase el Recuadro 1.1.

[2] Los números entre corchetes remiten a las diversas secciones del texto principal del presente documento técnico.

[3] Las proyecciones consideradas están basadas en una horquilla de escenarios sin mitigación descritos en el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IE-EE) del IPCC.

[4] Esta afirmación excluye los cambios experimentados por factores no climáticos, como el riego.

[5] Estas proyecciones están basadas en un agregado de modelos climáticos que utilizan el intervalo medio de escenarios de emisiones sin mitigación A1B del IE-EE. Considerando el intervalo de respuestas climáticas basadas en escenarios IE-EE para mediados del siglo XXI, cabría concluir que esta conclusión es aplicable a una horquilla de escenarios más extensa.

muchas regiones, sin embargo, es probable que esta ventaja sea contrarrestada por los efectos negativos que una creciente variabilidad de las precipitaciones y los cambios de la escorrentía estacional tendrán sobre el abastecimiento de agua, su calidad y el riesgo de inundaciones *(nivel de confianza alto)*. [3.2.5]

Los cambios de la cantidad y calidad del agua por efecto del cambio climático afectarían a la disponibilidad, la estabilidad, la accesibilidad y la 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. [4.2]

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. Los efectos adversos del cambio climático sobre los sistemas de agua dulce agravan los efectos de otros factores, como el crecimiento de la población, la evolución de la actividad económica, el uso del suelo, o la urbanización *(nivel de confianza muy alto)*. A escala mundial, la demanda de agua crecerá en las próximas décadas, debido fundamentalmente al crecimiento de la población y a una creciente prosperidad. A escala regional, se esperan grandes cambios en la demanda de agua de riego como consecuencia del cambio climático *(nivel de confianza alto)*. [1.3, 4.4, 4.5, 4.6]

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)*. [3.3]

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 de la 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. En algunos países y regiones se están desarrollando procedimientos de adaptación y prácticas de gestión de riesgo que incorporan los cambios hidrológicos previstos, junto con sus correspondientes incertidumbres. [3.3]

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 de 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. [3.3]

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 abarcadas por las políticas de gestión hídrica (por ejemplo, los embalses) podrían influir en las emisiones de gases de efecto invernadero. Los embalses son una fuente de energía renovable, pero producen emisiones de gases de efecto invernadero. La magnitud de tales emisiones dependerá de las circunstancias específicas y del modo de funcionamiento. [Sección 6]

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. Es *probable* que los países y regiones de ingresos bajos sigan siendo vulnerables a medio plazo, ya que tienen menor capacidad que los países de ingresos elevados para adaptarse al cambio climático. Por ello, las estrategias de adaptación deberían diseñarse en el contexto de políticas de desarrollo, medio ambiente y salud. [Sección 7]

Existen lagunas de información tanto en términos de observaciones como de necesidades de investigación en relación con el cambio climático y el agua. Los datos observacionales y el acceso a los datos son prerrequisitos de una gestión adaptativa, y aun así numerosas redes observacionales están disminuyendo de tamaño. Es necesario mejorar el conocimiento y la modelización de los cambios climáticos en relación con el ciclo hidrológico a escalas que sean útiles para la toma de decisiones. La información sobre los efectos del cambio climático en relación con el agua es inadecuada –especialmente en lo que respecta a la calidad del agua, a los ecosistemas acuáticos y al agua subterránea–, particularmente en sus dimensiones socioeconómicas. Por último, los instrumentos actualmente utilizados para facilitar la evaluación integrada de las opciones de adaptación y mitigación respecto de múltiples sectores que dependen del agua son inadecuados. [Sección 8]

1

Introducción al cambio climático y el agua

1.1 Consideraciones generales

La idea de alumbrar una publicación especial del IPCC dedicada al agua y al cambio climático surgió durante la decimonovena reunión del IPCC, celebrada en Ginebra en abril de 2002, en que la Secretaría del Programa Mundial sobre el Clima–Agua y el Comité director internacional para el diálogo sobre el agua y el clima solicitaron que el IPCC preparara un informe especial sobre este tema. En noviembre de 2002 se celebró en Ginebra una reunión consultiva sobre el cambio climático y el agua, que concluyó que la elaboración de un tal informe en 2005 o 2006 sería de escasa utilidad, puesto que quedaría obsoleto en cuanto se publicase el Cuarto Informe de Evaluación (4IE), cuya finalización estaba prevista para 2007. En su lugar, la reunión recomendó preparar un documento técnico sobre el clima y el agua, basado fundamentalmente en el 4IE, aunque enriquecido también con material de anteriores publicaciones del IPCC.

Con el fin de conseguir un equilibrio regional y temático, las tres oficinas de los Grupos de trabajo del IPCC seleccionaron un equipo de redacción interdisciplinario en el que estaban representadas diversas disciplinas de interés. En la preparación del presente documento y en su proceso de revisión han participado organismos de las Naciones Unidas, organizaciones no gubernamentales (ONG) y representantes de sectores interesados en esa materia.

Las directrices del IPCC establecen que los documentos técnicos se obtendrán de:

(a) el texto de los informes de evaluación e informes especiales del IPCC, y las partes de los estudios citados que hayan servido de base a esos informes,

(b) diversos modelos apropiados, junto con sus respectivos supuestos, y escenarios basados en supuestos socioeconómicos, tal como hayan sido utilizados para incorporar información en los informes del IPCC.

Estas directrices han sido aplicadas en la elaboración del presente documento.

1.2 Alcance

El presente documento técnico está dedicado únicamente al agua dulce. El aumento del nivel del mar se ha considerado únicamente en la medida en que podría afectar al agua dulce de la zona costera, por ejemplo a consecuencia de la salinización de las aguas subterráneas. En consonancia con las publicaciones científicas contemporáneas, el documento se ocupa principalmente del cambio climático durante el siglo XXI, aun reconociendo que, aunque las concentraciones de gases de efecto invernadero llegaran a estabilizarse, el calentamiento y la elevación del nivel del mar proseguirían durante siglos. [GT1 RRP]

La importancia del agua dulce para nuestro sistema de sustentación vital ha sido ampliamente reconocida, como se aprecia claramente en el contexto internacional (por ejemplo, Programa 21, Foros mundiales sobre el agua, Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, o Informe Mundial sobre el Desarrollo del Agua). El agua dulce es indispensable para todas las formas de vida, y necesaria en grandes cantidades para casi todas las actividades humanas. El clima, el agua dulce y los sistemas biofísicos y socioeconómicos están intrincadamente interconectados, por lo que un cambio en uno de ellos induce un cambio en otro distinto. El cambio climático antropógeno agrava la presión que están experimentando ya las naciones ante el problema de la utilización sostenible del agua potable. Los problemas que habrá que resolver en relación con el agua potable son: exceso de agua, escasez de agua, y exceso de polución. Cada uno de esos problemas puede ser amplificado por el cambio climático. Los problemas relacionados con el agua dulce desempeñan un papel crucial en el conjunto de las vulnerabilidades regionales y sectoriales clave. Por ello, la relación entre el cambio climático y los recursos de agua dulce suscita una preocupación y un interés de primer orden.

Hasta la fecha, los problemas relacionados con los recursos hídricos no han sido adecuadamente abordados en los análisis del cambio climático, ni en la formulación de políticas sobre el clima. En la mayoría de los casos, no se han tenido en cuenta tampoco adecuadamente los problemas que plantea el cambio climático en relación con los análisis, la gestión o la formulación de políticas relativas a los recursos hídricos. Según numerosos expertos, tanto el agua como su disponibilidad y calidad serán los principales factores de presión y el principal tema de debate en el contexto de las sociedades y del medio ambiente afectados por el cambio climático; por consiguiente, es necesario ahondar en nuestro conocimiento de los problemas que traen aparejados.

Se resumen a continuación los objetivos del presente documento, tal como fueron definidos en el Doc. 9[6] de la 21ª reunión del IPCC:

- Mejorar nuestro conocimiento de los vínculos existentes entre, por una parte, el cambio climático natural y el antropógeno, sus efectos y las opciones de respuesta en términos de adaptación y mitigación y, por otra, los problemas relacionados con el agua.
- Dar a conocer a los responsables de políticas y a las partes interesadas las implicaciones del cambio climático y las opciones de respuesta en lo referente a los recursos hídricos, así como las implicaciones respecto de esos recursos vinculadas a diversos escenarios y opciones de respuesta al cambio climático, y en particular las correspondientes sinergias y soluciones de equilibrio.

Tal como se indica en el Doc. 9 de la 21ª reunión del IPCC, el presente documento se ocupa de evaluar los efectos del cambio climático sobre los procesos y regímenes hidrológicos y sobre los recursos de agua dulce; es decir, sobre su disponibilidad, calidad, usos y gestión. En él se han tenido en cuenta las principales vulnerabilidades regionales, tanto actuales como proyectadas, y las perspectivas de adaptación.

[6] 'Scoping Paper for a possible Technical Paper on Climate Change and Water'. Disponible en: http://www.ipcc.ch/meetings/session21.htm.

El documento está destinado fundamentalmente a los responsables de políticas que trabajan en todos los ámbitos relativos a la gestión de recursos de agua dulce, cambio climático, estudios estratégicos, planificación espacial, y desarrollo socioeconómico. Sin embargo, está destinado también a la comunidad científica cuyo trabajo está relacionado con el agua y el cambio climático, y a una audiencia más amplia, que abarca las ONG y los medios de comunicación.

Dado que la información sobre el agua y el cambio climático se encuentra dispersa entre el cuarto informe del IPCC y los informes de síntesis, es útil disponer de una publicación concisa e integrada sobre el tema del agua y el cambio climático. En el presente documento se hace también referencia, en caso necesario, a anteriores informes especiales y de evaluación del IPCC. El valor añadido del presente documento reside en la concentración, priorización, síntesis e interpretación de toda esa información.

El texto de este documento técnico se ajusta cuidadosamente al texto de los informes del IPCC de los que procede. Refleja el equilibrio y la objetividad de esos informes y, cuando el texto difiere, ello se ha debido al deseo de apoyar y/o explicar mejor las conclusiones de los informes. Todos los párrafos sustantivos hacen referencia a un informe del IPCC. La fuente se indica entre corchetes, generalmente al final del párrafo (excepto cuando alguna parte de un párrafo proviene de más de un documento IPCC, en cuyo caso la fuente del IPCC se indica a continuación de la inserción correspondiente). Se han aplicado las convenciones siguientes:

- El Cuarto Informe de Evaluación (4IE), la publicación del IPCC más frecuentemente citada, se ha representado en la forma [GTII 3.5], que en este caso remite a la sección 3.5 del Capítulo 3 del 4IE del Grupo de tsrabajo II. Véase IPCC (2007a, b, c, d).
- Cuando la información proviene de otras fuentes IPCC se han utilizado las abreviaturas siguientes: TIE (Tercer Informe de Evaluación: IPCC 2001a, b, c), IRCC (Informe Especial - Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad, Watson et al., 1997), UTCUTS (Informe Especial - Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura: IPCC, 2000), IE-EE (Informe Especial - Escenarios de emisiones: Nakićenović and Swart, 2000), CCB (Documento Técnico V – Cambio climático y biodiversidad: Gitay et al., 2002) y CAC (Informe Especial – La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono: Metz et al., 2005). Así, [GTII TIE 5.8.3] denota la Sección 5.8.3 del Capítulo 5 del Tercer Informe de Evaluación del Grupo de trabajo II.
- Otras abreviaturas incluidas en las referencias son: RE (Resumen Ejecutivo), RRP (Resumen para Responsables de Políticas), RT (Resumen Técnico), e IdS (Informe de Síntesis), todos los cuales hacen referencia al 4IE a menos que se indique lo contrario.

Las referencias a fuentes originales (revistas, libros e informes) se han insertado a continuación de la frase correspondiente, entre paréntesis.

1.3 Contexto de este documento técnico: condiciones socioeconómicas y medioambientales

El presente documento técnico explora las relaciones entre el cambio climático y el agua dulce expuestas en los informes de evaluación y en los informes especiales del IPCC. Estas relaciones no existen por sí solas, sino en el contexto de las condiciones socioeconómicas y medioambientales y en interacción con ellas. En la presente sección se describen las características más relevantes de esas condiciones, tanto observadas como proyectadas, por lo que se refiere al agua dulce.

Son muchos los dinamizantes no climáticos que afectan a los recursos de agua dulce en todas las escalas, y en particular a escala mundial (UN, 2003). Los recursos hídricos, tanto en términos de cantidad como de calidad, están gravemente afectados por las actividades humanas, en particular: agricultura y cambios de uso del suelo, construcción y gestión de embalses, emisiones de sustancias poluyentes, y tratamiento de aguas de desecho. El uso de agua está vinculado principalmente a la evolución de la población, al consumo alimentario (incluidos los tipos de dieta), a las políticas económicas (incluidas las de determinación del precio del agua), a la tecnología, al nivel de vida[7] y a la valoración de los ecosistemas de agua dulce por la sociedad. Para evaluar la relación entre el cambio climático y el agua dulce es necesario considerar cómo afecta y afectará al agua dulce a la evolución de esos originantes no climáticos. [GTII 3.3.2]

1.3.1 Cambios observados

En las evaluaciones de escala mundial, se considera que una cuenca padece estrés hídrico[8] cuando su disponibilidad de agua por habitante es inferior a 1.000 m^3/año (tomando como base el promedio histórico de la escorrentía) o cuando el cociente entre la extracción de agua y el promedio anual histórico de escorrentía es superior a 0,4. Un volumen de agua superior a 1.000 m^3 por habitante y año es normalmente más de lo necesario para usos domésticos, industriales y agrícolas. Existen cuencas de ese tipo en el norte de África, región mediterránea, Oriente Medio y Próximo, sur de Asia, norte de China, Estados Unidos de América, México, nordeste de Brasil, y costa occidental de América del Sur (Figura 1.1). La población que vive en esas cuencas asciende a un total estimado de entre 1.400 y 2.100 millones de personas (Vörösmarty et al., 2000; Alcamo et al., 2003a, b; Oki et al., 2003; Arnell, 2004). [GTII 3.2]

El uso de agua, en particular para regadío, aumenta generalmente con la temperatura y disminuye con la precipitación; no hay, sin embargo, evidencia de que el uso del agua haya estado históricamente relacionado con el clima en el pasado. Ello se

[7] En este contexto, el uso de aparatos de gran consumo de agua, como lavavajillas, lavadoras, aspersores, etc.
[8] El estrés hídrico es un concepto que describe en qué medida está expuesta la población al riesgo de falta de agua.

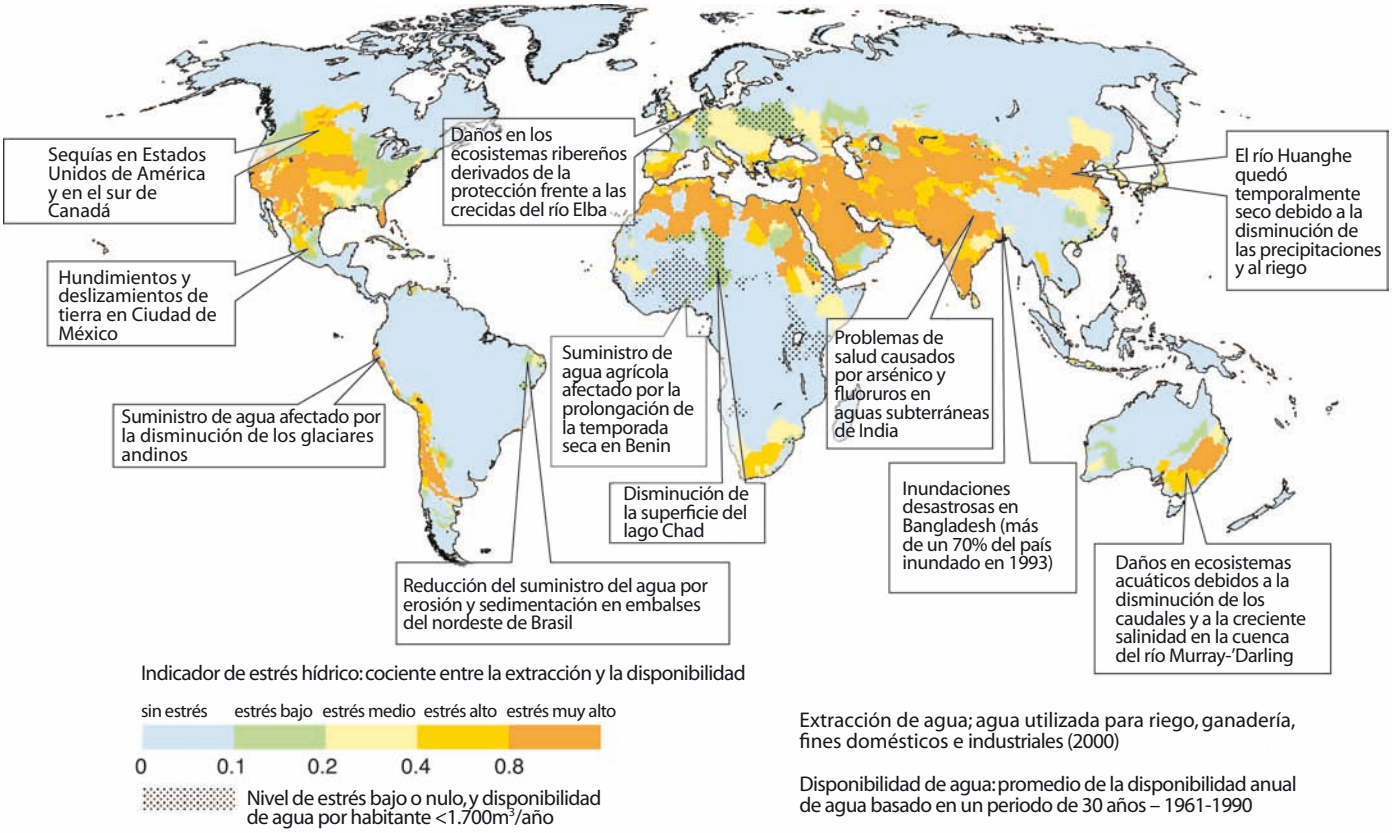


Figura 1.1: *Ejemplos de vulnerabilidad actual de los recursos de agua dulce y de su gestión; al fondo, un mapa de estrés hídrico, basado en WaterGAP (Alcamo et al., 2003a). Véase en el texto su relación con el cambio climático [GTII, Figura 3.2]*

debe, en parte, a la circunstancia de que responde principalmente a factores no climáticos y a la escasa calidad de los datos sobre el uso de agua en general, y de los datos cronológicos en particular. [GTII 3.2]

La disponibilidad del agua proveniente de fuentes superficiales o pozos poco profundos depende de la variabilidad estacional e interanual del caudal fluvial, y la seguridad de los suministros de agua está determinada por los flujos menores de carácter estacional. En las cuencas en que predomina la nieve, unas temperaturas más elevadas originan caudales menores y, por consiguiente, un menor suministro de agua durante el verano (Barnett et al., 2005). [GTII 3.2]

En las áreas que padecen estrés hídrico, las personas y los ecosistemas son particularmente vulnerables a una disminución o a una mayor variabilidad de la precipitación por efecto del cambio climático. En la sección 5 se ofrecen algunos ejemplos.

En la mayoría de los países, excepto en algunas naciones industrializadas, el consumo de agua ha aumentado en las últimas décadas debido al crecimiento demográfico y económico, a la evolución del nivel de vida y a una mayor extensión de los sistemas de abastecimiento de agua, siendo el riego, con mucho, el destino más importante. El riego representa en torno a un 70% del agua extraída en todo el mundo, y más de un 90% de su consumo (es decir, del volumen de agua no reutilizable corriente abajo). [GTII 3.2] El riego genera aproximadamente un 40% de la producción agrícola (Fischer et al., 2006). La superficie de riego mundial ha aumentado de manera aproximadamente lineal desde 1960 a un ritmo aproximado de un 2% al año, pasando de 140 millones de hectáreas entre 1961 y 1963 a 270 millones de hectáreas entre 1997 y 1999, que representan aproximadamente un 18% de la superficie cultivada total actual (Bruinsma, 2003).

Aunque a nivel regional las tasas de cambio demográfico difieren mucho del promedio mundial, la tasa mundial está ya disminuyendo. El uso de agua a nivel mundial aumenta probablemente, debido al crecimiento económico de los países desarrollados, aunque no hay datos fiables acerca de la rapidez de ese crecimiento. [GTII 3.2, 5.3]

En términos generales, la calidad del agua superficial y subterránea ha disminuido en los últimos decenios, debido principalmente al crecimiento de la actividad agrícola e industrial (UN, 2006). Para contrarrestar ese problema, muchos países (por ejemplo, de la Unión Europea, o Canadá) han establecido o aplicado normas en relación con el agua de desecho y han rehabilitado sus instalaciones de tratamiento de ese tipo de agua (GEO-3, 2003). [GTII 3.3.2, Tabla 8.1]

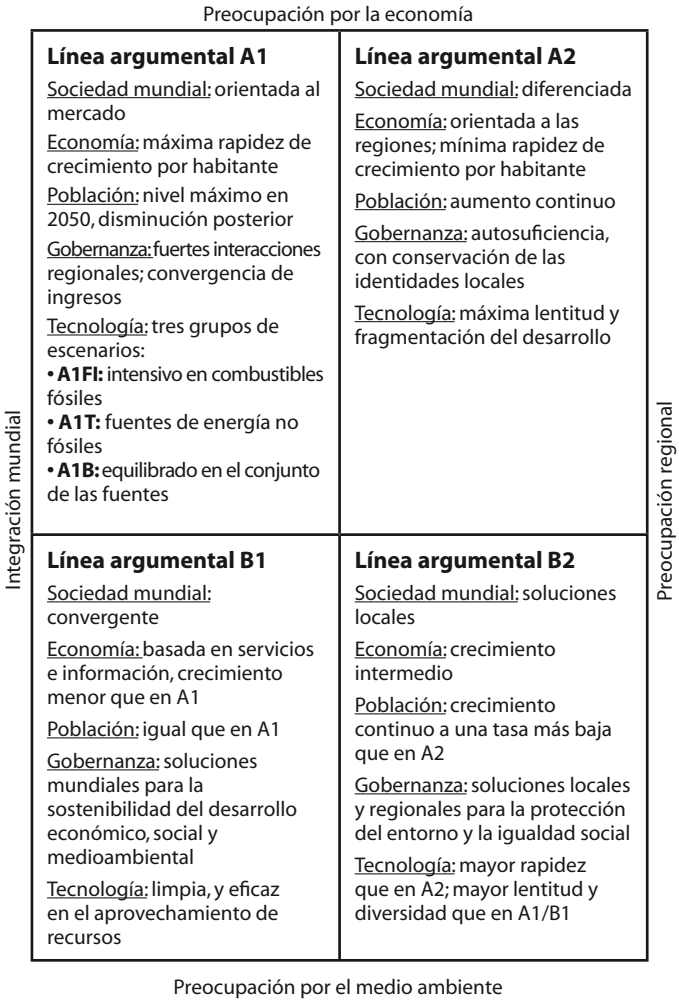


Figura 1.2: *Resumen de las características de las líneas argumentales de los cuatro IE-EE (basado en Nakićenović and Swart, 2000). [GTII, Figura 2.5]*

1.3.2 Cambios proyectados

1.3.2.1 Consideraciones generales

Las cuatro líneas argumentales de los escenarios IE-EE del IPCC (Informe Especial sobre escenarios de emisiones: Nakićenović and Swart, 2000), que han servido de base para numerosos estudios de proyección del cambio climático y de los recursos hídricos, contemplan toda una serie de evoluciones plausibles de la población y de la actividad económica durante el siglo XXI (véase la Figura 1.2). En aquellos escenarios que presuponen una economía mundial con predominio del comercio y de las alianzas a nivel mundial (Al y Bl), la población mundial pasaría de los 6.600 millones actuales a 8.700 millones en 2050, mientras que en los escenarios en que la globalización y la cooperación son menores (A2 y B2) la población mundial aumentaría hasta los 10.400 millones de aquí a 2100 (B2) o hasta los 15.000 millones (A2) de aquí a final de siglo. En general, todos los escenarios IE-EE describen una sociedad más próspera que la actual, cuyo producto interior bruto (PIB) mundial será, en 2100, entre 10 y 26 veces superior al actual. Todos los escenarios IE-EE contemplan un acercamiento entre los ingresos de las distintas regiones del mundo, y en ellos la tecnología es un originante tan importante como la evolución demográfica o el desarrollo económico. [IE-EE RRP]

1.3.2.2 Recursos hídricos

Revisten particular interés para las proyecciones de los recursos hídricos, con o sin cambio climático, los posibles cambios relativos a la construcción y clausura de presas, las infraestructuras de abastecimiento de agua, el tratamiento y reutilización de aguas de desecho, la desalinización, las emisiones de sustancias poluyentes y el uso del suelo, particularmente con fines de riego. Con independencia de cambio climático, se espera que los países en desarrollo construyan nuevas presas para la generación de energía eléctrica y para el suministro de agua, aunque es *probable* que su número sea pequeño en comparación con las 45.000 presas existentes. No se han tenido en cuenta, sin embargo, los efectos de un eventual crecimiento de la demanda de energía hidroeléctrica (World Commission on Dams, 2000; Scudder, 2005). En los países desarrollados es *muy probable* que el número de embalses se mantenga estable y que se clausuren algunas presas. Al aumentar la variabilidad temporal de la escorrentía por efecto del cambio climático, una mayor capacidad de almacenamiento de agua embalsada podría ser beneficiosa, en particular donde la escorrentía anual no disminuya de forma notable. Un estudio de los caudales necesarios desde el punto de vista medioambiental podría inspirar nuevas modificaciones en la explotación de los reservorios, restringiendo así el uso de los recursos hídricos por las personas. Los esfuerzos por alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM, véase la Tabla 7.1) deberían mejorar el abastecimiento de agua y los saneamientos. En el futuro, la reutilización de las aguas de desecho y la desalinización serán posiblemente fuentes importantes de suministro de agua en regiones semiáridas y áridas. No obstante, subsisten problemas sin resolver en lo que respecta a su impacto medioambiental, particularmente en relación con el alto consumo de energía necesario para la desalinización. Antes habría que considerar otras opciones como, por ejemplo, actuar sobre el precio del agua, o establecer estrategias para una gestión rentable de la demanda de agua. [GTII 3.3.2, 3.4.1, 3.7]

En el futuro, se espera recurrir en mayor medida al tratamiento del agua de desecho, tanto en los países desarrollados como en desarrollo, aunque es *probable* que las descargas puntuales de nutrientes, metales pesados y sustancias orgánicas aumenten en los países en desarrollo. Tanto en los países desarrollados como en desarrollo, podrían aumentar las emisiones de micropoluyentes orgánicos (por ejemplo, sustancias endocrinas) hacia las aguas superficiales y subterráneas, dado que es *probable* que la producción y consumo de sustancias químicas aumenten, excepto para algunas sustancias muy tóxicas. La tecnología actualmente utilizada para el tratamiento de aguas de desecho no elimina algunas de esas sustancias poluyentes. La calidad del agua puede variar, debido al impacto del aumento del nivel del mar sobre las operaciones de drenaje del agua de

tempestad y sobre la evacuación de aguas de desecho en áreas costeras. [GTII 3.2.2, 3.4.4]

Es *probable* que las emisiones difusas de nutrientes y plaguicidas de origen agrícola sigan siendo importantes en los países desarrollados, y es *muy probable* que aumenten en los países en desarrollo, afectando así gravemente a la calidad del agua. En los cuatro escenarios de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005a) ("Orquestación mundial", "Orden mediante la fuerza", "Mosaico adaptante" y "TecniJardín"), el uso mundial de fertilizantes nitrogenados ascenderá a entre 110 y 140 toneladas métricas en 2050, frente a 90 toneladas en 2000. En tres de esos escenarios, el transporte fluvial de nitrógeno aumenta de aquí a 2050, mientras que en el escenario "TecniJardín" (similar al escenario B1 del IE-EE del IPCC) disminuye (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005b). [GTII 3.3.2]

La población y el desarrollo económico son algunos de los principales originantes del uso de agua, pero también lo es la evolución del valor del agua desde el punto de vista de la sociedad. En otras palabras, la prioridad o no del abastecimiento de agua para usos domésticos e industriales frente al suministro de agua de riego, o la mayor eficacia en el uso de agua si se utilizan en mayor medida tecnologías de ahorro y se controla su precio. En los cuatro escenarios de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, el uso de agua por habitante para usos domésticos sería, en 2050, prácticamente similar en todas las regiones del mundo, y se situaría en torno a los 100 m^3/año, que fue el promedio de Europa en 2000 (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005b). [GTII 3.3.2]

Haciendo abstracción del cambio climático, los principales dinamizantes del uso futuro de agua de riego son: la extensión de la superficie regada, el tipo de cultivo, la intensidad de los cultivos, y la eficiencia de uso del agua para ese fin. Según las proyecciones de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), es *probable* que los países desarrollados, con un 75% de la superficie de regadío mundial, amplíen esa superficie en un 0,6% anual de aquí a 2030, y las proyecciones indican que la intensidad del cultivo de regadío aumentaría de 1,27 a 1,41 cultivos anuales, y aumentaría ligeramente la eficiencia de uso del agua de riego (Bruinsma, 2003). Estas estimaciones excluyen el cambio climático, que según Bruinsma no afectará a la agricultura antes de 2030. Las proyecciones indican que la mayor parte de ese aumento tendrá lugar en áreas que experimentan ya estrés hídrico, como el sur de Asia, norte de China, Oriente Próximo y norte de África. Los cuatro escenarios de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, sin embargo, contemplan un aumento mucho menor de la superficie de riego, con tasas de crecimiento de entre 0 y 0,18% en términos mundiales anuales hasta 2050. Después de 2050, la superficie de riego se estabilizaría o disminuiría ligeramente en todos los escenarios, excepto en "Orquestación mundial" (similar al escenario A1 del IE-EE del IPCC) (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005a). Según otro estudio, basado en un escenario de población A2 revisado y en proyecciones de la FAO a largo plazo, la superficie mundial de riego aumentaría en más de un 40% de aquí a 2080, principalmente en el sur de Asia, en África y en América Latina; es decir, el aumento promedio sería de un 0,4% annual (Fischer et al., 2006). [GTII 3.3.2].

1.4 Descripción general

El presente documento técnico consta de ocho secciones. Después de una introducción (Sección 1), y basándose en las evaluaciones del Grupo de trabajo I, se examinan en la Sección 2 los aspectos científicos del cambio climático, tanto del observado como del proyectado, por lo que respecta a las variables hidrológicas. En la Sección 3 se ofrece una descripción general de los impactos observados y proyectados del cambio climático en relación con el agua, y de las posibles estrategias de adaptación, obtenidas principalmente de las evaluaciones del Grupo de trabajo II. La Sección 4 aborda en detalle el tema de los sistemas y sectores, y en la Sección 5 está planteada desde el punto de vista regional. En la Sección 6, basada en las evaluaciones del Grupo de trabajo III, se analizan los aspectos hídricos de la mitigación. La Sección 7 se centra en las implicaciones desde el punto de vista de las políticas y del desarrollo sostenible, y en la Sección final (sección 8) se abordan las lagunas de conocimiento y se sugieren líneas de actuación futuras. En este documento se han utilizado, por lo que se refiere a la incertidumbre, los mismos términos que en la Cuarta Evaluación (véase el Recuadro 1.1).

Recuadro 1.1: Valores de incertidumbre de los conocimientos actuales, y metodología adoptada al respecto en el presente documento [IdS]

En la Nota orientativa del IPCC sobre los valores de incertidumbre[9] se define un marco para el tratamiento de la incertidumbre en los distintos grupos de trabajo y en el presente documento técnico. Se trata de un marco general, ya que los grupos de trabajo evalúan material de disciplinas diferentes y aplican a las incertidumbres metodologías distintas, obtenidas de diversas publicaciones. Los datos, indicadores y análisis utilizados en las ciencias naturales suelen ser de naturaleza diferente a los utilizados para evaluar el desarrollo tecnológico o las ciencias sociales. El GTI adopta la primera de esas perspectivas, mientras que el GTIII adopta la segunda y el GTII abarca aspectos de ambas

Tres son las metodologías utilizadas para describir la incertidumbre, cada una de ellas con una terminología diferente. La metodología o los aspectos metodológicos escogidos dependerán tanto de la naturaleza de la información disponible como del criterio experto de los autores acerca de la validez y completitud de los conocimientos científicos actuales.

Cuando se evalúa en términos cualitativos, la incertidumbre permite hacerse una idea relativa del volumen y calidad de la evidencia (es decir, de la información obtenida de teorías, observaciones o modelos con respecto al carácter verdadero o válido de una convicción o de una proposición) y del nivel de concordancia (es decir, del grado de coincidencia de las publicaciones científicas acerca de una conclusión determinada). Éste es el planteamiento adoptado por el GTIII, en base a una serie de términos descriptivos: *nivel de concordancia alto, evidencia abundante; nivel de concordancia alto, nivel de evidencia medio; nivel de concordancia medio, nivel de evidencia medio; etc.*

Cuando la incertidumbre se evalúa en términos más cuantitativos, en base a un criterio experto sobre el grado de validez de los datos, modelos o análisis de los que se ha partido, se utiliza la escala de niveles de confianza siguiente para expresar hasta qué punto se considera que una conclusión es correcta: *grado de confianza muy alto* (como mínimo 9 sobre 10); *grado de confianza alto* (en torno a 8 sobre 10); *grado de confianza medio* (en torno a 5 sobre 10); *grado de confianza bajo* (en torno a 2 sobre 10); *y grado de confianza muy bajo* (menos de 1 sobre 10).

Cuando la incertidumbre de determinados resultados se evalúa mediante el criterio de expertos y mediante un análisis estadístico de una serie de evidencias (por ejemplo, observaciones o resultados de modelos), se utilizan los tramos de probabilidad siguientes para expresar la verosimilitud conjeturada de un suceso: *virtualmente cierto* (>99%); *extremadamente probable* (>95%); *muy probable* (>90%); *probable* (>66%); *más probable que improbable* (>50%); *aproximadamente tan probable como improbable* (33% a 66%); *improbable* (<33%); *muy improbable* (<10%); *extremadamente improbable* (<5%); *excepcionalmente improbable* (<1%).

El GTII ha efectuado evaluaciones mixtas de confianza y de probabilidad, mientras que el GTI ha realizado principalmente evaluaciones de probabilidad.

El presente documento es coherente con las evaluaciones de incertidumbre de los grupos de trabajo en cuyos resultados está basado. Cuando sus conclusiones sinópticas se apoyan en información obtenida de más de un grupo de trabajo, su descripción de las incertidumbres es coherente con las de sus distintos componentes, basados en los respectivos informes de los grupos de trabajo.

[9] Véase http://wwwipcc.clVmeetings/ar4-workshops-express-meetings/uncertainty-guidance-note.pdf

2

Cambios climáticos observados y proyectados en relación con el agua

El agua está relacionada con todos los componentes del sistema climático (atmósfera, hidrosfera, criosfera, superficie terrestre y biosfera). Por ello, el cambio climático afecta al agua mediante diversos mecanismos. En esta sección se abordan la evolución recientemente observada de las variables relacionadas con el agua y las proyecciones de cambio futuro.

2.1 Cambios climáticos observados, en relación con el agua

El ciclo hidrológico está estrechamente vinculado a los cambios de la temperatura atmosférica y al balance radiativo. El calentamiento del sistema climático en los últimos decenios es inequívoco, como se desprende ya del aumento observado del promedio mundial de las temperaturas del aire y del océano, de la fusión generalizada de nieves y hielos y del aumento del promedio mundial del nivel del mar. Se ha estimado que el forzamiento radiativo antropógeno neto del clima es positivo (efecto de calentamiento), concretamente en 1,6 W/m^{-2} para 2005 (tomando como referencia los valores preindustriales de 1750). La estimación más idónea de la tendencia lineal de la temperatura mundial en superficie entre 1906 y 2005 apunta a un calentamiento de 0,74°C (horquilla *probable*: entre 0,56 y 0,92°C), con una tendencia al calentamiento más acusada durante los últimos 50 años. Nuevos análisis arrojan para la troposfera inferior y media unas tasas de calentamiento similares a las de la superficie de la Tierra. Estudios de atribución indican que la mayor parte de los incrementos observados en las temperaturas mundiales desde mediados del siglo XX se deben *muy probablemente* al aumento observado de las concentraciones antropógenas de gases invernadero. A escala continental, es *probable* que se haya producido un calentamiento antropógeno considerable durante los últimos 50 años, en promedio respecto de cada uno de los continentes excepto la Antártida. En muchas regiones del planeta, los días fríos, las noches frías y las heladas están siendo menos frecuentes, mientras que los días y noches calurosos y las olas de calor han sido cada vez más frecuentes durante los últimos 50 años. [GTI RRP]

El calentamiento climático observado en los últimos decenios está coherentemente asociado a las variaciones de ciertos componentes del ciclo hidrológico y de los sistemas hidrológicos: cambios en las pautas, intensidades y valores extremos de precipitación; fusión generalizada de la nieve y del hielo; aumento del vapor de agua atmosférico; aumento de la evaporación; y variaciones de la humedad del suelo y de la escorrentía. Todos los componentes del ciclo hidrológico presentan una variabilidad natural notable –en escalas de tiempo interanuales a decenales– que enmascara frecuentemente las tendencias a largo plazo. Subsisten todavía incertidumbres importantes respecto a la tendencia de las variables hidrológicas, debido a las grandes diferencias regionales y a limitaciones en la cobertura espacial y temporal de las redes de monitoreo (Huntington, 2006). En la actualidad, sigue siendo problemático documentar las variaciones y tendencias interanuales de la precipitación sobre los océanos. [GTI 3.3]

Desentrañar y atribuir los cambios observados conlleva también dificultades. Por lo que respecta a algunas variables hidrológicas, como la escorrentía, los factores ajenos al clima (por ejemplo, cambios respecto a su extracción) pueden ser localmente importantes. La respuesta del clima a los agentes de forzamiento es también compleja. Por ejemplo, uno de los efectos de los aerosoles absorbentes (como el carbono negro) consiste en interceptar calor de la capa de aerosoles; de no ser interceptado, el calor llegaría a la superficie, causando con ello evaporación y, subsiguientemente, liberación de calor latente por encima de la superficie. Así pues, los aerosoles absorbentes pueden reducir localmente la evaporación y la precipitación. Muchos procesos de aerosol son omitidos o incluidos por medios relativamente simples en los modelos del clima y, en algunos casos, no es suficientemente conocida la magnitud local de sus efectos sobre la precipitación. A pesar de esas incertidumbres, es posible hacer algunas afirmaciones sobre la atribución de los cambios hidrológicos observados, que se exponen en esta sección en relación con cada una de las variables, basándose en las evaluaciones del 4IE. [GTI 3.3, 7.5.2, 8.2.1, 8.2.5, 9.5.4; GTII 3.1, 3.2]

2.1.1 Precipitación (incluidos los valores extremos) y vapor de agua

Las tendencias de la precipitación terrestre han sido analizadas en base a diversos conjuntos de datos; singularmente, los de la Red mundial de datos climatológicos históricos (GHCN: Peterson and Vose, 1997), pero también los de la Reconstrucción de la precipitación sobre tierra firme (PREC/L: Chen et al., 2002), los del Proyecto mundial de climatología de la precipitación (GPCP: Adler et al., 2003), los del Centro Mundial de Climatología de la Precipitación (GPCC: Beck et al., 2005) y los de la Unidad de Investigación Climática (CRU: Mitchell and Jones, 2005). Durante el siglo XX aumentaron, en términos generales, las precipitaciones sobre tierra firme en la franja 30ºN-85°N, aunque en los últimos 30 o 40 años ha habido disminuciones notables en la franja 10°S-30°N (Figura 2.1). La disminución de la salinidad en el Atlántico norte y al sur de los 25°S sugiere variaciones similares de la precipitación sobre los océanos. Entre 10°N y 30°N, el aumento de la precipitación aumentó considerablemente entre 1900 y 1950, y disminuyó a partir de 1970 aproximadamente. A escala hemisférica, no hay una tendencia clara con respecto a las masas terrestres extratropicales del Hemisferio Sur. Hasta el momento, la atribución de las variaciones de la precipitación mundial es incierta, puesto que la precipitación está fuertemente influida por las pautas de variabilidad natural en gran escala. [GTI 3.3.2.1]

La tendencia lineal del promedio mundial obtenido de la RMCH entre 1901 y 2005 es estadísticamente insignificante (Figura 2.2). Ninguna de las estimaciones de tendencia respecto al periodo 1951-2005 es apreciable, existiendo muchas discrepancias entre los conjuntos de datos, lo que demuestra la dificultad de monitorizar una magnitud como la precipitación, que presenta una gran variabilidad tanto en el espacio como en el tiempo. Los cambios mundiales no son lineales a lo largo del tiempo, y exhiben una variabilidad decenal importante, con un periodo relativamente húmedo entre 1950 y 1970, seguido de una disminución de las precipitaciones. En los promedios predominan las precipitaciones tropicales y subtropicales. [GTI 3.3.2.1]

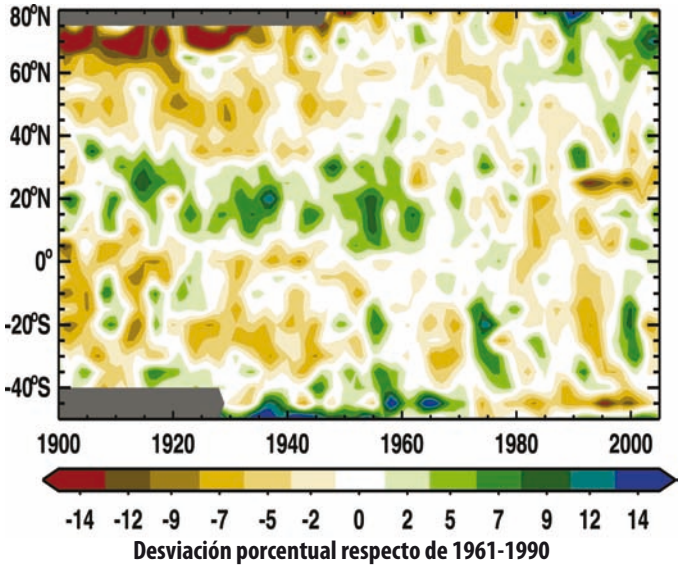


Figura 2.1: *Sección latitud-tiempo del promedio de las anomalías anuales de precipitación (%) terrestre desde 1900 hasta 2005, respecto de sus valores medios de 1961-1990. Los valores han sido promediados para todas las longitudes, y alisados mediante un filtro para suprimir las fluctuaciones inferiores a 6 años aproximadamente. La escala de colores no es lineal, y las áreas grises indican lagunas de datos. [GTI, Figura 3.15]*

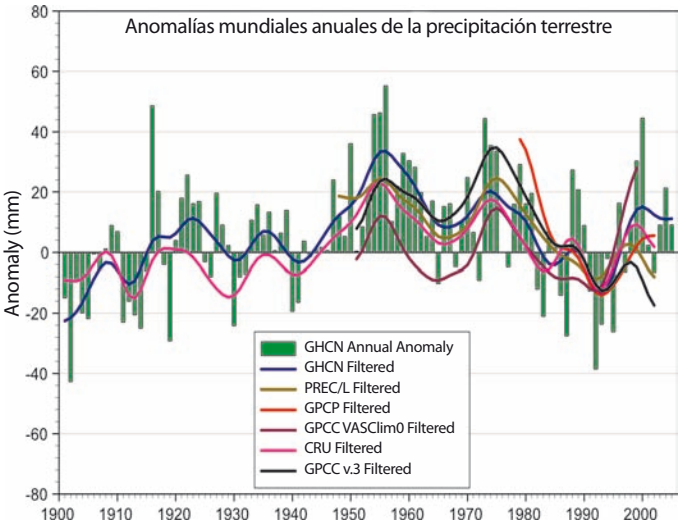


Figura 2.2: *Serie temporal (1900-2005) de anomalías de precipitación terrestre mundial anual (mm), según datos de la GHCN con respecto al periodo de referencia 1981-2000. Se indican también los valores alisados a escala decenal en base a los conjuntos de datos de GHCN, PREC/L, GPCP, GPCC y CRU. [GTL, Figura 3.12]*

La configuración espacial de las tendencias de la precipitación anual puede verse en la Figura 2.3, basada en datos de estaciones de la RMCH interpolados en una retícula de 5° x 5° de latitud/longitud. En la mayor parte de América del Norte y de Eurasia, la precipitación anual ha aumentado durante los 105 años transcurridos desde 1901, en consonancia con la Figura 2.1. El periodo transcurrido desde 1979 exhibe una pauta más compleja, con evidencia de sequías regionales (por ejemplo, en el suroeste de América del Norte). En la mayor parte de Eurasia, las cuadrículas que registran un incremento de la precipitación son más numerosas que las que registran disminuciones, para ambos periodos. Entre el norte de Europa y el Mediterráneo, las variaciones tienden a manifestarse en sentido inverso, por efecto de los cambios experimentados por la teleconexión de la Oscilación del Atlántico Norte (véase también la sección 2.1.7). [GTI 3.3.2.2]

En toda América del Sur se han observado condiciones crecientemente lluviosas en la cuenca amazónica y en el sudeste del continente, incluida la Patagonia, y tendencias negativas de la precipitación anual sobre Chile y parte de la costa occidental del continente. Las variaciones en la Amazonia, en América Central y en la parte occidental de América del Norte sugieren variaciones latitudinales de las características de los monzones. [GTI 3.3.2.2]

A partir de 1901, las tendencias negativas de la precipitación anual observadas son más acusadas en el África occidental y en el Sahel (véase también la sección 5.1), aunque se observaron tendencias decrecientes en otras muchas partes de África y en el sur de Asia. A partir de 1979, las precipitaciones han aumentado en la región del Sahel y en otras partes del África tropical, en parte por efecto de las variaciones asociadas a las pautas de teleconexión (véase también la sección 2.1.7). En buena parte del noroeste de India, el periodo 1901-2005 registra aumentos de más de un 20% por siglo, aunque a partir de 1979 se aprecia una fuerte disminución de la precipitación anual en esa misma área. En el noroeste de Australia se observan áreas con un aumento entre moderado y fuerte de la precipitación anual durante ambos periodos. En esa región las condiciones se han tornado más lluviosas, aunque se ha observado una marcada tendencia a la disminución en su extremo suroccidental, caracterizada por un salto descendente hacia 1975. [GTI 3.3.2.2]

Varios estudios basados en modelos sugieren que los cambios del forzamiento radiativo (proveniente de fuentes antropógenas, volcánicas y solares) han contribuido a las tendencias observadas de la precipitación media. No obstante, los modelos climáticos podrían subestimar la varianza de la precipitación media sobre tierra firme en comparación con las estimaciones observacionales. No está claro si esta discrepancia se debe a una subestimación de la respuesta al forzamiento en onda corta, a una subestimación de la variabilidad interna del clima, a errores observacionales o a una suma de esas causas. Consideraciones teóricas sugieren que podría ser difícil detectar la influencia del aumento de gases invernadero sobre el promedio de la precipitación. [GTI 9.5.4]

Se ha observado en todo el mundo un aumento de los episodios de precipitación intensa (por ejemplo, por encima del percentilo 95) incluso en lugares en que la cantidad total ha disminuido. Este incremento está asociado a un aumento de la cantidad de vapor de agua en la atmósfera, y se corresponde con el calentamiento observado (Figura 2.4). En las estadísticas de lluvia, sin embargo, predominan las variaciones interanuales o decenales, y las estimaciones de tendencia no concuerdan espacialmente (véase, por ejemplo, Peterson et al., 2002; Griffiths et al., 2003;

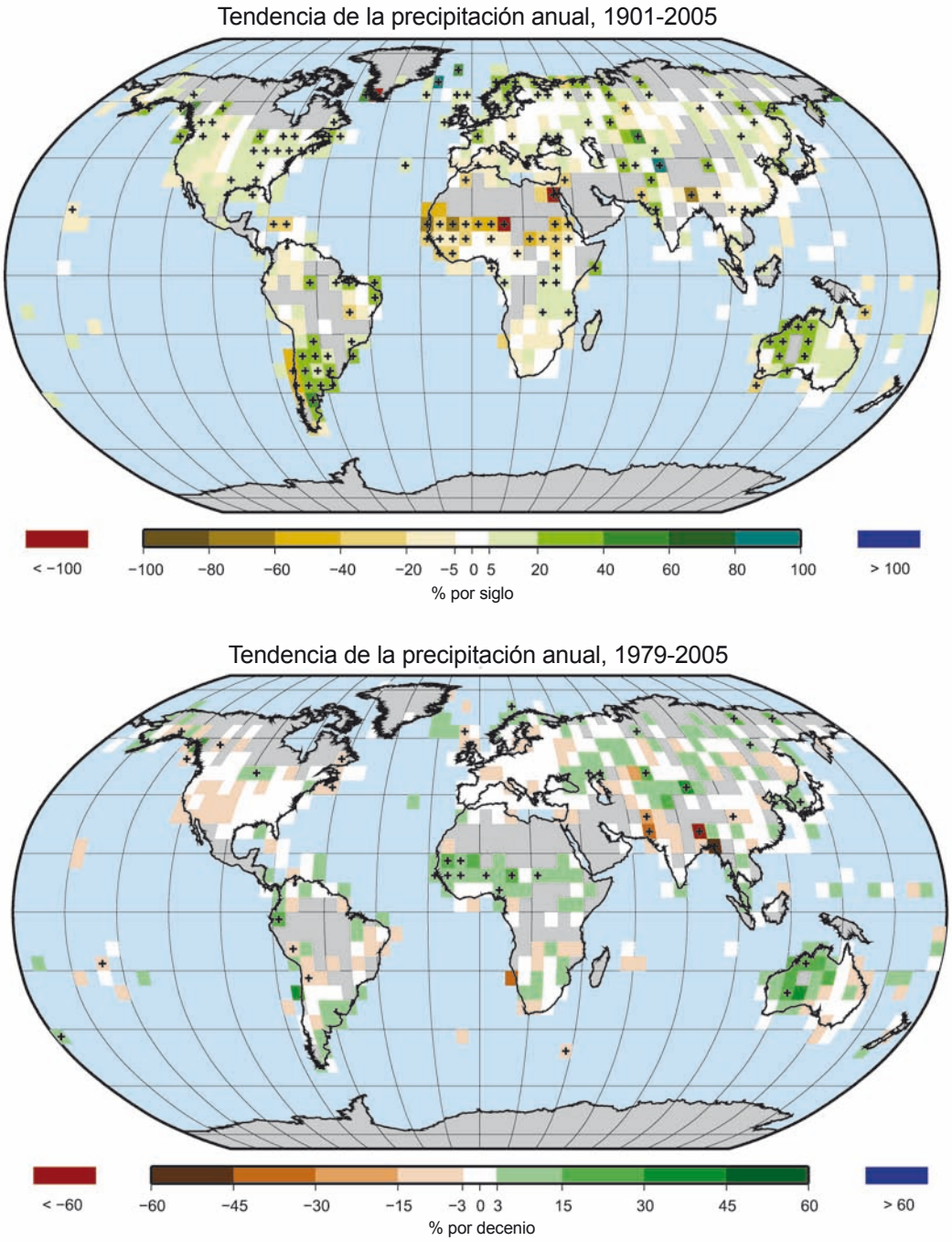


Figura 2.3: *Tendencia de las cantidades anuales de precipitación en 1901-2005 (figura superior, % por siglo) y 1979-2005 (figura inferior, % por decenio), como porcentaje del promedio correspondiente a 1961-1990, según datos obtenidos de estaciones de la RMCH. En las áreas grises no se dispone de datos suficientes para producir tendencias fiables. [GTI, Figura 3.13]*

Herath and Ratnayake, 2004). Además, sólo algunas regiones tienen series de datos de calidad y longitud suficiente para evaluar con fiabilidad la tendencia de los valores extremos. Se han observado aumentos estadísticamente importantes en la frecuencia de precipitación intensa en toda Europa y en América del Norte (Klein Tank and Können, 2003; Kunkel et al., 2003; Groisman et al., 2004; Haylock and Goodess, 2004). La estacionalidad de los cambios varía según el lugar: en Estados Unidos de América, los aumentos han sido mayores durante la estación cálida, mientras que en Europa los cambios fueron más notables durante la estación fría (Groisman et al., 2004; Haylock and Goodess, 2004). En la Sección 5 se encontrará información adicional sobre los cambios regionales. [GTI 3.8.2.2]

Estudios teóricos y de modelización del clima sugieren que, en un clima cada vez más cálido por el aumento de gases invernadero, se esperaría un incremento de las precipitaciones extremas respecto de su valor medio. Por ello, la influencia

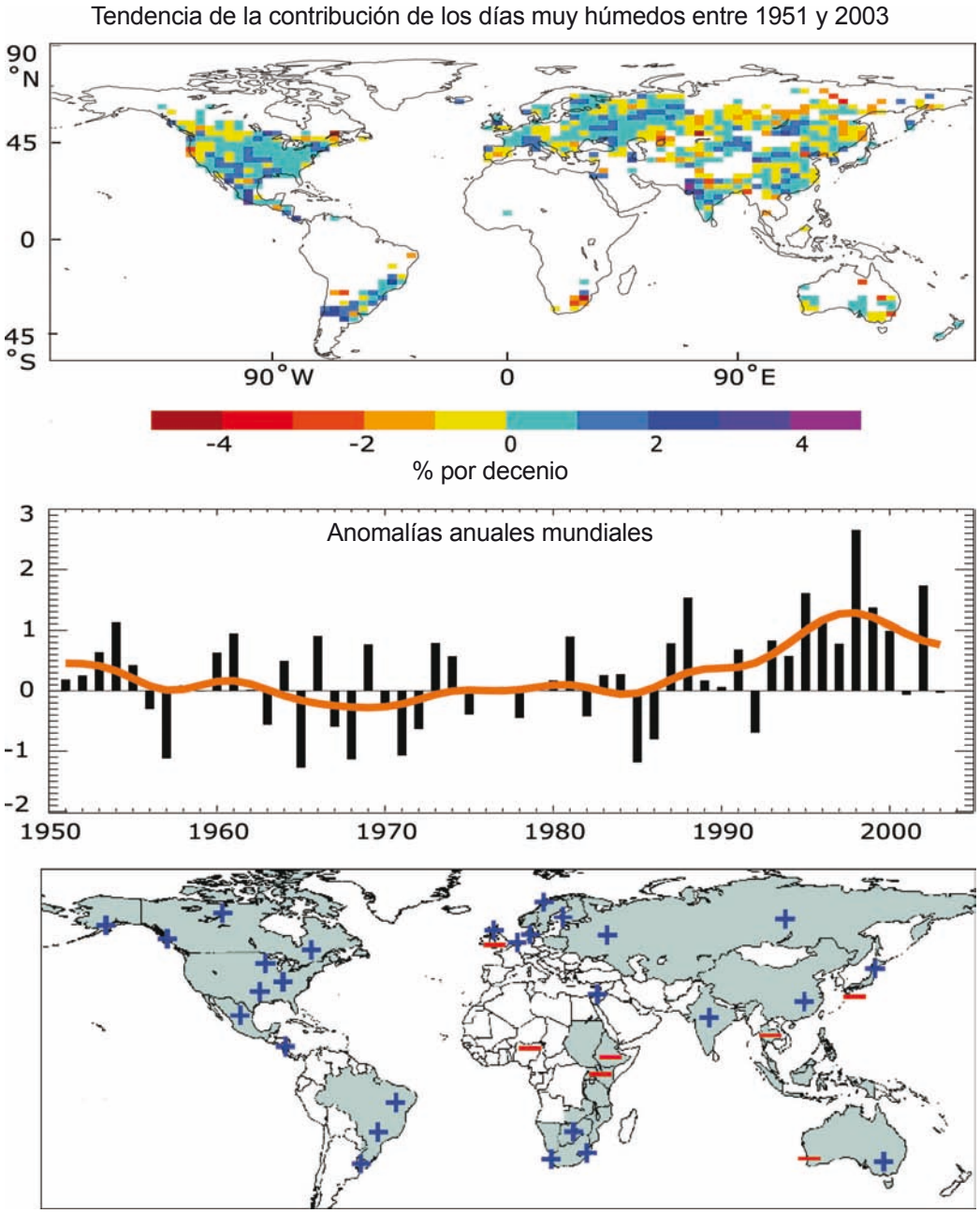


Figura 2.4: *En la figura superior se indican las tendencias observadas (% por decenio) en 1951-2003 de la contribución de los días muy húmedos a la precipitación total anual (percentilos 95 en adelante). En la figura del centro puede verse el cambio de la contribución de los días muy húmedos al total de precipitación mundial anual (valores porcentuales respecto del promedio de 1961-1990, que fue de 22,5%) (Alexander et al., 2006). En la figura inferior se indican las regiones en que se han documentado cambios desproporcionados de la precipitación intensa y muy intensa, de signo positivo (+) o negativo (-) respecto del cambio de la precipitación anual y/o estacional (actualizado según Groisman et al., 2005). [GTI, Figura 3.39]*

antropógena es más fácilmente detectable en las precipitaciones extremas que en los valores medios. Ello se debe a que las precipitaciones extremas están controladas por la disponibilidad de vapor de agua, mientras que el valor medio de precipitación está controlado por la capacidad de la atmósfera para radiar hacia el espacio energía de onda larga (liberada en forma de calor latente, mediante condensación), y esta capacidad está limitada por el aumento de gases invernadero. En conjunto, los estudios observacionales y de modelización conducen a la conclusión general de que es *probable* que haya aumentado la frecuencia de episodios de precipitación intensa (o la proporción de la cantidad total de lluvia de episodios intensos) en la mayor parte de las áreas terrestres durante el siglo XX, y que es *más probable que improbable* que esa tendencia refleje una contribución antropógena. No es posible evaluar, por el momento, la magnitud de esa contribución antropógena [GTI RPP 9.5.4, 10.3.6, FAQ10.1]

Hay evidencia observacional de que, desde 1970 aproximadamente, se ha intensificado la actividad ciclónica

tropical en el Atlántico Norte, en correlación con la elevación de las temperaturas de la superficie del mar (TSM) en los trópicos. Hay también indicios de una intensificación de la actividad ciclónica tropical en otras regiones, en las cuales, sin embargo, la calidad de los datos es más dudosa. La variabilidad multidecenal y la calidad de los registros de ciclones tropicales en el período anterior a las observaciones habituales mediante satélite, que comenzaron hacia 1970, complican la detección de tendencias de largo plazo respecto a la actividad ciclónica tropical. No hay una tendencia clara con respecto al número anual de ciclones tropicales. Es *más probable que improbable* que los factores antropógenos hayan contribuido al aumento observado de la actividad ciclónica tropical intensa. No obstante, el aparente aumento de la proporción de tempestades muy intensas desde 1970 en algunas regiones es mucho mayor que el simulado mediante modelos actuales respecto de ese periodo. [GTI RRP]

Se ha observado que el contenido de vapor de agua de la troposfera ha aumentado en los últimos decenios, en consonancia con el calentamiento observado y con una humedad relativa casi constante. La columna de vapor de agua total aumentó en los océanos mundiales en 1,2 ± 0,3% por decenio entre 1988 y 2004, exhibiendo una pauta coherente con las variaciones de la temperatura en la superficie del mar. Numerosos estudios revelan un aumento de la humedad atmosférica cerca de la superficie, aunque con diferencias ente regiones y entre el día y la noche. Al igual que ocurre con otros componentes del ciclo hidrológico, las variaciones interanuales a decenales son considerables, aunque se ha observado una notable tendencia creciente en los océanos mundiales y en algunas áreas terrestres del Hemisferio Norte. Dado que es *probable* que el calentamiento observado de la temperatura de la superficie del mar sea en gran parte antropógeno, podría pensarse que la influencia antropógena ha contribuido al aumento observado del vapor de agua atmosférico sobre los océanos. Con todo, mientras se redactaba el 4IE no se disponía aún de ningún estudio formal de atribución. [GTI 3.4.2, 9.5.4]

2.1.2 Nieve y hielo terrestre

La criosfera (constituida por la nieve, el hielo y el suelo congelado) almacena en tierra firme cerca del 75% del agua dulce del planeta. En el sistema climático, tanto la criosfera como su evolución están vinculados de manera compleja al balance de energía en la superficie, al ciclo hídrico y a la variación del nivel del mar. Más de la sexta parte de la población mundial vive en cuencas fluviales alimentadas por glaciares o por el deshielo (Stern, 2007). [GTII 3.4.1] En la Figura 2.5 aparecen representadas las tendencias de la criosfera, que revelan importantes disminuciones del almacenamiento de hielo en muchos de sus componentes. [GTI, Capítulo 4]

2.1.2.1 Cubierta de nieve, terreno congelado, y hielo lacustre y fluvial

La cubierta de nieve ha disminuido en la mayoría de las regiones, de manera especial durante las primaveras y los veranos. En el Hemisferio Norte la cubierta de nieve observada mediante satélite durante el periodo 1966-2005 disminuyó en

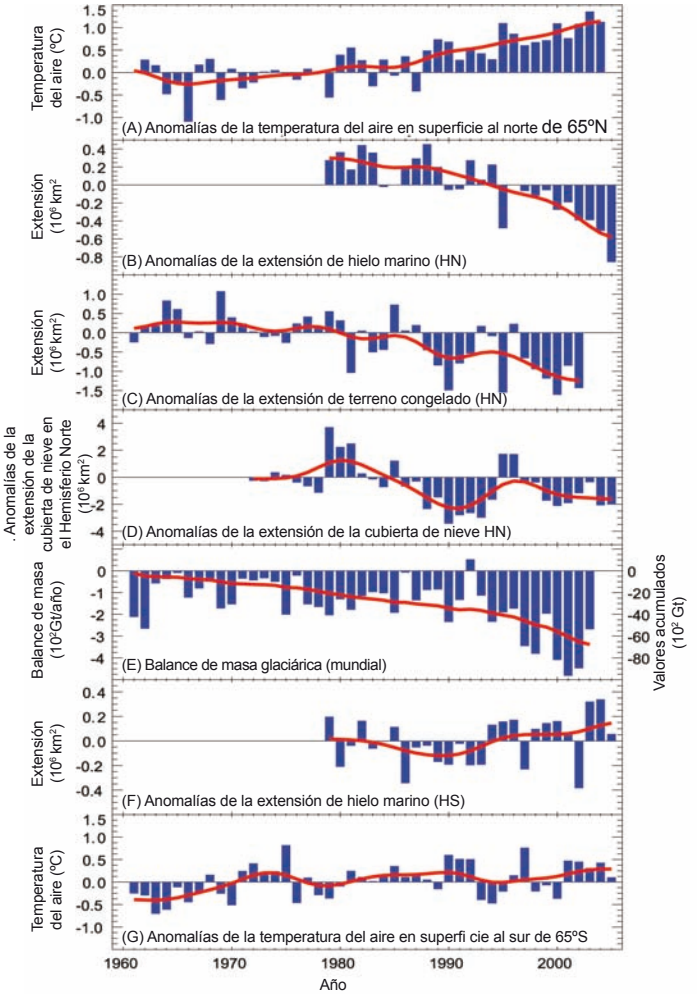


Figura 2.5: *Serie temporal de anomalías (desviación respecto a la media por períodos largos) de la temperatura del aire polar en superficie (A y E), de la extensión del terreno estacionalmente congelado en el Hemisferio Norte (HN) (B), de la extensión de la cubierta de nieve en el Hemisferio Norte durante marzo-abril (C), y balance mundial de la masa glaciárica (D). En D, la línea roja de trazo continuo indica el balance mundial de masa glaciárica acumulada; en los demás casos, representa la serie temporal alisada. [Adaptado de GTI FAQ 4.1]*

todos los meses excepto noviembre y diciembre, con una caída escalonada del 5% en la media anual a finales de los años 80. En las montañas del oeste de América del Norte y en los Alpes suizos, las disminuciones han sido máximas a elevaciones inferiores. En el Hemisferio Sur, los escasos registros u observaciones indirectas de períodos largos indican, en su mayoría, disminuciones o ausencia de cambios en los últimos 40 años como mínimo. [GTI 4.2.2]

La degradación del permafrost y de las tierras estacionalmente congeladas está ocasionando cambios en las características de la superficie del suelo y de los sistemas de drenaje. El terreno estacionalmente congelado abarca tanto el suelo sometido a congelación y deshielo estacional en regiones sin permafrost como la capa activa situada sobre el permafrost, que se deshiela

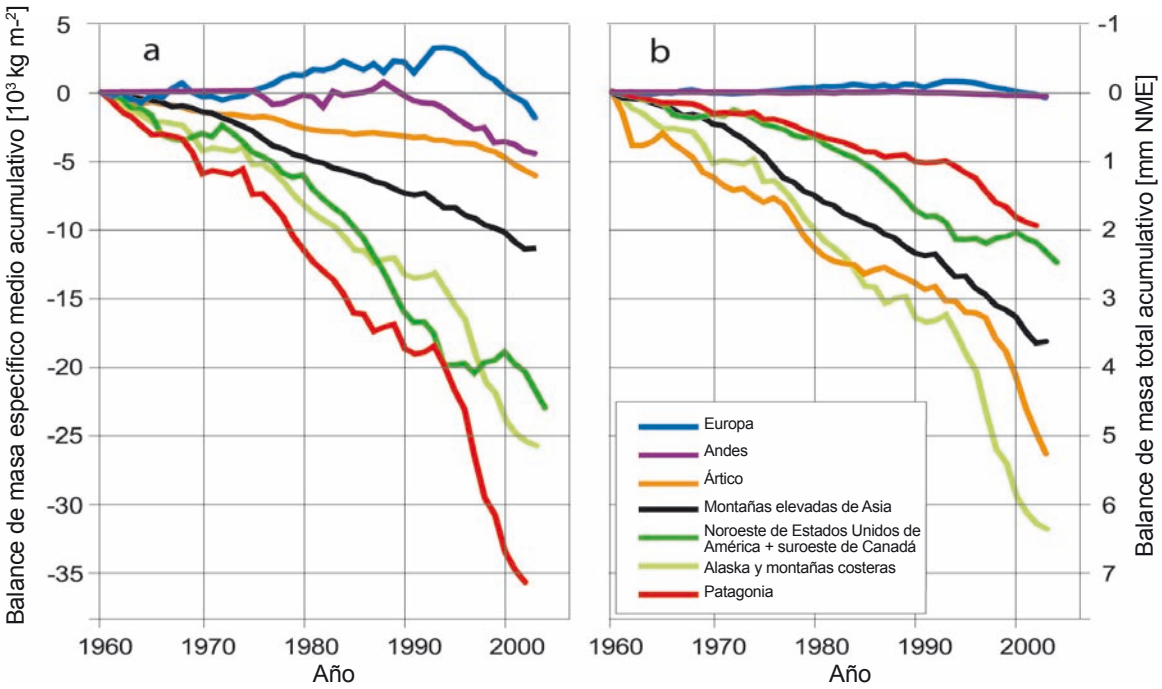


Figura 2.6: *Balance de masa específico medio acumulativo (a) y balance de masa total acumulativo (b) de los glaciares y casquetes de hielo, calculados para regiones extensas (Dyurgerov and Meier, 2005). El balance de masa de un glaciar es la suma del total de ganancias y pérdidas de masa a lo largo de un año hidrológico. El balance de masa específico medio es el balance de masa total dividido por la superficie total del conjunto de todos los glaciares y casquetes de hielo de una región, y denota la magnitud del cambio en la región correspondiente. El balance de masa total aparece representado como la contribución de cada región al aumento del nivel del mar. [GTI 4.5.2, Figura 4.15]*

en verano y se congela en invierno. La extensión máxima estimada de terreno estacionalmente congelado en áreas sin permafrost ha disminuido en torno a un 7% en el Hemisferio Norte entre 1901 y 2002, alcanzando hasta un 15% durante la primavera. Su espesor máximo ha disminuido en cerca de 0,3 m en Eurasia desde mediados del siglo XX por efecto del calentamiento inviernal y del aumento de espesor de la nieve. Entre 1956 y 1990, las observaciones de la capa activa efectuadas en 31 estaciones de Rusia evidenciaron un aumento de espesor estadísticamente apreciable, de aproximadamente 21 cm. Los registros de otras regiones son demasiado cortos para poder analizar las tendencias. En la capa superior del permafrost ártico, la temperatura ha aumentado en 3°C aproximadamente desde los años 80. El calentamiento del permafrost y la degradación del terreno congelado parecen ser consecuencia de un aumento de la temperatura del aire en verano y de variaciones del espesor y duración de la capa de nieve. [GTI 4.7, Capítulo 9]

Las fechas de congelación y deshielo de los ríos y lagos exhiben una variabilidad espacial considerable. Promediando los datos disponibles acerca del Hemisferio Norte respecto de los últimos 150 años, la congelación se ha retrasado a razón de 5,8 ± 1,6 días por siglo, mientras que el inicio del deshielo se ha adelantado a un ritmo de 6,5 ± 1,2 días por siglo. Con respecto al espesor del hielo en ríos y lagos, no se han publicado datos suficientes para evaluar las tendencias. Estudios de modelización (por ejemplo, Duguay et al., 2003) indican que la variabilidad del espesor máximo del hielo y de las fechas de desgajamiento se debe en buena parte a las variaciones de la precipitación de nieve. [GTI 4.3]

2.1.2.2 Glaciares y casquetes de hielo

En promedio, los glaciares y casquetes de hielo del Hemisferio Norte y de la Patagonia evidencian un aumento moderado, aunque bastante coherente, de la renovación de su masa durante los últimos 50 años, y un aumento importante del deshielo. [GTI 4.5.2, 4.6.2.2.1] En consecuencia, la mayoría de los glaciares y casquetes de hielo del mundo han experimentado una pérdida considerable de masa (Figura 2.6), con rapidez creciente: entre 1960/61 y 1989/90 la pérdida fue de 136±57 Gt/año (0,37 ± 0,16 mm/año de aumento del nivel del mar equivalente), y entre 1990/91 y 2003/04, de 280 ± 79 Gt/año (0,77 ± 0,22 mm/año de aumento del nivel del mar equivalente). Esta reducción generalizada, experimentada durante el siglo XX, implicaría un calentamiento generalizado como primera causa, aunque en los trópicos podrían estar contribuyendo a ella las variaciones de la humedad atmosférica. Hay indicaciones de que este deshielo ha contribuido *muy probablemente* al aumento observado del nivel del mar. [GTI 4.5, Tabla 4.4, 9.5]

Al retirarse las lenguas de los glaciares de prominentes morrenas formadas durante la Pequeña Era Glacial, se están formando lagos en varias cadenas montañosas de fuerte pendiente, como el Himalaya, los Andes o los Alpes. Tales lagos presentan un gran potencial de inundación por desbordamiento. [GTII 1.3.1.1, Tabla 1.2]

2.1.3 Nivel del mar

El promedio mundial del nivel del mar ha ido aumentando y, con un *alto grado de confianza*, la rapidez de ese aumento se ha incrementado entre mediados del siglo XIX y mediados del siglo XX. El aumento fue de 1,7 ±0,5 mm/año durante el siglo XX, de 1,8 ± 0,5 mm/año durante 1961-2003, y de 3,1 ± 0,7 mm/año entre 1993 y 2003. Se desconoce si el valor más alto registrado en 1993-2003 se debe a la variabilidad decenal o a una intensificación de la tendencia a largo plazo. En términos espaciales, el cambio es muy poco uniforme; por ejemplo, durante 1993- 2003 el ritmo de aumento fue en algunas regiones varias veces superior al promedio mundial, mientras que en otras los niveles del mar descendieron. [GTI 5.RE]

Hay incertidumbres en la estimación de las contribuciones al cambio del nivel del mar a largo plazo. En el periodo 1993-2003, la contribución de la dilatación térmica (1,6 ± 0,5 mm/año), de la pérdida de masa de glaciares y casquetes de hielo (0,77 ± 0,22 mm/año) y de la pérdida de masa de los casquetes de hielo de Groenlandia (0,21 ±0,07 mm/año) y de la Antártida (0,21 ±0,35 mm/año) ascendió en total a 2,8 ± 0,7 mm/año. En ese periodo, la suma de estas contribuciones concuerda con el aumento del nivel del mar observado directamente y anteriormente señalado, dentro del margen de incertidumbre de las observaciones. En el periodo 1961-2003, que fue más largo, se estima que la suma de las contribuciones climáticas es menor que el aumento observado total del nivel del mar, aunque el sistema de observación era menos fiable antes de 1993. En ambos periodos, la contribución estimada de la dilatación térmica y de los glaciares y casquetes de hielo fue superior a la contribución de los mantos de hielo de Groenlandia y de la región antártica. La magnitud del error respecto de la región antártica indica que no es posible determinar si esa región ha contribuido en términos negativos o positivos al nivel del mar. Los aumentos de nivel del mar concuerdan con el calentamiento, y diversos estudios de modelización sugieren que, en conjunto, es muy probable que la respuesta al forzamiento antropógeno haya contribuido al aumento del nivel del mar durante la última mitad del siglo XX; con todo, la incertidumbre de las observaciones y la carencia de estudios adecuados hacen que sea difícil cuantificar la contribución antropógena. [GTI RRP, 5.5, 9.5.2]

El aumento del nivel del mar podría afectar a las regiones costeras, aunque su atribución no está todavía clara. El aumento mundial experimentado desde 1975 por los valores extremos del nivel del agua está relacionado tanto con el aumento medio del nivel del mar como con la variabilidad climática interdecenal en gran escala. (Woodworth and Blackman, 2004). [GTII 1.3.3]

2.1.4 Evapotranspiración

Existen muy pocas mediciones directas de la evapotranspiración real en las áreas terrestres de nuestro planeta, mientras que los productos de análisis de alcance mundial[10] son sensibles al tipo de análisis y pueden incorporar grandes errores, por lo que no son adecuados para el análisis de tendencias. Por esa razón, son pocos los trabajos publicados sobre las tendencias observadas de la evapotranspiración, tanto real como potencial. [GTI 3.3.3]

2.1.4.1 Evaporación en cubeta

En los últimos decenios se han observado tendencias decrecientes en los escasos registros de evaporación en cubeta (evaporación medida de una superficie de agua al aire libre en una cubeta, que representa una medida indirecta de la evapotranspiración potencial) en Estados Unidos de América (Peterson et al.,1995; Golubev et al.,2001; Hobbins et al., 2004), India (Chattopadhyay and Hulme, 1997), Australia (Roderick and Farquhar, 2004), Nueva Zelandia (Roderick and Farquhar, 2005), China (Liu et al., 2004; Qian et al., 2006b) y Tailandia (Tebakari et al., 2005). Las mediciones en cubeta no representan la evaporación real (Brutsaert and Parlange, 1998), y las tendencias pueden deberse a una disminución de la radiación solar en superficie (en Estados Unidos de América y partes de Europa y Rusia) y a un menor número de horas de insolación en China, posiblemente relacionadas con un aumento de la polución del aire y de los aerosoles atmosféricos y con el aumento de la cubierta de nubes. [GTI 3.3.3, Recuadro 3.2]

2.1.4.2 Evapotranspiración real

El Tercer Informe de Evaluación (TIE) indica que la evapotranspiración real aumentó durante la segunda mitad del siglo XX en la mayoría de las regiones secas de Estados Unidos de América y Rusia (Golubev et al., 2001), debido a una mayor disponibilidad de humedad en superficie, vinculada al aumento de la precipitación y a una mayor demanda de humedad atmosférica por efecto del aumento de temperatura. Basándose en observaciones de precipitación, temperatura y radiación solar en superficie con cielo despejado, y en un modelo integral de la superficie terrestre, Qian et al. (2006a) concluyeron que la evapotranspiración mundial terrestre se ajusta estrechamente a las variaciones de la precipitación terrestre. Los valores de la precipitación mundial alcanzaron su valor máximo a comienzos de los años 70 y disminuyeron después ligeramente, pero reflejan principalmente valores tropicales, y la precipitación ha aumentado de forma más generalizada sobre tierra firme en latitudes superiores. Las variaciones de la evapotranspiración dependen no sólo del aporte de humedad sino también de la disponibilidad de energía y del viento en superficie. [GTI 3.3.3]

[10] El término "productos de análisis" designa las estimaciones de las variaciones del clima en el pasado obtenidas incorporando una serie de observaciones a una predicción del tiempo o a un modelo climático, como se hace habitualmente para inicializar las previsiones meteorológicas diarias. Puesto que los sistemas operacionales de análisis/predicción del tiempo son desarrollados a lo largo del tiempo, se han efectuado ejercicios de 'reanálisis' en los que las observaciones disponibles son incorporadas a un único sistema, eliminando saltos o tendencias espurios debidos a cambios del sistema subyacente. Una ventaja de los sistemas de análisis es que generan campos mundiales que incluyen gran número de magnitudes no directamente observadas. Un posible inconveniente es que todos los campos representan una mezcla de observaciones y modelos y, en regiones/variables con un número de observaciones pequeño, pueden representar simplemente la climatología del modelo subyacente.

Afectan también a la evapotranspiración real los efectos directos del aumento de CO_2 atmosférico sobre la fisiología de las plantas. No hay estudios publicados al respecto, en lo que concierne a las tendencias observadas de la evapotranspiración, aunque se han advertido efectos sobre la escorrentía. [GTI 9.5.4]

La magnitud anual de la evapotranspiración depende en parte de la duración de la temporada de crecimiento. Los datos del 4IE evidencian que se han observado aumentos de la duración de la temporada de crecimiento. Tales aumentos, vinculados a un adelanto de la última helada primaveral y a un retraso en el comienzo de las heladas otoñales, son claramente apreciables en las regiones templadas de Eurasia (Moonen et al., 2002; Menzel et al., 2003; Genovese et al., 2005; Semenov et al., 2006), y en la mayor parte América del Norte (Robeson, 2002; Feng and Hu, 2004). [GTII 1.3.6.1]

2.1.5 Humedad del suelo

Son pocas las regiones que disponen de registros históricos de mediciones *in situ* del contenido de humedad del suelo, y en muchos casos su duración es muy corta. [GTI 3.3.4] Sobre un conjunto de más de 600 estaciones situadas en una amplia diversidad de climas, Robock et al. (2000) advirtieron que el contenido de humedad del suelo en superficie (el primer metro) exhibía una tendencia creciente a largo plazo durante los veranos en estaciones con registros más dilatados, ubicadas principalmente en la antigua Unión Soviética, China, y centro de Estados Unidos de América. Los registros más largos disponibles, referentes a Ucrania, evidencian aumentos generales de la humedad del suelo en superficie, aunque menos pronunciados en los últimos decenios (Robock et al., 2005). Para estimar la humedad del suelo, se optó inicialmente por calcular los valores del Índice Palmer de Severidad de Sequía (PDSI) a partir de los valores de precipitación y temperatura observados. La evolución del PDSI se aborda en la Sección 3.1.2.4. [GTI, Recuadro 3.1, 3.3.4]

2.1.6 Escorrentía y caudal fluvial

Son numerosos los estudios que han examinado las posibles tendencias del caudal fluvial observado durante el siglo XX, en escalas que van desde el nivel de cuenca hasta el nivel mundial. Algunos han detectado tendencias apreciables en ciertos indicadores de flujo, y otros han evidenciado vínculos, estadísticamente significantes, con las tendencias de la temperatura o de la precipitación. Otros muchos estudios, sin embargo, no han advertido tendencia alguna, o no han conseguido disociar los efectos de las variaciones de temperatura y precipitación de los efectos de la intervención humana en las cuencas. La metodología utilizada para tratar de identificar tendencias puede influir también en los resultados. Por ejemplo, diferentes pruebas estadísticas pueden proporcionar diferentes indicaciones de magnitud; diferentes periodos de registro (particularmente, las fechas de comienzo y finalización) pueden sugerir diferentes tasas de variación; si no se tiene en cuenta la posibilidad de una correlación entre cuencas, se podría sobrevalorar el número de cuencas que muestran cambios apreciables. Otra de las limitaciones del análisis de tendencias es la disponibilidad de datos coherentes y de calidad controlada. Los registros de caudal disponibles cubren tan sólo dos terceras partes aproximadamente de la superficie terrestre mundial con escorrentía activa, y en muchos casos presentan lagunas y abarcan períodos de tiempo diferentes (Dai and Trenberth, 2002). Por último, la intervención humana ha afectado a los regímenes de flujo en numerosas cuencas. [GTI 3.3.4, 9.1, 9.5.1; GTII 1.3.2]

A escala mundial hay evidencia de la existencia de una pauta, a grandes rasgos coherente, de variación de la escorrentía anual: algunas regiones experimentarían un aumento de la escorrentía (por ejemplo, en latitudes altas y en buena parte de Estados Unidos de América), mientras que otras (partes del África occidental, la Europa meridional y las regiones más australes de América del Sur) acusarían una disminución (Milly et al., 2005, y numerosos estudios a escala de cuenca hidrográfica). En muchas partes del mundo, las variaciones interanuales del flujo están también influidas por las pautas climáticas de gran escala a ellas asociadas; por ejemplo, ENOA, ONA, o PNA.[11] En cierto estudio (Labat et al., 2004) se aventuraba un aumento de un 4% en la escorrentía total mundial por cada 1ºC de aumento de la temperatura durante el siglo XX, con variaciones regionales en torno a esa tendencia, pero el debate sobre esta conclusión (Labat et al., 2004; Legates et al., 2005) se ha centrado en los efectos de los dinamizantes no climáticos sobre la escorrentía y en el influjo de la escasez de datos sobre los resultados. Gedney et al. (2006) atribuyeron en gran medida el aumento generalizado de la escorrentía durante el siglo XX a la supresión de la evapotranspiración por el aumento de las concentraciones de CO_2 (que afectan a la conductancia estomática), aunque resulte difícil encontrar evidencias adicionales de una tal relación, y en la Sección 2.1.4 se ofrece evidencia de un aumento de la evapotranspiración. [GTII 1.3.2]

Las tendencias de la escorrentía no siempre concuerdan con los cambios de la precipitación. Ello puede deberse a limitaciones de los acervos de datos (en particular, la cobertura de los datos de precipitación), a los efectos de la intervención humana, por ejemplo mediante embalses (así sucede en los principales ríos de Eurasia), o a los efectos paralelos de los cambios de precipitación y temperatura (como en Suecia: véase Lindstrom and Bergstrom, 2004).

Hay, sin embargo, evidencia mucho más robusta y extensa de que se ha alterado considerablemente la cronología de los flujos fluviales en muchas regiones en que las precipitaciones invernales son de nieve. Un aumento de la temperatura significa que una mayor proporción de las precipitaciones invernales

[11] Respectivamente, ENOA = El Niño-Oscilación Austral, ONA = Oscilación Noratlántica, PNA = Pauta Pacifico-Norteamericana; para más aclaraciones, véanse la Sección 2.1.7 y el Glosario

cae en forma de lluvia en lugar de nieve, y que la temporada de deshielo se inicia antes. En áreas de Nueva Inglaterra, el deshielo se adelantó entre una y dos semanas en el período 1936-2000 (Hodgkins et al., 2003), aunque su efecto sobre los flujos de verano haya sido apenas discernible. (Hodgkins et al., 2005). [GTII 1.3.2]

2.1.7 Pautas de la variabilidad en gran escala

El sistema climático presenta cierto número de tendencias de variabilidad preferentes, que influyen directamente en los elementos del ciclo hidrológico. Los climas regionales pueden experimentar un desfase debido a la acción de esas "teleconexiones". Las teleconexiones están frecuentemente asociadas a sequías y crecidas, y a otros cambios que afectan considerablemente a los seres humanos. Se ofrece a continuación una breve panorámica de las pautas de teleconexión más importantes. En la Sección 3.6 del 4IE del GTI se ofrece un análisis más completo.

Una teleconexión queda definida mediante un patrón espacial y una serie cronológica que describe variaciones de su magnitud y fase. Los patrones espaciales pueden definirse sobre una retícula, o mediante índices basados en observaciones obtenidas de estaciones. Así, por ejemplo, el Índice de Oscilación Austral (IOA) está basado únicamente en diferencias entre las anomalías de presión de Tahití (Pacífico oriental) y Darwin (Pacífico occidental) respecto del nivel medio del mar y, sin embargo, refleja en gran medida la variabilidad de la circulación atmosférica en gran escala sobre el Pacífico tropical. Las pautas de teleconexión tienden a ser más prominentes en invierno (especialmente en el Hemisferio Norte), cuando la circulación media es más intensa. La intensidad de las teleconexiones y su influencia sobre el clima en superficie varían también en períodos largos. [GTI 3.6.1]

El IOA describe el componente atmosférico de El Niño-Oscilación Austral (ENOA), el modo de variabilidad interanual más importante del clima mundial. El fenómeno ENOA tiene repercusiones a nivel mundial sobre la circulación atmosférica, la precipitación y la temperatura (Trenberth and Caron, 2000). Está asociado a un desplazamiento en dirección este-oeste de la precipitación en el Pacífico tropical y a la modulación de las principales zonas de convergencia tropicales. Está asociado también a perturbaciones ondulantes de la circulación atmosférica en el exterior de los trópicos, como en el caso de las pautas pacífico-norteamericana (PNA) y pacífico-sudamericana, (PSA) que producen importantes efectos climáticos a nivel regional. La intensidad y frecuencia de los episodios ENOA varían a escala decenal, asociadas a la Oscilación Decenal del Pacífico (ODP, conocida también como Oscilación Pacífica Interdecenal, OPI), que modula el estado medio de las temperaturas en la superficie del océano y la circulación atmosférica tropical en escalas de tiempo de 20 años o superiores. El "salto" del clima en 1976/1977 (Trenberth, 1990) estuvo asociado a cambios en la evolución de El Niño (Trenberth and Stepaniak, 2001) y a la tendencia de El Niño a aumentar en duración e intensidad. Hasta la fecha no ha sido posible detectar formalmente ningún cambio de variabilidad en las observaciones de ENOA. [GTI 3.6.2, 3.6.3]

En el exterior de los trópicos, la variabilidad de la circulación atmosférica a escalas temporales de uno o más meses tiene como componente predominante las variaciones de intensidad y ubicación de las corrientes en chorro y de las trayectorias de tempestad a ellas asociadas, caracterizadas por los "modos anulares" septentrional y austral (MAS y MAA, respectivamente: Quadrelli and Wallace, 2004; Trenberth et al., 2005). El MAS está estrechamente relacionado con la Oscilación Noratlántica (ONA), aunque ésta está más estrechamente vinculada a la trayectoria de las tempestades atlánticas y a las variaciones climáticas en Europa. La ONA se caracteriza por anomalías de presión desfasadas entre las latitudes templadas y altas sobre el sector atlántico. Es más claramente identificable en invierno, cuando su fase positiva (negativa) exhibe un aumento (disminución) de las bajas presiones sobre Islandia y de las altas presiones sobre las Azores (Hurrell et al., 2003). El MAS, estrechamente relacionado con el modo anterior, tiene una estructura similar en el Atlántico, pero es más longitudinalmente simétrico. La ONA influye notablemente en las temperaturas de superficie invernales en gran parte del Hemisferio Norte, así como en la actividad tormentosa y en la precipitación en Europa y África del Norte, con un desplazamiento de la precipitación hacia el polo en la fase positiva y un desplazamiento equivalente hacia el ecuador en la fase negativa. Hay evidencia de prolongados periodos positivos y negativos de la ONA durante los últimos siglos (Cook et al., 2002; Jones et al., 2003a). A finales de los años 60 sobrevino una inversión de los valores mínimos invernales de los índices, que dio lugar a valores de la ONA netamente positivos a mediados de los años 90. Desde entonces, los valores de la ONA han disminuido hasta alcanzar casi su valor medio de largo período. Estudios de atribución sugieren que la tendencia del MAS durante los últimos decenios está *probablemente* relacionada, en parte, con la actividad humana. No obstante, la respuesta a los forzamientos naturales y antropógenos simulada mediante modelos climáticos es menor que la tendencia observada. [GTI 3.6.4, 9.RE]

El modo anular austral (MAA) está asociado a variaciones síncronas de la presión de signo opuesto en latitudes medias y altas, que reflejan cambios en la franja principal de vientos subpolares del oeste. Los vientos del oeste sobre el océano austral aumentan durante la fase positiva del MAA, que está siendo más habitual en los últimos decenios, dando lugar a un mayor número de ciclones en la vaguada circumpolar (Sinclair et al., 1997) y a un desplazamiento hacia el polo de la precipitación, y contribuyendo en mayor medida a la precipitación antártica (Noone and Simmonds, 2002). El MAA afecta también a las pautas espaciales de la variabilidad de precipitación en la Antártida (Genthon et al., 2003) y en el sur de América del Sur (Silvestri and Vera, 2003). Las simulaciones mediante modelos sugieren que la tendencia reciente del MAA ha resultado afectada por un aumento de la concentración de gases invernadero y, en particular, por el agotamiento del ozono estratosférico. [GTI 3.6.5, 9.5.3.3]

Las TSM en el Atlántico Norte exhiben una variación de aproximadamente 70 años durante el periodo instrumental (y mediante reconstrucciones indirectas), denominada Oscilación Multidecenal Atlántica (OMA: Kerr, 2000). Hubo una fase cálida

entre 1930 y 1960, y fases frías en los períodos 1905-1925 y 1970-1990 (Schlesinger and Ramankutty, 1994). Desde mediados de los años 90, la OMA parece haber retornado a una fase cálida. La OMA podría estar relacionada con los cambios de intensidad de la circulación termohalina (Delworth and Mann, 2000; Latif, 2001; Sutton and Hodson, 2003; Knight et al., 2005). La OMA, que ha sido vinculada a anomalías multianuales de la precipitación en América del Norte, modula aparentemente las teleconexiones de ENOA (Enfield et al., 2001; McCabe et al., 2004; Shabbar and Skinner, 2004), y desempeña un cierto papel en la formación de huracanes sobre el Atlántico (Goldenberg et al., 2001). Se cree que la OMA origina variaciones multidecenales de las sequías del Sahel, de la precipitación en el Caribe, del clima estival de América del Norte y Europa, de la concentración de hielo marino en Groelandia, y de la presión a nivel del mar sobre el sur de Estados Unidos de América, Atlántico norte y sur de Europa (véase, por ejemplo, Venegas and Mysak, 2000; Goldenberg et al., 2001; Sutton and Hodson, 2005; Trenberth and Shea, 2006). [GTI 3.6.6]

2.2 Influencias y retroefectos de los cambios hidrológicos sobre el clima

Se han observado en numerosas regiones robustas correlaciones entre la temperatura y la precipitación. Ello evidencia que los procesos que controlan el ciclo hidrológico y la temperatura están estrechamente acoplados. A escala mundial, las variaciones del vapor de agua, de las nubes y del hielo modifican el equilibro radiativo de la Tierra y desempeñan, por consiguiente, un papel fundamental en la determinación de la respuesta climática al aumento de gases de efecto invernadero. El impacto mundial de esos procesos sobre la respuesta de la temperatura se examina en la sección 8.6 del 4IE del GTI. En la presente sección abordaremos algunos procesos en virtud de los cuales la variación de las variables hidrológicas puede producir retroefectos sobre el clima regional, o sobre el balance atmosférico de los principales gases de efecto invernadero. El objeto de esta sección no es analizar en detalle tales procesos, sino ilustrar la estrecha relación existente entre los procesos hidrológicos y el resto del sistema climático. [GTI 3.3.5, Capítulo 7, 8.6]

2.2.1 Efectos sobre la superficie terrestre

El balance hídrico de la superficie refleja la disponibilidad tanto de agua como de energía. En regiones en que la disponibilidad de agua es alta, la evapotranspiración está controlada por las propiedades tanto de la capa límite atmosférica como de la cubierta vegetal de la superficie. La variación del balance hídrico de la superficie puede retroactuar sobre el sistema climático reciclando agua hacia la capa límite (en lugar de permitir que fluya o que penetre profundamente en el suelo). Frecuentemente, el signo y magnitud de esos efectos son muy variables, en función de los detalles del entorno local. Por ello, aunque en algunos casos tales retroefectos pueden ser relativamente pequeños a escala mundial, podrían ser también extremadamente importantes a escalas espaciales o temporales menores, dando lugar a cambios locales/regionales de la variabilidad o de los valores extremos. [GTI 7.2]

Los impactos de la deforestación sobre el clima ilustran esta complejidad. Algunos estudios indican que la deforestación puede dar lugar a una reducción de las temperaturas diurnas y a un aumento de la nubosidad en la capa límite como consecuencia de un mayor albedo, de la transpiración y de la pérdida de calor latente. Con todo, esos efectos dependen de las propiedades tanto de la vegetación sustitutiva como de la superficie del suelo o de la nieve subyacente, aunque en algunos casos se han sugerido los efectos opuestos. Los efectos de la deforestación sobre la precipitación son igualmente complejos, con consecuencias tanto negativas como positivas, en función de las características de la superficie del suelo y de la vegetación. [GTI 7.2, 7.5]

Varios estudios sugieren que en regiones semiáridas, como el Sahel, la presencia de vegetación puede crear unas condiciones más propicias para su propio crecimiento, ya que recicla agua del suelo hacia la atmósfera, desde donde puede precipitarse nuevamente. Ello implicaría múltiples tipos de equilibrio en esas regiones, con o sin precipitación o vegetación, y sugiere también la posibilidad de transiciones de régimen abruptas, como la que podría haber acaecido durante el tránsito del Holoceno medio a la era moderna. [GTI, Capítulo 6, 7.2]

La humedad del suelo es una fuente de inercia térmica, debido a su capacidad calorífica y al calor latente necesario para su evaporación. Por esa razón, se ha sugerido que la humedad del suelo controla en gran medida, por ejemplo, la temperatura y la precipitación estivales. Los retroefectos entre la humedad del suelo, la precipitación y la temperatura son particularmente importantes en las regiones de transición entre áreas secas y húmedas, pero la intensidad del acoplamiento entre la humedad del suelo y la precipitación varía en un orden de magnitud de uno a otro modelo climático, y no se dispone actualmente de limitaciones observacionales que permitan reducir esa incertidumbre. [GTI 7.2, 8.2]

Otro factor de control de la precipitación es el cierre de los estomas en respuesta al aumento de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera. Además de tender a incrementar la escorrentía mediante disminuciones en gran escala de la evapotranspiración total (Sección 2.3.4), este efecto puede ocasionar importantes reducciones de la precipitación en algunas regiones. [GTI 7.2]

Las variaciones de la cubierta de nieve originadas por un calentamiento regional influyen a su vez en la temperatura, debido a la alteración del albedo. Aunque la magnitud de este retroefecto varía sustancialmente de un modelo a otro, estudios recientes sugieren que la tasa de deshielo primaveral puede proporcionar una estimación satisfactoria y observable de la intensidad de ese retroefecto, abriendo así la perspectiva de una menor incertidumbre en las predicciones futuras del cambio de temperatura en las regiones cubiertas de nieve. [GTI 8.6]

2.2.2 Retroefectos vinculados a cambios de la circulación oceánica

El aflujo de agua dulce a los océanos modifica la salinidad de éstos y, en consecuencia, la densidad del agua del mar. Así, los

cambios del ciclo hidrológico pueden modificar la circulación oceánica originada por la densidad ("circulación termohalina") e influir, por consiguiente, a su vez sobre el clima. Un ejemplo reseñable de ello es la circulación de renuevo meridional (CRM) en el norte del Océano Atlántico. Esta circulación produce un impacto importante sobre la temperatura en superficie, sobre la precipitación y sobre el nivel del mar en regiones circundantes del Atlántico Norte y más alejadas. Según las proyecciones, la CRM atlántica se debilitaría durante el siglo XXI, con efectos importantes sobre la modulación de la respuesta total al cambio climático. En general, se espera que un debilitamiento de la CRM modere el ritmo del calentamiento en latitudes medias septentrionales, pero algunos estudios sugieren que ello produciría también un calentamiento más rápido en el Ártico. Estas respuestas retroactúan también sobre la precipitación en gran escala, en virtud de las variaciones de la evaporación en latitudes bajas y medias del Atlántico. Aunque en muchos modelos el principal originante del debilitamiento de la CRM es el calentamiento de la superficie (y no el enfriamiento), en las regiones con fuentes de agua profundas los cambios hidrológicos sí desempeñan un papel importante, y la incertidumbre sobre el aporte de agua dulce contribuye en gran medida a la disparidad de las respuestas a la CRM proyectadas por los distintos modelos. Los cambios observados en la salinidad de los océanos durante los últimos decenios sugieren cambios en el aporte de agua dulce. Casi todos los modelos de circulación general atmósfera-océano (MCGAO) arrojan un debilitamiento de la CRM durante el siglo XXI, pero ninguno de ellos presenta una transición abrupta a un estado diferente. Aunque este tipo de sucesos se considera *muy improbable* durante el siglo XXI, no es posible evaluar la verosimilitud de tales fenómenos a largo plazo. [GTI 10.3.4]

Las variaciones de la precipitación, de la evaporación y de la escorrentía, así como su impacto sobre la CRM, están explícitamente modelizadas en las proyecciones actuales del clima. No obstante, pocos modelos climáticos contienen una representación detallada de las variaciones del balance de masa de los mantos de hielo de Groenlandia y de la región antártica, que representan una posible fuente adicional de agua dulce para el océano. Los escasos estudios disponibles hasta la fecha que incluyen una modelización detallada del aporte de agua dulce de Groelandia no parecen indicar que esta fuente añadida modifique las conclusiones generales anteriormente expuestas. [GTI 5.2, 8.7,10.3, Recuadro 10.1]

2.2.3 Emisiones y sumideros afectados por procesos hidrológicos o por retroefectos biogeoquímicos

Las alteraciones del ciclo hidrológico pueden actuar a su vez sobre el clima si alteran el balance atmosférico de dióxido de carbono, metano y otros productos químicos radiativamente activos, frecuentemente regulados por la biosfera. Los procesos intervinientes son complejos; por ejemplo, la respuesta de la respiración heterotrófica del suelo, que es una fuente de CO_2, al aumento de temperatura depende en gran medida de la cantidad de humedad del suelo. Una nueva generación de modelos climáticos, en los que la vegetación y el ciclo del carbono responden al cambio del clima, ha permitido explorar por primera vez algunos de esos procesos. Todos los modelos sugieren que hay un retroefecto positivo del cambio climático sobre el ciclo del carbono mundial, cuya consecuencia sería la permanencia en la atmósfera de una mayor proporción de emisiones antropógenas de CO_2 en un clima más cálido. Sin embargo, la magnitud del retroefecto total varía sustancialmente según el modelo; las alteraciones de la productividad primaria terrena neta son particularmente inciertas, como consecuencia de la disparidad subyacente entre las proyecciones de la evolución de la precipitación a nivel regional. [GTI 7.3]

Cierto número de fuentes y sumideros de metano son sensibles al cambio hidrológico; por ejemplo, los humedales, el permafrost, la agricultura del arroz (fuentes) y la oxidación del suelo (sumidero). Se ha evidenciado también que otras especies químicas activas, como el ozono, son sensibles al clima, por lo general mediante mecanismos biogeoquímicos complejos. Los balances de aerosoles atmosféricos son directamente sensibles a la precipitación (por ejemplo, al humedecer ésta las fuentes de polvo terrestres, o debido a la importancia de la deposición húmeda como sumidero), y los aerosoles actúan a su vez sobre la precipitación operando como núcleos de condensación e influyendo así en la eficiencia de precipitación de las nubes. La magnitud de esos retroefectos sigue siendo incierta, por lo que suelen ser incorporados sólo en términos simples, en el mejor de los casos, a la generación actual de modelos climáticos. [GTI 7.4]

2.3 Cambios climáticos proyectados en relación con el agua

Un importante avance respecto del TIE en cuanto a las proyecciones de cambio climático es el gran número de simulaciones disponibles, obtenidas de una mayor diversidad de modelos climáticos que operan en base a diversos escenarios de emisiones. La estimación más idónea de las proyecciones obtenidas de los modelos indica que de aquí a 2030 el calentamiento medio decenal en cada continente habitado no depende del escenario IE-EE escogido, y que es *muy probable* que duplique como mínimo (en torno a 0,2°C por decenio) la variabilidad natural correspondiente, estimada mediante modelos, durante el siglo XX. Según los escenarios del IE-EE, si en ausencia de mitigación prosiguieran las emisiones de gases invernadero a un ritmo igual o superior al actual, se produciría un calentamiento adicional, y el sistema climático mundial experimentaría durante el siglo XXI numerosos cambios, *muy probablemente* mayores que los observados en el siglo XX. El cambio promedio mundial de temperatura proyectado para 2090-2099 (respecto de 1980-1999), en base a los escenarios de referencia ilustrativos del IE-EE, se sitúa entre 1,8°C (estimación más idónea, *probablemente* entre 1,1°C y 2,9°C) para el escenario B1 y 4,0°C (estimación más idónea, *probablemente* entre 2,4°C y 6,4°C) para el escenario A1FI. Las proyecciones indican que el calentamiento será mayor sobre tierra firme y en las latitudes septentrionales más altas, y menor sobre el Océano Austral y partes del norte del

Océano Atlántico. Es *muy probable* que la frecuencia de los extremos cálidos y de las olas de calor siga aumentando. [GTI RRP, Capítulo 10]

Incertidumbre de las proyecciones hidrológicas
Los valores de incertidumbre de los cambios proyectados para el sistema hidrológico reflejan la variabilidad interna del sistema climático, la incertidumbre de las futuras emisiones de gases invernadero y aerosoles, la traslación de estas emisiones al cambio climático mediante modelos climáticos, y la incertidumbre de los modelos hidrológicos. Según el escenario A1B, hasta finales del siglo XXI las diferencias entre las proyecciones de precipitación de los modelos climáticos son una fuente de incertidumbre mayor que la variabilidad interna. Ello implica también que, en muchos casos, la variación modelizada de la precipitación media anual es superior a la variabilidad interna (modelizada) hasta esa fecha. La coherencia de las proyecciones entre unos y otros modelos disminuye a medida que se reduce la escala espacial. [GTI 10.5.4.3] En latitudes altas y en ciertas partes de los trópicos, todos o casi todos los modelos prevén un incremento de la precipitación, mientras que en ciertas regiones subtropicales y en latitudes medias inferiores la precipitación disminuye en todos o casi todos los modelos. Entre esas áreas de robusto crecimiento o disminución, ni siquiera el signo de la variación de la precipitación concuerda para todos los modelos de la generación actual. [GTI 10.3.2.3, 10.5.4.3] Respecto a otros aspectos del ciclo hidrológico, como los cambios de evaporación, humedad del suelo o escorrentía, la dispersión relativa de las proyecciones es similar o superior a los cambios de precipitación. [GTI 10.3.2.3]

Otras fuentes de incertidumbre de las proyecciones hidrológicas reflejan la estructura de los modelos del clima actuales. En la sección 2.2 se ofrecen algunos ejemplos de procesos representados en términos simples (en el mejor de los casos) en los modelos climáticos. Los modelos actuales excluyen, por lo general, algunos retroefectos del cambio de vegetación sobre el cambio climático. No todas, pero la mayoría de las simulaciones utilizadas para obtener proyecciones climáticas excluyen también los cambios antropógenos de la cubierta terrestre. En la mayoría de los modelos climáticos, el forzamiento vinculado a los aerosoles antropógenos es tratado en términos relativamente simples. Aunque algunos modelos contemplan una extensa serie de especies de aerosol antropógenas, algunas especies potencialmente importantes, como el carbono negro, no han sido incorporadas a la mayoría de las simulaciones utilizadas en el 4IE (véase el texto de la sección 2.1, sobre la atribución de los cambios observados). Más de la mitad de los modelos del 4IE excluyen también los efectos indirectos de los aerosoles sobre las nubes. La resolución de los modelos del clima actuales dificulta también una adecuada representación de los ciclones tropicales y de las lluvias intensas. [GTI 8.2.1, 8.2.2, 8.5.2, 8.5.3, 10.2.1]

Otra fuente de incertidumbre es la incorporación de los resultados de los modelos climáticos a los estudios de agua dulce, y ello por dos razones: las diferentes escalas espaciales de los modelos de cambio climático mundial y de los modelos hidrológicos, y los errores sistemáticos asociados a la precipitación media histórica obtenida de modelos climáticos mundiales respecto del clima actual. Para resolver las diferencias de escala se han utilizado distintos métodos, desde la interpolación simple de resultados de modelos climáticos hasta métodos dinámicos de reducción a escala dinámicos o estadísticos, pero todos ellos introducen incertidumbres en sus proyecciones. En muchos casos, el error sistemático asociado a la precipitación media simulada se reduce agregando anomalías modelizadas a la precipitación observada, a fin de obtener el conjunto de datos de base de los modelos hidrológicos. Por ello, en la mayoría de los estudios de impacto hidrológico no se toman en cuenta los cambios de la variabilidad interanual o diaria de los parámetros climáticos. El resultado es una subestimación de las crecidas, sequías y necesidades de agua de riego futuras. [GTII 3.3.1]

La incertidumbre respecto a los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, las sequías y las crecidas se debe a varias razones, en particular a las diferencias entre los escenarios de desarrollo económico, de emisiones de gases invernadero y de modelos climáticos e hidrológicos. Sin embargo, no existe todavía ningún estudio que evalúe en qué manera reaccionan diferentes modelos hidrológicos ante una misma señal de cambio climático. [GTII 3.3.1] Desde el TIE, la incertidumbre de las proyecciones de los modelos climáticos en la evaluación de los recursos de agua dulce es incorporada mediante la utilización de agregados (también llamados 'conjuntos') de modelos. Las evaluaciones probabilísticas formales siguen siendo escasas. [GTII 3.3.1, 3.4]

A pesar de estas incertidumbres, se dispone de algunos resultados robustos. En las secciones que siguen se analiza la incertidumbre de los cambios proyectados, en base a las evaluaciones del 4IE.

2.3.1 Precipitación (incluidos los valores extremos) y vapor de agua

2.3.1.1 Precipitación media

Las proyecciones del clima obtenidas mediante agregados de modelos indican aumentos de la cantidad media mundial de vapor de agua, de la evaporación y de la precipitación durante el siglo XXI. Los modelos parecen indicar que la precipitación aumenta por lo general en las áreas de valores máximos de la precipitación tropical regional (por ejemplo, en los regímenes monzónicos, particularmente en el Pacífico tropical) y en latitudes altas, con disminuciones generales en los subtrópicos. [GTI RRP, 10.RE, 10.3.1, 10.3.2]

El incremento de la precipitación en latitudes altas concuerda muy bien entre unos y otros modelos, tanto en la estación invernal como en la estival (véase la Figura 2.7). Los aumentos de precipitación sobre los océanos tropicales y en algunos regímenes monzónicos (por ejemplo, en el monzón estival del sur de Asia, de junio a agosto, o en el monzón estival australiano, de diciembre a febrero) son notables y, aunque localmente no son tan coherentes, se aprecia una coincidencia considerable a gran escala en los trópicos. Hay disminuciones generalizadas de la precipitación estival en latitudes medias, excepto en el Asia oriental, donde aumentan. La media del agregado multimodelos

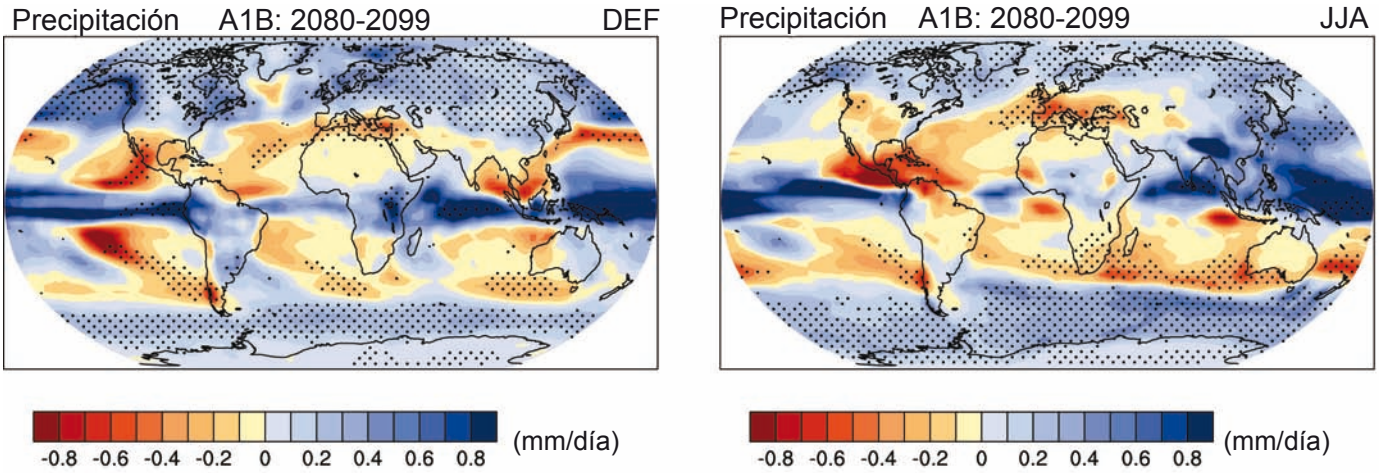


Figura 2.7: *Media de 15 modelos de los cambios de precipitación (unidad: mm/día) para los meses DEF (izquierda) y JJA (derecha). Estos cambios están basados en el escenario A1B del IE-EE, y corresponden al periodo 2080-2099 comparado con 1980-1999. Los puntos indican áreas en que la magnitud del valor medio del agregado multimodelos excede de la desviación típica entre modelos. [GTI, Figura 10.9]*

evidencia disminuciones de la precipitación en numerosas áreas subtropicales y, en muchos casos, el signo del cambio concuerda notablemente entre unos y otros modelos, particularmente en ciertas regiones, como la parte tropical de América Central y el Caribe, o el Mediterráneo. [GTI 10.3.2] En la Sección 5 se analizan con mayor detalle los cambios regionales.

En la Figura 2.8 se muestra la distribución mundial de la precipitación media anual entre 2080 y 2099 para el escenario A1B del IE-EE, junto con otras magnitudes hidrológicas obtenidas mediante un agregado de 15 modelos. En la mayoría de las latitudes altas, así como en el África oriental, norte del Asia central, y Pacífico ecuatorial, sobrevendrían aumentos de la precipitación anual superiores al 20%. En las regiones del Mediterráneo y el Caribe, y en las costas occidentales subtropicales de cada continente, sobrevendrían disminuciones sustanciales, de hasta un 20%. En conjunto, la precipitación terrestre aumentría en torno a un 5%, mientras que la recibida por los océanos aumentría un 4%. El cambio neto terrestre representa un 24% del incremento medio mundial de precipitación [GTI 10.3.2]

En las proyecciones de los modelos climáticos para el siglo XXI, los cambios de la evaporación media mundial compensan con gran aproximación los cambios de la precipitación mundial, pero esta relación no es evidente a escala local, debido a la variación del transporte atmosférico de vapor de agua. La evaporación promedia anual aumenta en buena parte del océano, y las variaciones espaciales tienden a estar vinculadas a las variaciones del calentamiento en superficie. La convergencia de la humedad atmosférica aumenta sobre los océanos ecuatoriales y en latitudes altas. En tierra firme, la evaporación y la escorrentía tienden a compensar los cambios de la precipitación de lluvia. A escala mundial, el contenido de vapor de agua de la atmósfera aumentaría en respuesta a unas temperaturas más altas, manteniéndose la humedad relativa aproximadamente constante. Estos aumentos del vapor de agua producen un retroefecto positivo sobre el calentamiento del clima, dado que el vapor de agua es un gas de efecto invernadero. Asociada a este efecto habría una alteración del perfil vertical de la temperatura atmosférica ("gradiente descendente") que compensaría en parte el retroefecto positivo. Evidencias recientemente obtenidas de modelos y observaciones apuntan claramente a un retroefecto combinado vapor de agua/gradiente vertical sobre el clima, con una magnitud comparable a la obtenida de los modelos de circulación general del clima. [GTI 8.6, 10.RE, 10.3.2]

2.3.1.2 Valores extremos de precipitación

Es *muy probable* que los episodios de precipitación intensa aumenten en frecuencia. Su intensidad aumentaría, particularmente en áreas tropicales y de latitudes altas que experimentan aumentos de la precipitación media. Se aprecia una tendencia hacia un clima más seco en áreas continentales medias durante los veranos, que apunta a un riesgo de sequía elevado en esas regiones. En la mayoría de las áreas tropicales y de latitudes medias y altas, la precipitación extrema aumentría más que la precipitación media. [GTI 10.3.5, 10.3.6]

Un resultado tradicional de los modelos acoplados mundiales señalados en el TIE era la mayor probabilidad, en sus proyecciones, de unos veranos más secos en latitudes medias, con el correspondiente aumento del riesgo de sequía (Figura 2.8). Quince recientes sesiones de modelos MCGAO indicativas de un clima más cálido prevén unos veranos más secos en la mayoría de las áreas subtrópicales del norte y en latitudes medias, pero hay grandes variaciones entre unos y otros modelos en cuanto a la magnitud de la sequedad estival. Las sequías asociadas a esos veranos podrían ocasionar la extinción de vegetación regional y contribuirían a incrementar el porcentaje de superficie terrestre afectado por sequías, con independencia de las fechas; así, por ejemplo, aumentaría la sequía extrema, que pasaría del actual 1% de la superficie terrestre (por definición) a un 30% en 2100 con el escenario A2. Un suelo más seco puede contribuir también a a mayor severidad de las olas de calor. [GTI 10.3.6]

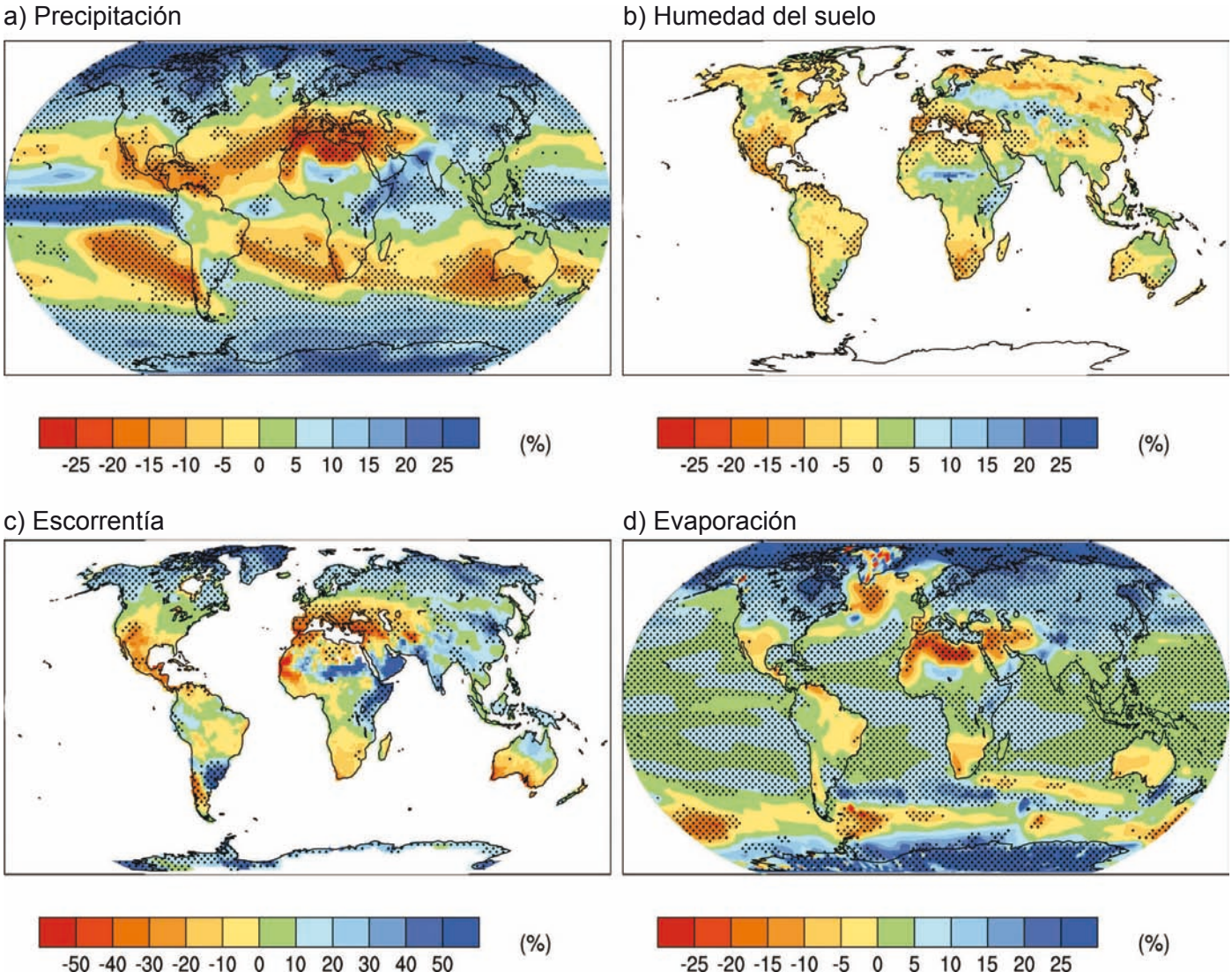


Figura 2.8: *Valor medio de un agregado de 15 modelos respecto de los cambios de (a) precipitación (%), (b) contenido de humedad del suelo (%), (c) escorrentía (%) y (d) evaporación. Para denotar la coherencia en cuanto al signo del cambio, se han indicado en trama sombreada aquel las regiones en que como mínimo un 80% de modelos concuerdan en el signo del cambio medio. Los cambios son valores medios anuales basados en el escenario AIB del IE-EE para el periodo 2080-2099, en comparación con 1980-1999. Los cambios de humedad del suelo y de escorrentía se indican mediante puntos terrestres con datos válidos obtenidos de 10 modelos como mínimo. [Basado en GTI, Figura 10.12]*

Asociado también al riesgo de sequía, sobrevendría un aumento del riesgo de precipitaciones e inundaciones intensas. Aunque un tanto contrario a la intuición, ello se debe a que, según las proyecciones, la precipitación se concentraría en episodios más intensos, intercalados por periodos de menor precipitación más duraderos (véase la Sección 2.1.1 para una explicación más detallada). Así pues, habría esporádicamente lluvias intensas y abundantes con un gran volumen de escorrentía, con periodos secos relativamente más largos y un aumento de la evapotranspiración, particularmente en las regiones subtropicales. Sin embargo, dependiendo del umbral utilizado para definir esos episodios, un aumento de la frecuencia de días secos no significa forzosamente una disminución de la frecuencia de episodios extremos de lluvia copiosa. Otro aspecto de esas alteraciones ha sido vinculado a la variación de la precipitación media: así, la severidad de las lluvias extremas aumentaría en numerosas áreas en que aumenta la precipitación media, y se incrementaría la severidad de los extremos secos en los que disminuye la precipitación media. [GTI 10.3.6]

Las proyecciones multimodelo del clima para el siglo XXI contemplan, en numerosas regiones, un aumento tanto de la intensidad de precipitación como del número de días secos consecutivos (Figura 2.9). La intensidad de precipitación aumenta casi por doquier, pero particularmente en latitudes medias y altas en que aumenta también la precipitación media. Sin embargo, en la Figura 2.9 (parte inferior) se aprecian regiones en que aumentan las series de días secos consecutivos entre episodios de precipitación en los subtrópicos y en latitudes medias inferiores, disminuyendo en cambio en latitudes medias superiores y en latitudes altas en que aumenta la precipitación media. [GTI 10.3.6.1]

Dado que el promedio multimodelos prevé, al mismo tiempo, áreas en que aumentan y áreas en que disminuyen las series de días secos consecutivos entre episodios de precipitación (Figura 2.9), las tendencias medias mundiales son menos acusadas y menos coherentes de uno a otro modelo. Un agregado de procesos físicos perturbado mediante un modelo arroja sólo áreas limitadas en que la frecuencia de días húmedos en julio aumenta de manera concordante. El agregado contiene una mayor diversidad de alteraciones de la precipitación extrema que la media del agregado de control (en comparación con la respuesta de los extremos de temperatura, que es más coherente). Ello indica una respuesta menos coherente respecto a las precipitaciones extremas, en conjunto, que respecto a los extremos de temperatura. [GTI 10.3.6, FAQ10.1]

Según diversos modelos, es *probable* que los futuros ciclones tropicales ganen en intensidad, con velocidades de viento máximas más altas y precipitaciones más intensas, debido al continuo aumento de la temperatura en la superficie del mar tropical. El grado de confianza es menor para las proyecciones que arrojan una disminución mundial del número de ciclones tropicales. [WGI RRP]

2.3.2 Nieve y hielo terrestre

Al calentarse el clima, la cubierta de nieve se contraería y disminuiría, y los glaciares y casquetes de hielo perderían masa, como consecuencia de un aumento del deshielo estival superior al aumento de las nevadas invernales. Las proyecciones indican que, en respuesta al calentamiento, habría aumentos generalizados del espesor del deshielo en buena parte de las regiones de permafrost. [GTI RRP, 10.3.3]

2.3.2.1 Cambios de la cubierta de nieve, del terreno congelado y de los hielos lacustres y fluviales

La cubierta de nieve es una respuesta integrada tanto a la temperatura como a la precipitación, y exhibe una fuerte correlación negativa con la temperatura del aire en la mayor parte de las áreas con cubierta de nieve estacional. Debido a esta relación con la temperatura, las simulaciones proyectan reducciones generalizadas de la cubierta de nieve durante el siglo XXI, pese a ciertos aumentos proyectados en latitudes superiores. Así, los modelos climáticos utilizados en el proyecto de Evaluación de Impacto Climático Ártico (EICA) prevén, con arreglo al escenario B2, una reducción de entre un 9 y un 17% en la media anual de la cubierta de nieve del Hemisferio Norte de aquí al final del siglo. En conjunto, la estación de acumulación de nieve comenzaría más tarde, la estación de deshielo comenzaría más pronto, y la cubierta de nieve parcial disminuiría durante la temporada de nieve. [GTI 10.3.3.2, Capítulo 11]

Los resultados de modelos forzados en base a diversos escenarios climáticos del IPCC indican que, a mediados del siglo XXI, el área de permafrost del Hemisferio Norte disminuiría *probablemente* entre un 20 y un 35%. Los cambios en el espesor del deshielo estacional no serían uniformes en el espacio ni en el tiempo. En los próximos tres decenios es *probable* que el espesor de las capas activas se sitúe entre el 10 y el 15% de su valor actual en la mayor parte de las áreas de permafrost; de aquí a mediados del siglo, el espesor de deshielo estacional podría aumentar, en promedio, entre un 15 y un 25%, y hasta en un 50% o más en puntos más septentrionales; de aquí a 2080, es *probable* que aumente entre un 30 y un 50%, o más, en todas las áreas de permafrost. [GTII 15.3.4]

Las predicciones indican que el calentamiento ocasionará una reducción de los hielos fluviales y lacustres. Se espera, sin embargo, que este efecto quede compensado en algunos de los grandes ríos que fluyen hacia el norte, debido a un menor contraste regional entre las temperaturas del sur y del norte, y a los gradientes hidrológicos y físicos correspondientes. [GTII 15.4.1.2]

2.3.2.2 Glaciares y casquetes de hielo

Al calentarse el clima durante el siglo XXI, los glaciares y casquetes de hielo perderán masa, debido al predominio del deshielo estival sobre el aumento de la precipitación invernal. Según los resultados de simulaciones de once glaciares, situados en diversas regiones, el volumen de esos glaciares disminuiría en un 60% de aquí a 2050 (Schneeberger et al., 2003). Un estudio comparativo, que abarca siete simulaciones mediante MCG basadas en una duplicación del CO_2 atmosférico, concluyó que numerosos glaciares podrían desaparecer totalmente, debido a un aumento de la altitud de la línea de equilibrio (Bradley et al., 2004). La desaparición de esas masas de hielo es mucho más rápida que una potencial reglaciación dentro de varios siglos, y podría ser irreversible en algunas áreas. [GTI 10.7.4.2, Recuadro 10.1] Las proyecciones mundiales para el siglo XXI contemplan una disminución de los glaciares y casquetes de hielo cifrada en 0,07-0,17 m de aumento del nivel del mar equivalente (NME) respecto de la masa de los glaciares y casquetes de hielo actualmente estimada, cifrada en 0,15-0,37 de NNE [GTI, Capítulo 4, Tabla 4.1, 10, Tabla 10.7]

2.3.3 Nivel del mar

Nuestros conocimientos actuales acerca de algunos efectos importantes que originan el aumento del nivel del mar son demasiado limitados, por lo que en el 4IE no se evalúa la verosimilitud ni se ofrece una estimación más idónea o una cota superior respecto al aumento del nivel del mar. Las proyecciones no incluyen ni las incertidumbres de los retroefectos del ciclo clima-carbono ni el efecto conjunto de los cambios en el flujo del manto de hielo; por ello, los valores superiores de esos intervalos de valores no deben considerarse como cotas superiores del aumento del nivel del mar. Las proyecciones de los modelos respecto al aumento medio mundial del nivel del mar entre finales del siglo XX (1980-1999) y el final del presente siglo (2090-2099) son del orden de 0,18 a 0,59 m, en base a la dispersión de los resultados de los MGCAO y a diferentes escenarios IE-EE, aunque excluyendo las incertidumbres anteriormente indicadas. En todos los escenarios de referencia IE-EE, excepto en el B1, es *muy probable* que la tasa promedia de aumento del nivel del mar durante el siglo XXI supere la tasa media registrada en 1961-2003 (1,8 ± 0,5 mm/año). La dilatación térmica es el componente más importante, con una contribución del 70-75% de la estimación central de estas proyecciones respecto de todos los escenarios. Los glaciares, los casquetes de hielo y el manto de hielo de Groenlandia contribuirían también positivamente al aumento del nivel del mar. Los MCG indican que, en conjunto,

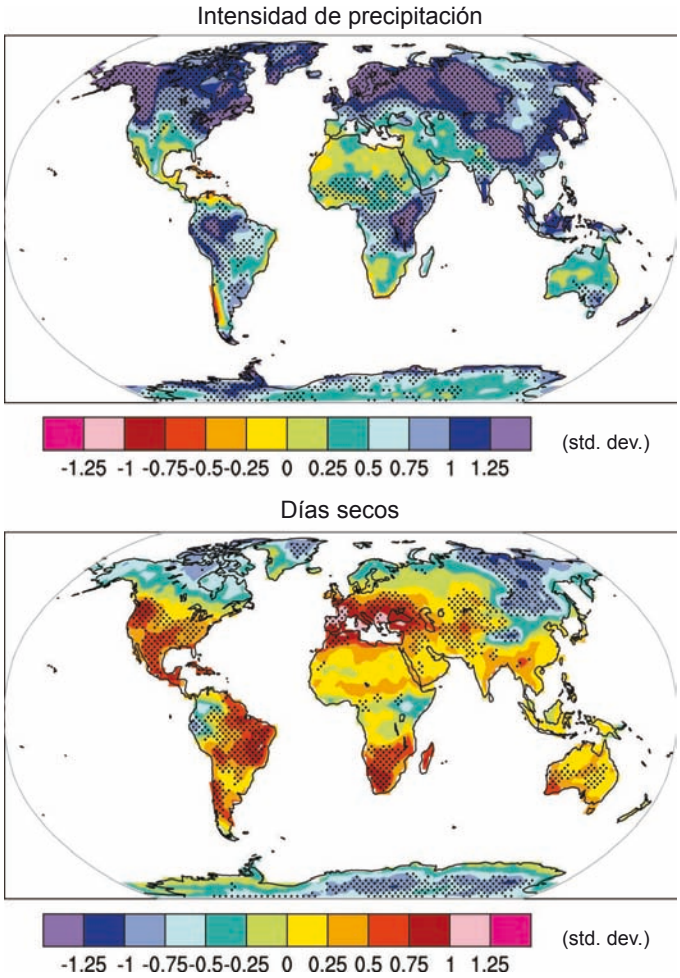


Figura 2.9: *Cambios de los valores extremos, basados en simulaciones multimodelo mediante nueve modelos mundiales del clima, relativos al periodo 2080-2099, en comparación con el período 1980-1999 y en base al escenario A1B. Cambios de las pautas espaciales de la intensidad de precipitación (definida como la cantidad de precipitación total anual dividida por el número de días de lluvia) (figura superior); y cambios de las pautas espaciales de los días sin lluvia (definidos como el número máximo anual de días consecutivos sin lluvia) (figura inferior). Las tramas sombreadas indican áreas en que cinco de los nueve modelos, como mínimo, concuerdan en que el cambio es estadísticamente apreciable. Los índices de los valores extremos han sido calculados únicamente sobre tierra firme. Los cambios están expresados en unidades de desviación típica. [GTI Figura 10.18]*

el manto de hielo antártico recibirá, una mayor precipitación de nieve sin experimentar un deshielo sustancial en su superficie, adquiriendo así masa y contribuyendo negativamente al nivel del mar. El aumento del nivel del mar durante el siglo XXI exhibiría una variabilidad geográfica notable. [IdS 3.2.1; GTI RRP, 10.6.5, RT 5.2] La pérdida parcial de los mantos de hielo de Groelandia y/o de la región antártica podría ocasionar un aumento del nivel del mar de varios metros, cambios de primera magnitud en la línea costera e inundaciones en áreas bajas, siendo su efecto máximo en los deltas fluviales y en las islas de orografía baja. Los modelos actuales parecen indicar que esos cambios serían posibles en Groelandia a una escala temporal de milenios pero, dado que no se conocen todavía a fondo los procesos dinámicos del flujo del hielo en ambos mantos de hielo, no cabe excluir un aumento más rápido del nivel del mar a una escala temporal de siglos. [GTI RRP; GTII 19.3]

2.3.4 Evapotranspiration

La demanda evaporativa o "evaporación potencial" aumentaría casi por doquier. Ello se debe a que la capacidad de retención de agua de la atmósfera aumenta con la temperatura, pero la humedad relativa no resultaría muy alterada. Aumentaría así el déficit de vapor de agua en la atmósfera, al igual que la tasa de evaporación (Trenberth et al., 2003). [GTI, Figuras 10.9, 10.12; GTII 3.2, 3.3.1] La evaporación efectiva aguas adentro aumentaría, por ejemplo, en buena parte de los océanos [GTI, Figura 10.12] y de los lagos, y las variaciones espaciales tenderían a ir aparejadas a las variaciones espaciales del calentamiento de la superficie. [GTI 10.3.2.3, Figura 10.8] Los cambios de la evapotranspiración terrestre están controlados por los cambios de la precipitación y del forzamiento radiativo, y éstos, a su vez, afectarían al balance hídrico de la escorrentía, a la humedad del suelo, al agua embalsada, al agua subterránea y a la salinización de los acuíferos poco profundos. [GTII 3.4.2]

El enriquecimiento de la atmósfera en dióxido de carbono tiene dos implicaciones potencialmente conflictivas entre sí respecto a la evapotranspiración de la vegetación. Por una parte, una mayor concentración de CO_2 puede reducir la transpiración, ya que los estomas foliares, a través de los cuales tiene lugar la transpiración de las plantas, no necesitan abrirse tanto para absorber la misma cantidad de CO_2 que necesitan para la fotosíntesis (véase Gedney et al., 2006; es difícil, sin embargo, encontrar otras evidencias de esa relación). Inversamente, un aumento de las concentraciones de CO_2 puede estimular el crecimiento de las plantas, dando lugar a una mayor superficie foliar y, por consiguiente, a un aumento de la transpiración. Las magnitudes relativas de estos dos efectos varían en función del tipo de planta y de la respuesta a otras influencias, como la disponibilidad de nutrientes o los efectos de los cambios de la temperatura y de la disponibilidad de agua. Para tener en cuenta el efecto del aumento de CO_2 sobre la evapotranspiración es necesario incorporar un modelo dinámico de la vegetación. En la actualidad, sólo un pequeño número de modelos lo incluyen (Rosenberg et al., 2003; Gerten et al., 2004; Gordon and Famiglietti, 2004; Betts et al., 2007), y generalmente a escala mundial y no de cuenca. Aunque los estudios con modelos de vegetación en equilibrio sugieren que un aumento de la superficie foliar podría compensar el estrechamiento de los estomas (Betts et al., 1997; Kergoat et al., 2002), estudios basados en modelos dinámicos de la vegetación mundial indican que los efectos del estrechamiento estomático son superiores a los del aumento de superficie foliar. Teniendo en cuenta los cambios inducidos por el CO_2 en la vegetación, se ha simulado la escorrentía media mundial en un clima con doble nivel de CO_2, que aumentaría en un 5% aproximadamente, debido a una menor evapotranspiración vinculada exclusivamente al enriquecimiento de CO_2 (Leipprand and Gerten, 2006; Betts et al., 2007). [GTII 3.4.1]

2.3.5 Humedad del suelo

Los cambios respecto a la humedad del suelo dependen de la variación del volumen y de las fechas no sólo de la precipitación, sino también de la evaporación (que puede resultar afectada por cambios en la vegetación). La distribución geográfica de los cambios de humedad del suelo es, pues, ligeramente diferente de la distribución de los cambios de precipitación; una mayor evaporación puede compensar sobradamente el incremento de precipitación. Los modelos simulan de distintas maneras la humedad de los primeros metros de profundidad de la superficie de la tierra, y es todavía difícil evaluar el contenido de humedad del suelo. Las proyecciones del contenido medio anual de humedad del suelo (Figura 2.8b) suelen indicar disminuciones en las áreas subtropicales y en la región mediterránea, frente a aumentos en el África oriental, en el Asia central y en otras regiones con mayores niveles de precipitación. Hay también disminuciones en latitudes altas, en que se reduce la cubierta de nieve (Sección 2.3.2). Aunque la magnitud de los cambios es en muchos casos incierta, el signo del cambio es coherente en muchas de esas regiones. Los resultados estacionales arrojan pautas de cambio similares. [GTI 10.3.2.3]

2.3.6 Escorrentía y caudal fluvial

Los cambios respecto al caudal de los ríos y a los niveles de lagos y humedales por efecto del cambio climático dependen principalmente de los cambios respecto a la magnitud y cronología de las precipitaciones y, muy especialmente, de si las precipitaciones son de nieve o de lluvia. Los cambios de la evaporación afectan también a los flujos fluviales. Se han publicado en revistas científicas varios centenares de estudios respecto a los posibles efectos del cambio climático sobre el caudal de los ríos, y se han presentado muchos más estudios con carácter de informes internos. Los estudios se centran principalmente en Europa, América del Norte y Australasia, y un pequeño número de ellos se refiere a Asia. Prácticamente todos los estudios utilizan un modelo hidrológico de cuenca basado en escenarios vinculados a simulaciones climáticas mediante modelos, y casi todos están planteados a escala de cuenca. Los escasos estudios realizados a escala mundial, basados tanto en la escorrentía simulada directamente mediante modelos del clima [GTI 10.3.2.3] como en modelos hidrológicos activados indirectamente [GTII 3.4], muestran que la escorrentía aumenta en latitudes altas y en los trópicos húmedos, y disminuye en latitudes medias y en ciertas partes de los trópicos secos. En la Figura 2. 8c se representa la variación media de la escorrentía según un agregado de modelos, en base al escenario A1B. La escorrentía se reduce notablemente en el sur de Europa y aumenta en el sureste de Asia y en latitudes altas, donde el signo del cambio es coherente respecto de todos los modelos (aunque no tanto la magnitud del cambio). Los cambios más notables alcanzan un 20% o más de los valores simulados de 1980-1999, que varían entre 1 y 5 mm/día en las regiones más húmedas y menos de 0,2 mm/día en los desiertos. El caudal de los ríos en latitudes altas experimenta un aumento, y tiende en cambio a disminuir en los principales ríos de Oriente Medio, Europa y América Central. [GTI 10.3.2.3] La magnitud del cambio, sin embargo, varía según el modelo climático, y en ciertas regiones, como el sur de Asia, la escorrentía podría aumentar o disminuir. Como se indica en la Sección 2.2.1, los efectos del enriquecimiento en CO_2 pueden inducir una disminución de la evaporación y, por consiguiente, un mayor incremento o una menor disminución del volumen de escorrentía. [GTI 7.2]

En la Figura 2.10 se ha representado el cambio respecto a la escorrentía anual para el período 2090-2099, en comparación con el período 1980-1999. Los valores representan la mediana de 12 modelos climáticos basados en el escenario A1B del IE-EE. Las áreas en que los modelos coinciden y difieren, respectivamente, en el signo del cambio se han denotado mediante áreas punteadas y de color blanco: obsérvense la amplitud de las áreas en que el signo del cambio es incierto. Este mapa mundial de la escorrentía anual ilustra los cambios en gran escala, y no debe interpretarse a escalas temporales (por ejemplo, estacionales) o espaciales pequeñas. En áreas en que la lluvia y la escorrentía son muy escasas (por ejemplo, en áreas desérticas), cambios de la escorrentía pequeños pueden dar lugar a cambios porcentuales grandes. En algunas regiones, el signo de los cambios de la escorrentía diferiría de las tendencias recientemente observadas (Sección 2.1.6). En algunas áreas en que las proyecciones indican un aumento de la escorrentía serían de esperar efectos estacionales diferentes, como una mayor escorrentía en la estación lluviosa, o una menor escorrentía en la estación seca. [GTII 3.4.1]

Es especialmente robusto el resultado que indica que el calentamiento induciría cambios en la estacionalidad de los caudales fluviales que reciben gran cantidad de precipitación invernal en forma de nieve, con una disminución de los caudales en primavera, debido a un deshielo menos abundante o más temprano y a un aumento de los caudales en invierno. Este fenómeno ha sido comprobado en los Alpes europeos, en Escandinavia y en torno al Báltico, en Rusia, en el Himalaya, y en el oeste, centro y este de América del Norte. El efecto es máximo en elevaciones más bajas, donde las nevadas son más marginales, y en muchos casos se alcanzarían caudales máximos de aquí a mediados del siglo XXI al menos con un mes de antelación. En regiones con poca o ninguna nieve, los cambios de la escorrentía dependen en mucho mayor medida de los cambios que experimente la lluvia que de los exhibidos por la temperatura. La mayoría de los estudios prevén para esas regiones una mayor estacionalidad de los caudales, frecuentemente con caudales más cuantiosos en la estación de flujo máximo y, o bien una disminución del caudal durante la estación de flujo bajo, o bien unos periodos secos más duraderos. [GTII 3.4.1]

Numerosos ríos que fluyen de regiones glaciales, particularmente en las cordilleras montañosas de Asia y en los Andes de Sudamérica, se nutren de la fusión de los glaciares durante los periodos cálidos y secos. La reducción de esos glaciares debido al calentamiento mundial daría lugar a un mayor caudal de los ríos a corto plazo, pero la fusión de los glaciares contribuiría cada vez en menor medida durante los decenios siguientes. [GTII 3.4.1]

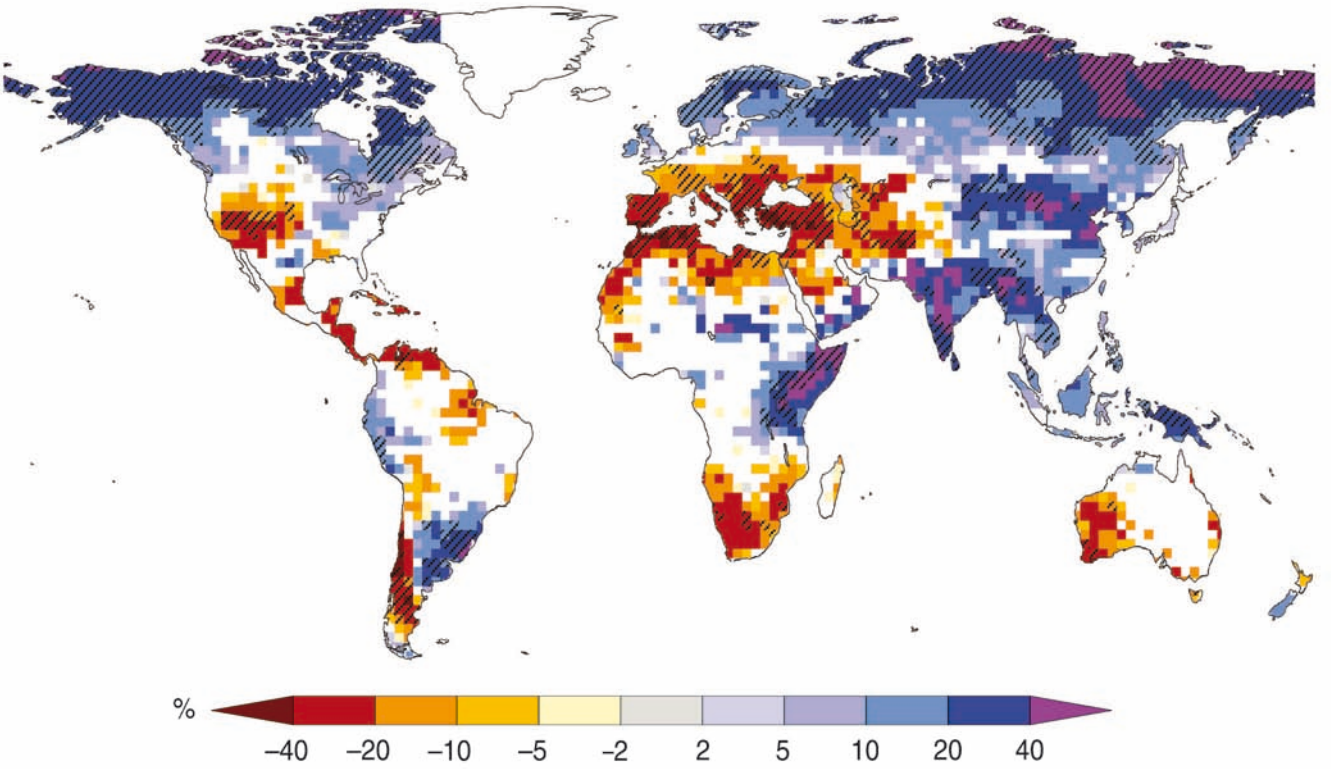


Figura 2.10: *Cambios relativos en gran escala de la escorrentía anual para el periodo 2090-2099 respecto de 1980-1999. Las áreas en blanco indican que menos de un 66% del agregado de 12 modelos concuerdan en el signo del cambio, y las áreas en trama sombreada indican que más de un 90% de los modelos concuerdan en el signo del cambio (Milly et al., 2005). [Basado en IdS, Figura 3.5, y en GTII, Figura 3.4]*

La alteración de los niveles lacustres refleja los cambios en la distribución estacional de los caudales de sus afluentes, de la precipitación y de la evaporación, integrados en algunos casos a lo largo de numerosos años. Los lagos podrían, pues, responder de forma acentudamente no lineal a un cambio lineal de los aportes. Diversos estudios de los Grandes Lagos de América del Norte y del Mar Caspio parecen indicar que sus niveles experimentarán una variación del orden de varias decenas de centímetros, y en algunos casos metros, de aquí al final del siglo. [GTII 3.4.1]

2.3.7 Pautas de variabilidad en gran escala

Según los modelos de cambio climático mundial evaluados en el 4IE, la presión al nivel del mar aumentaría en las regiones subtropicales y en latitudes medias, y disminuiría en latitudes altas. Estos cambios están asociados a una expansión de la circulación Hadley, y a las tendencias positivas del modo anular septentrional/oscilación noratlántica (MAS/ONA) y del modo anular austral (MAA). De resultas de esos cambios, las trayectorias de las tormentas se desplazarían hacia los polos, con los consiguientes cambios de los valores de viento, de precipitación, y de las pautas de temperatura en el exterior de los trópicos, continuando así la pauta de las tendencias observadas durante la última mitad del siglo. [GTI TS, 10.3.5.6, 10.3.6.4]

Es *probable* que los futuros ciclones tropicales devengan más intensos, con velocidades máximas de viento más altas y precipitaciones más intensas, debido a aumentos continuados de la temperatura en la superficie de los mares tropicales. [GTI RRP, 10.3.6.3]

Las TSM en del Pacífico central y ecuatorial oriental aumentarían más que las del Pacífico ecuatorial occidental, con el consiguiente desplazamiento medio de la precipitación hacia el este. Todos los modelos indican que la variabilidad interanual de El Niño-Oscilación Austral (ENOA) se mantendrá, pero las grandes diferencias entre unos y otros modelos respecto a los cambios de amplitud de El Niño proyectados y, a escala temporal, la variabilidad multidecenal inherente a El Niño en los modelos excluye una proyección definitiva de las tendencias de la variabilidad de ese fenómeno. [GTI TS, 10.3.5.3, 10.3.5.4]

La variabilidad interanual de la temperatura media mensual del aire en superficie disminuiría durante la estación fría en el Hemisferio Norte extratropical, y aumentaría en latitudes bajas y en latitudes medias septentrionales durante la estación cálida. Ello se debería, probablemente, a la disminución del hielo marino y de la nieve con el aumento de temperatura. La disminución estival de la humedad del suelo terrestre en latitudes medias contribuye también a ese efecto. La variabilidad media mensual de la precipitación aumentaría en la mayoría de las áreas, tanto en valor absoluto (desviación típica) como relativo (coeficiente de variación). Tales cambios de variabilidad son, sin embargo, de escasa importancia. [GTI 10.3.5.1]

3

Vínculos entre el cambio climático y los recursos hídricos: impactos y respuestas

3.1 Impactos observados del cambio climático

3.1.1 Efectos observados resultantes de cambios en la criosfera

Se han documentado efectos de los cambios experimentados por la criosfera respecto de casi todos sus componentes, con evidencia firme de que, en general, responden a la reducción de las masas de nieve y hielo por efecto de un mayor calentamiento.

3.1.1.1 Glaciares de montaña y casquetes de hielo, mantos de hielo y plataformas de hielo

Se han documentado efectos de los cambios experimentados por los glaciares y casquetes de hielo de montaña en términos de escorrentía (Kaser et al., 2003; Box et al., 2006), estados del tiempo peligrosos (Haeberli and Burn, 2002), y aumento de agua dulce en el océano (Bindoff et al., 2007). Empieza a haber también evidencia de que se está operando una elevación de la corteza terrestre en respuesta a la reciente fusión de glaciares en Alaska (Larsen et al., 2005). Este aumento del hielo fundido, al igual que la mayor duración de la estación de deshielo de los glaciares, generaría inicialmente un aumento de la escorrentía fluvial y crestas de caudal, mientras que a largo plazo (a escalas decenales o seculares) la escorrentía de los glaciares disminuiría (Jansson et al., 2003). Se han detectado ya indicios de que la escorrentía ha aumentado en decenios recientes, por efecto de la fusión de los glaciares en los Andes tropicales y en los Alpes. [GTI 4.6.2; GTII 1.3.1.1]

Está comenzando ya la formación de lagos, a medida que los glaciares se retiran de morrenas prominentes de la Pequeña Era Glacial (PEG) en varias cadenas montañosas escarpadas, y particularmente en el Himalaya (véase el Recuadro 5.4), en los Andes y en los Alpes. La fusión de los hielos subterráneos amenaza también desestabilizar las morrenas de la Pequeña Era Glacial. Los lagos glaciales conllevan, pues, una gran amenaza potencial de crecidas por desbordamiento. Las instituciones estatales de los respectivos países han emprendido obras de protección de gran magnitud, y varios de esos lagos han sido ya sólidamente protegidos mediante presas o drenados; es, sin embargo, necesaria una vigilancia continua, ya que sigue habiendo varias decenas de lagos glaciales potencialmente peligrosos en el Himalaya (Yamada, 1998) y en los Andes (Ames, 1998), y varios más en otras cadenas montañosas del mundo. [GTII 1.3.1.1]

La retracción de los glaciares ocasiona grandes cambios en el paisaje, que afectan a las condiciones de vida y al turismo local en muchas regiones montañosas del mundo (Watson and Haeberli, 2004; Mölg et al., 2005). En la Figura 5.10 pueden verse los efectos de la retracción del glaciar Chacaltaya sobre el paisaje local y la industria del esquí. El calentamiento da lugar a un mayor deshielo de los glaciares durante la primavera y el verano, particularmente en áreas de ablación, con la consiguiente pérdida de cubierta de nieve estacional, que ocasiona a una mayor exposición de las grietas superficiales, que a su vez pueden afectar, por ejemplo, a las operaciones en las pistas de nieve, de lo que ya se ha tenido noticia en la Península Antártica (Rivera et al., 2005). [GTII 1.3.1.1]

3.1.1.2 Cubierta de nieve y suelo congelado

Debido a la menor extensión y permanencia de la cubierta de nieve, los caudales fluviales máximos de la primavera se han adelantando entre una y dos semanas en los últimos 65 años en América del Norte y en el norte de Eurasia. Hay también evidencia de un aumento del caudal de base durante los inviernos en el norte de Eurasia y en América del Norte, y se ha podido medir una tendencia a la disminución de la nieve en latitudes bajas, que está afectando a las superficies de esquí. [GTII 1.3.1.1]

La menor extensión de suelo estacionalmente congelado y de permafrost y el aumento de espesor de la capa activa han dado lugar a:

- desaparición de lagos por drenaje en el interior del permafrost, detectada en Alaska (Yoshikawa and Hinzman, 2003) y Siberia (véase la Figura 5.12) (Smith et al., 2005);
- un menor número de días aptos para viajar en vehículo por las carreteras heladas de Alaska; y
- una mayor erosión de la costa ártica (por ejemplo, Beaulieu and Allard, 2003).

[GTII 1.3.1.1, Capítulo 15]

3.1.2 Hidrología y recursos hídricos

3.1.2.1 Cambios en los sistemas hídricos superficiales y subterráneos

Desde las fechas del TIE, se han realizado numerosos estudios sobre las tendencias de los caudales fluviales durante el siglo XX, desde la escala de cuenca hasta la escala mundial. En algunos se han detectado tendencias apreciables respecto a ciertos indicadores del caudal fluvial, y en otros se han evidenciado vínculos estadísticamente significativos con las tendencias de la temperatura o de la precipitación; sin embargo, no se ha tenido noticia de ninguna tendencia homogénea a nivel mundial. Son muchos, con todo, los estudios que no han identificado tendencias o que no han conseguido disociar los efectos de las variaciones de temperatura y precipitación de los efectos de la intervención humana en las cuencas hidrográficas (por ejemplo, cambios de uso de la tierra, o construcción de embalses). En algunas regiones, la variación interanual del caudal fluvial está también muy influida por las pautas de la circulación atmosférica en gran escala asociadas a ENOA, ONA y otros sistemas de variabilidad que operan a escalas decenales y multidecenales. [GTII 1.3.2.1]

A escala mundial, hay evidencias de una pauta bastante coherente de cambio de la escorrentía anual, que en algunas regiones se manifestaría en un aumento (Tao et al., 2003a, b, respecto a China; Hyvarinen, 2003, respecto a Finlandia; Walter et al., 2004, respecto a Estados Unidos de América), particularmente en latitudes superiores, y en otras en una disminución, por ejemplo en partes del África occidental, sur de Europa y sur de América Latina (Milly et al., 2005). Labat et al. (2004) cifraron en un 4% el

aumento de la escorrentía total mundial por cada 1ºC de aumento de la temperatura durante el siglo XX, con una variación regional en torno a esa tendencia, pero el dato ha sido puesto en duda, debido a los efectos de los dinamizantes no climáticos sobre la escorrentía y al error sistemático que conlleva el escaso número de puntos con datos (Legates et al., 2005). Gedney et al. (2006) ofrecieron la primera evidencia plausible de que el forzamiento por CO_2 provoca un aumento de la escorrentía debido al efecto de las elevadas concentraciones de CO_2 sobre la fisiología de las plantas, aunque es difícil encontrar evidencias que refuercen esa relación. La metodología utilizada para identificar tendencias puede influir también en los resultados, dado que, si se omiten los efectos de la correlación entre cuencas fluviales, podría sobreestimarse el número de cuencas hidrográficas que exhiben tendencias apreciables. (Douglas et al., 2000). [GTII 1.3.2.1]

El flujo subterráneo en acuíferos poco profundos forma parte del ciclo hidrológico, y resulta afectado por la variabilidad y el cambio climáticos por efecto de procesos de recarga (Chen et al., 2002) y por la intervención humana en numerosos lugares (Petheram et al., 2001). [GTII 1.3.2.1] Los niveles subterráneos de numerosos acuíferos del mundo han experimentado una tendencia decreciente durante los últimos decenios [GTII 3.2, 10.4.2], aunque ello se debe, por lo general, al bombeo de agua subterránea a un mayor ritmo que la recarga, y no a una disminución freática relacionada con el clima. Puede haber regiones en que, como sucede en el suroeste de Australia, el aumento del agua subterránea refleja no sólo un aumento de la demanda, sino también una disminución de la recarga procedente del agua superficial, vinculada al clima (Government of Western Australia, 2003). En la región superior de un acuífero carbonatado de las proximidades de Winnipeg, Canadá, los hidrógrafos situados en pozos poco profundos no revelan tendencias claras, aunque sí variaciones por períodos de 3 a 4 años, correlacionadas con los cambios de la temperatura y de la precipitación anuales (Ferguson and George, 2003). La falta de datos y la reacción extremadamente lenta de los sistemas freáticos al carácter variable de la recarga hacen que no se hayan observado cambios relacionados con el clima respecto a la recarga de agua subterránea. [GTII 1.3.2, 3.2]

En los niveles lacustres no se ha identificado, hasta el momento, ninguna tendencia coherente a nivel mundial. Mientras que algunos niveles lacustres han aumentado de nivel en Mongolia y China (Xinjiang) en respuesta a un mayor deshielo de la nieve y del hielo, otros lagos de China (Qinghai), Australia, África (Zimbabwe, Zambia y Malawi), América del Norte (Dakota del Norte) y Europa (Italia central) han disminuido de nivel debido al efecto conjunto de la sequía, el calentamiento y las actividades humanas. En las áreas de permafrost del Ártico el reciente calentamiento ha dado lugar, con el comienzo del deshielo, a la formación temporal de lagos que pierden rápidamente agua debido a la degradación del permafrost (por ejemplo, Smith et al., 2005). Se ha tenido noticia de un efecto similar en el Ártico: la formación de un lago sobre un témpano de hielo (en otros términos, un lago epitempánico[12]), que desapareció al hundirse el témpano de hielo (Mueller et al., 2003). El permafrost y los lagos epitempánicos se examinan en detalle en Le Treut et al. (2007). [GTII 1.3.2.1]

3.1.2.2 Calidad del agua

Durante los últimos decenios se ha podido observar un calentamiento de los lagos y ríos vinculado al clima. [GTII 1.3.2] En consecuencia, los ecosistemas de agua dulce han experimentado cambios que se manifiestan en términos de proporción relativa de sus especies, abundancia de organismos, productividad, y desplazamientos fenológicos (en particular, una migración más temprana de sus peces). [GTII 1.3.4] Debido al calentamiento, numerosos lagos han experimentado también una estratificación prolongada, con disminuciones de la concentración de nutrientes en su capa superficial [GTII 1.3.2] y un agotamiento prolongado del oxígeno en capas más profundas. [GTII, Recuadro 4.1] Debido a la presencia de importantes impactos antropógenos no relacionados con el cambio climático, no hay evidencia de tendencias coherentes relacionadas con el clima en otros parámetros de calidad del agua (por ejemplo, salinidad, patógenos o nutrientes) en lagos, ríos o aguas subterráneas. [GTII 3.2]

Estructura térmica de los lagos

Se ha tenido noticia de un aumento de las temperaturas del agua en los lagos en respuesta a unas condiciones más cálidas (Tabla 3.1). En la sección 2.1.2 y en Le Treut et al. (2007) se aborda el tema de la menor permanencia de la cubierta de hielo y de las disminuciones de espesor del hielo lacustre y fluvial. La dinámica del fitoplancton y la productividad primaria han resultado también alteradas, a la par que los cambios en las condiciones físicas de los lagos. [GTII 1.3.4.4, Figura 1.2, Tabla 1.6] Desde los años 60, las temperaturas del agua en superficie han aumentado entre 0,2 y 2,0°C en los lagos y ríos de Europa, América del Norte y Asia. Paralelamente al calentamiento de las aguas superficiales, la temperatura de las aguas profundas (que refleja las tendencias a largo plazo) ha incrementado entre 0,2 y 0,7°C, desde los comienzos del siglo XX, la temperatura de las aguas profundas (que refleja las tendencias a largo plazo) en los grandes lagos del África oriental (Edward, Alberto, Kivu, Victoria, Tanganica y Malawi). El aumento de temperatura del agua y la mayor duración de las estaciones sin hielo influyen en la estratificación térmica y en la hidrodinámica interna de los lagos. En los años más calidos, las temperaturas del agua en superficie son superiores, la pérdida de agua por evaporación aumenta, la estratificación estival se adelanta, y las termoclinas descienden de nivel. En varios lagos de Europa y América del Norte, el periodo de estratificación se ha adelantado hasta 20 días y se ha prolongado entre 2 y 3 semanas, con una mayor estabilidad térmica. [GTII 1.3.2.3]

Química

El aumento de la estratificación reduce el movimiento del agua a lo largo de la termoclina, inhibiendo el movimiento ascendente y el mezclado del agua, que aportan nutrientes esenciales a la red alimentaria. En ciertos lagos de Europa y del África oriental ha habido una disminución de nutrientes en aguas superficiales, con el consiguiente aumento de concentración en aguas profundas,

[12] Masa de agua, en su mayor parte dulce, atrapada tras una plataforma de hielo.

debido al aumento de la estabilidad térmica. Numerosos lagos y ríos presentan una mayor concentración de sulfatos, cationes básicos y sílice, y una mayor alcalinidad y conductividad vinculadas a una meteorización más acentuada de los silicatos, sulfatos de calcio y magnesio y carbonatos en sus cuencas. Por el contrario, cuando el aumento de la temperatura mejora el crecimiento vegetativo y el desarrollo del suelo en ciertos ecosistemas alpinos, la alcalinidad disminuye debido a una mayor aportación de ácidos orgánicos (Karst-Riddoch et al., 2005). En un lago subalpino de Canadá, el deshielo glacial incrementó la aportación de sustancias organocloradas (que habían sido transportadas por la atmósfera al glaciar, donde habían quedado almacenadas) (Blais et al., 2001). [GTII 1.3.2.3]

El aumento de la temperatura afecta también a los procesos químicos internos de los lagos (Tabla 3.1; véanse también en la Tabla SM1.3 del GTII otros cambios observados en las propiedades químicas del agua). Ha habido disminuciones del nitrógeno inorgánico disuelto, por efecto de una mayor productividad del fitoplancton (Sommaruga-Wograth et al., 1997; Rogora et al., 2003), de un aumento de la salinidad de los lagos, y de aumentos del pH en lagos de aguas blandas (Psenner and Schmidt, 1992). La menor solubilidad ocasionada por el aumento de las temperaturas contribuyó cuantiosamente al 11-13% de disminución de la concentración de aluminio (Vesely et al., 2003), mientras que en los lagos con temperaturas de agua más altas aumentaron la metilación y los niveles de mercurio en los peces (Bodaly et al., 1993). En el lago Baikal de Rusia se ha documentado una disminución del contenido de silicio relacionada con el calentamiento a nivel regional. En Japón, los datos de calidad del agua de 27 ríos de ese país parecen indicar también un deterioro de las características químicas y biológicas, debido al aumento de la temperatura del aire. [GTII 1.3.2.3]

Erosión y sedimentación

La erosión producida por el agua ha aumentado en numerosas áreas del mundo, en gran parte a consecuencia de los cambios antropógenos de uso de la tierra. Por carecerse de datos, no hay evidencia a favor o en contra de que la erosión y el transporte de sedimentos hayan experimentado en el pasado cambios relacionados con el clima. [GTII 3.2]

3.1.2.3 Crecidas

Los procesos de crecida están influidos por diversos procesos climáticos y no climáticos que originan crecidas fluviales, crecidas repentinas, inundaciones urbanas, inundaciones de la red de alcantarillado, crecidas por desbordamiento de lagos glaciales (véase el Recuadro 5.4) y crecidas costeras. Son procesos causantes de crecidas la precipitación intensa y/o prolongada, el deshielo de nieve, la rotura de presas, o la menor capacidad de transporte por la presencia de obstáculos de hielo, por deslizamientos de tierra o a causa de crecidas ocasionadas por tormentas. Las crecidas dependen de la intensidad, volumen, fechas, fase (lluvia o nieve) de la precipitación, así como del estado previo de los ríos y de sus cuencas de drenaje (por ejemplo, presencia de nieve y hielo, carácter y estado del suelo (helado o no, saturado o no), de la humedad, de la tasa y fechas del deshielo de la nieve o del hielo, de la urbanización, y de la existencia de diques, presas o embalses. La intervención humana en las llanuras inundables y la ausencia de planes de respuesta

Tabla 3.1: *Cambios observados en términos de escorrentía/caudal, de niveles lacustres y de crecidas/sequías. [GTII, Tabla 1.3]*

Factor medioambiental	Cambios observados	Periodo de tiempo	Ubicación
Escorrentía/caudal	Incremento anual de 5%, incremento invernal de 25-90%, incremento del caudal básico invernal debido a un aumento del deshielo y de la fusión del permafrost.	1935–1999	Cuenca de drenaje ártica: Ob, Lena,Yenisey, Mackenzie
	Adelanto en una o dos semanas del caudal máximo debido a un deshielo más temprano por efecto del calentamiento.	1936–2000	Oeste de América del Norte, Nueva Inglaterra, Canadá, norte de Eurasia
Crecidas	Más crecidas catastróficas de frecuencia (0,5-1%) debido al adelanto del deshielo fluvial y a lluvias intensas	Años recientes	Ríos árticos de Rusia
Sequías	Disminución de un 29% del caudal diario máximo anual debido al aumento de temperatura y a una mayor evaporación sin cambios de precipitación.	1847–1996	Sur de Canadá
	Sequías producidas por veranos secos y anormalmente cálidos relacionados con el calentamiento del Pacífico tropical occidental y del Índico en años recientes.	1998–2004	Oeste de Estados Unidos de América
Temperatura del agua	Aumento de 0,1 a 1,5°C en los lagos	40 años	Europa, América del Norte, Asia (100 estaciones)
	Aumento de 0,2 a 0,7°C en los lagos (aguas profundas)	100 años	África oriental (6 estaciones)
Química del agua	Disminución de nutrientes debida a una creciente estratificación o a periodos de crecimiento más prolongados en lagos y ríos	100 años	América del Norte, Europa, Europa oriental, África oriental (8 estaciones)
	Creciente deterioro de las cuencas o de los procesos internos en lagos y ríos	10-20 años	América del Norte, Europa (88 estaciones)

frente a las crecidas agravan la posibilidad de ocasionar daños. [GTII 3.4.3] El aumento de intensidad de la precipitación y otros cambios climáticos igualmente observados (por ejemplo, una acentuación de las pautas meteorológicas del viento del oeste en Europa durante los inviernos, causante de sistemas de bajas presiones muy lluviosos que suelen ocasionar crecidas (Kron and Berz, 2007)) indican que el cambio climático podría haber influido ya en la magnitud y frecuencia de las crecidas. [GTII 3.2] El Resumen para responsables de políticas del 4IE del Grupo de Trabajo I concluyó que es *probable* que a finales del siglo XX haya aumentado la frecuencia de episodios de precipitación intensa en la mayoría de las áreas, y que es *más probable que improbable* que haya habido una contribución humana a esa tendencia. [GTI, Tabla RRP-2]

En los últimos diez años (1996-2005) se ha duplicado en todo el mundo el número de grandes crecidas catastróficas por decenio respecto del acaecido entre 1950 y 1980, mientras que sus pérdidas económicas se han multiplicado por cinco (Kron and Berz, 2007). En la tendencia creciente de los daños causados por crecidas han predominado los factores socioeconómicos, como el crecimiento económico, el aumento de población y de riqueza concentrados en áreas vulnerables, y los cambios de uso del suelo. El desastre natural más frecuente en numerosas regiones han sido las crecidas, que han afectado en promedio a 140 millones de personas cada año (WDR, 2003, 2004). En Bangladesh, durante la crecida de 1998, se inundó un 70% de la superficie del país aproximadamente (frente a un valor medio de 20-25%) (Mirza, 2003; Clarke and King, 2004). [GTII 3.2]

Los daños producidos por las crecidas han aumentado más rápidamente que la población o que el crecimiento económico, por lo que habrá que tener en cuenta otros factores, entre ellos el cambio climático (Mills, 2005). La evidencia observacional apunta claramente a una aceleración continua del ciclo hídrico (Huntington, 2006). [GTII 3.4.3] La frecuencia de los episodios de precipitación intensa ha aumentado, lo cual concuerda con el calentamiento y con los aumentos observados del vapor de agua atmosférico. [GTI RRP, 3.8, 3.9] Sin embargo, no se aprecia ningún aumento generalizado de las tendencias documentadas respecto a los grandes caudales fluviales. Aunque Milly et al. (2002) identificaron, en base al análisis de datos de cuencas hidrográficas, un aumento aparente de la frecuencia de "grandes" crecidas (período de retorno >100 años) en la mayor parte del planeta, estudios subsiguientes han aportado una evidencia menos amplia. Kundzewicz et al. (2005) identificaron aumentos (en 27 lugares) y disminuciones (en 31 lugares), y no apreciaron ninguna tendencia en las restantes 137 cuencas de las 195 examinadas en todo el mundo. (2005) [GTII 1.3.2.2]

3.1.2.4 Sequías

El término sequía puede hacer referencia a la sequía meteorológica (precipitación bastante inferior al promedio), hidrológica (caudales fluviales bajos y niveles bajos en ríos, lagos y aguas subterráneas), agrícola (humedad del suelo baja) o medioambiental (combinación de las anteriores). Los efectos socioeconómicos de las sequías pueden provenir de la interacción entre las condiciones naturales y ciertos factores humanos, como los cambios de uso de la tierra, de la cubierta de suelo, o de la demanda y uso de agua. Una demanda de agua excesiva puede exacerbar el impacto de la sequía. [GTII 3.4.3]

Desde los años 70, las sequías se han hecho más comunes, particularmente en las áreas tropicales y subtropicales. El Resumen para responsables de políticas del 4IE del Grupo de Trabajo I concluyó que es *probable* que la superficie afectada por la sequía haya aumentado desde los años 70, y que es *más probable que improbable* que haya habido una contribución humana a esa tendencia. [GTI, Tabla RRP-2] La disminución de la precipitación sobre tierra firme y el aumento de las temperaturas, que han incrementado la evapotranspiración y reducido la humedad del suelo, son factores importantes que han contribuido a la aparición de sequías en un mayor número de regiones, según el Índice Palmer de Severidad de Sequías (PDSI) (Dai et al., 2004b). [GTII 3.3.4]

Las regiones que han experimentado sequías parecen estar determinadas en gran medida por los cambios de la temperatura de la superficie del mar, especialmente en los trópicos, por efecto de los consiguientes cambios de la circulación atmosférica y de la precipitación. En el oeste de Estados Unidos de América, la disminución de los bancos de nieve y la subsiguiente disminución de la humedad del suelo parecen ser también factores determinantes. En Australia y Europa se han inferido vínculos directos con el calentamiento mundial, basándose en el carácter extremo de las altas temperaturas y de las olas de calor que han acompañado a las sequías recientes. [GTI 3.RE, 3.3.4]

Basándose en el PDSI, Dai et al. (2004b) identificaron una notable tendencia al aumento de la sequedad terrestre en el Hemisferio Norte desde mediados de los años 50, con sequedad generalizada en buena parte de Eurasia, norte de África, Canadá y Alaska (Figura 3.1). En el Hemisferio Sur, la superficie terrestre era húmeda en los años 70 y relativamente seca en los 60 y 90, y entre 1974 y 1998 hubo una tendencia al aumento de la sequedad, aunque durante el periodo 1948-2002 las tendencias fueron débiles. Las disminuciones de la precipitación terrestre en los últimos decenios son la causa principal de las tendencias secas, aunque es *probable* que el elevado calentamiento de la superficie durante los 2 o 3 últimos decenios haya contribuido a ellas. A nivel mundial, las áreas muy secas (definidas como áreas terrestres con un PDSI inferior a -3,0) han aumentado a más del doble (de ~12% a 30%) desde los años 70, con un gran salto a principios de los años 80 debido a una disminución de la precipitación terrestre relacionada con ENOA, y con aumentos posteriores debidos, principalmente, al calentamiento en superficie (Dai et al., 2004b). [GTI 3.3.4]

Las sequías afectan a la producción agrícola pluvial, así como al abastecimiento de agua para fines domésticos, industriales y agrícolas. Algunas regiones semiáridas y subhúmedas como, por ejemplo, Australia [GTII 11.2.1], el oeste de Estados Unidos de América y sur de Canadá [GTII 14.2.1], o el Sahel (Nicholson, 2005), han padecido sequías más intensas durante varios años. [GTII 3.2]

La ola de calor europea de 2003, atribuible al calentamiento mundial (Schär et al., 2004), estuvo acompañada de déficits de precipitación anual de hasta 300 mm. Esta sequía contribuyó a una

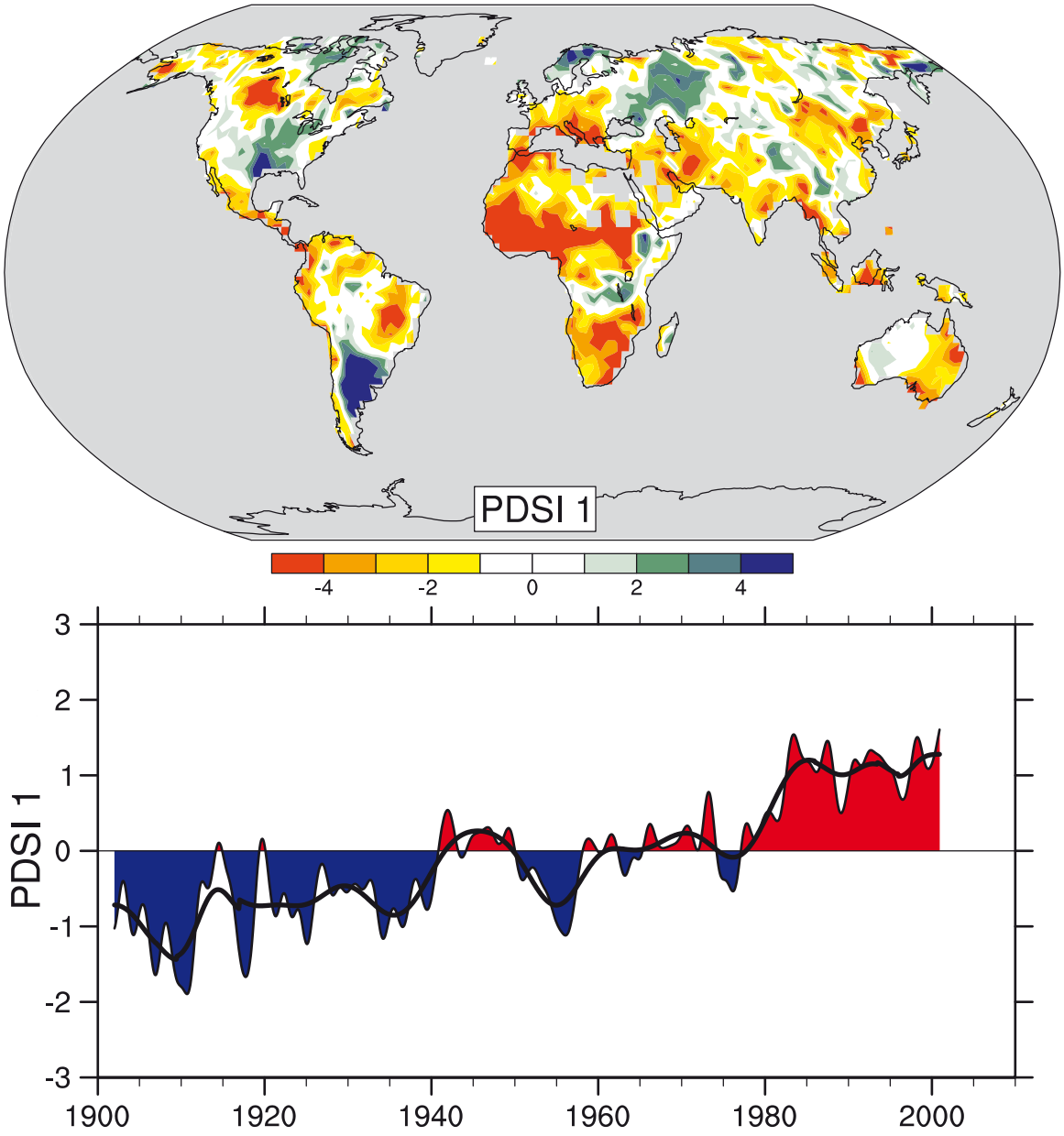


Figura 3.1: *La más importante de las pautas espaciales (primero de los principales componentes analizados; figura superior) del Índice Palmer de Severidad de Sequía (PDSI) mensual en el período 1900-2002. El PDSI es un índice de sequía que mide el déficit acumulado (tomando como referencia las condiciones medias locales) en la humedad superficial del suelo mediante la incorporación de la precipitación precedente y de estimaciones de la humedad presente en la atmósfera (en base a las temperaturas atmosféricas) en un sistema de contabilidad hidrológica[13]. En el gráfico inferior puede verse la evolución del signo y magnitud de esta pauta desde 1900. Cuando los valores representados en el gráfico inferior son positivos (o negativos), las áreas rojas y anaranjadas del mapa superior son más secas (o más húmedas) y las áreas azules y verdes son más húmedas (o más secas) que los valores promediados. La curva negra alisada indica las variaciones decenales. La serie temporal se corresponde aproximadamente con una tendencia, y tanto esta pauta como sus variaciones representan un 67% de la tendencia lineal del PDSI entre 1900 y 2002 en toda la superficie terrestre mundial. Indica, por consiguiente, una mayor sequía generalizada en África, especialmente en el Sahel, por ejemplo. Obsérvense también las áreas más cálidas, particularmente en el este de América del Norte y del Sur y en el norte de Eurasia (según Dai et al., 2004b). [GTI FAQ 3.2]*

[13] Obsérvese que el PDSI no proporciona un modelo realista de la sequía en regiones en que la precipitación es en forma de nieve, por ejemplo en las regiones polares.

reducción, estimada en un 30%, de la producción primaria bruta de los ecosistemas terrestres en Europa (Ciais et al., 2005). Muchos grandes ríos (por ejemplo, el Po, el Rin, el Loira o el Danubio) registraron niveles bajos sin precedentes, que provocaron trastornos en la navegación interior, en los riegos y en la refrigeración de las plantas eléctricas (Beniston and Diaz, 2004; Zebisch et al., 2005). Los valores extremos del deshielo en los glaciares alpinos impidieron que se alcanzasen caudales todavía menores en el Danubio y en el Rin (Fink et al., 2004). [GTII 12.6.1]

3.2 Cambios futuros respecto a la disponibilidad y demanda de agua por efecto del cambio climático

3.2.1 Dinamizantes climáticos de los sistemas de agua dulce en el futuro

Los principales dinamizantes climáticos que determinan la disponibilidad de agua son la precipitación, la temperatura y la demanda evaporativa (determinada por la radiación neta en la superficie del terreno, la humedad atmosférica, la velocidad del viento y la temperatura). La temperatura tiene particular importancia en las cuencas con predominio de nieve y en las áreas costeras, en este último caso por el impacto de la temperatura sobre el nivel del mar (aumento estérico del nivel del mar por dilatación térmica del agua). [GTII 3.3.1]

En la sección 2.3 se describen los cambios proyectados respecto de esos componentes del balance hídrico. En pocas palabras, la escorrentía fluvial anual total en el conjunto de la superficie terrestre aumentaría, aun cuando haya regiones en que el aumento o la disminución sean considerables. Sin embargo, el aumento de la escorrentía no será plenamente utilizable a menos que haya una infraestructura adecuada para captar y almacenar el excedente de agua. En los océanos, el término "evaporación menos precipitación" aumentaría.

3.2.1.1 Agua subterránea

El cambio climático afecta a la rapidez de recarga de las aguas subterráneas (es decir, a los recursos freáticos renovables) y al espesor de las masas freáticas. Sin embargo, no es mucho lo que se sabe sobre la recarga y los niveles actuales, tanto para los países desarrollados como en desarrollo; además, ha habido muy pocas investigaciones sobre el impacto futuro del cambio climático sobre las aguas subterráneas, o sobre las interacciones entre el agua subterránea y el agua superficial. En latitudes altas, la descongelación del permafrost produce cambios tanto del nivel como de la calidad de las aguas subterráneas, debido a un mayor acoplamiento con las aguas superficiales. [GTII 15.4.1] Dado que en muchos casos las masas freáticas van a parar a la superficie o se recargan mediante aguas superficiales, sería de esperar que los regímenes de flujo del agua de superficie afectasen a las aguas subterráneas. Una mayor variabilidad de la precipitación podría reducir la recarga freática en áreas húmedas, dado que una mayor asiduidad de la precipitación intensa podría rebasar con mayor frecuencia la capacidad de infiltración del suelo. En áreas semiáridas y áridas, sin embargo, una mayor variabilidad de la precipitación puede acrecentar la recarga de agua subterránea, dado que sólo las lluvias muy intensas pueden llegar a infiltrarse antes de evaporarse, y que los acuíferos aluviales se recargan principalmente de inundaciones causadas por crecidas. [GTII 3.4.2]

Según los resultados de un modelo hidrológico mundial (véase la Figura 3.2), la recarga de agua subterránea, promediada a nivel mundial, aumentaría menos que la escorrentía total (un 2%, frente al 9% registrado hasta los años 2050 como respuesta, en términos de cambio climático, al escenario A2 del IE EE mediante el modelo ECHAM4: Döll and Flörke, 2005). En base a los cuatro escenarios de cambio climático investigados (los modelos de circulación general ECHAM4 y HadCM3 con los escenarios de emisiones A2 y B2[14] del IE-EE), se calculó que la recarga de agua subterránea disminuiría hasta el decenio de 2050 en más de un 70% en el nordeste de Brasil, suroeste de África y la franja meridional del Mar Mediterráneo. Sin embargo, dado que en ese estudio no se ha tenido en cuenta el aumento esperado de la variabilidad de la precipitación diaria, la disminución podría estar ligeramente sobreestimada. Cuando el espesor de la capa freática aumenta y la recarga de agua subterránea disminuye, peligran los humedales que dependen de acuíferos y de la escorrentía fluvial de base durante las estaciones secas. Algunas de las regiones en que la recarga de agua subterránea aumentaría, según los cálculos, en más de un 30% de aquí a 2050 son el Sahel, el Oriente próximo, el norte de China, Siberia, y el oeste de Estados Unidos de América. En áreas en que el nivel freático es ya alto, un aumento de la recarga podría ocasionar problemas de salinización de suelos urbanos y agrícolas y de suelos anegados. [GTII 3.4.2]

Los escasos estudios relativos a los impactos del cambio climático sobre las aguas subterráneas en determinados acuíferos arrojan resultados vinculados muy específicamente al lugar y al modelo climático (véase, por ejemplo, Eckhardt and Ulbrich, 2003, referido a una cuenca de una cadena baja de montañas de la Europa central; o Brouyere et al., 2004, referido a un acuífero calcáreo de Bélgica). Así, por ejemplo, en la región del acuífero Ogallala la recarga natural de agua subterránea disminuiría en más de un 20% en todas las simulaciones basadas en un calentamiento de 2,5°C o superior (Rosenberg et al., 1999). [GTII 14.4] Por efecto del cambio climático, en numerosos acuíferos del mundo la recarga primaveral se desplazaría hacia el invierno, y la recarga estival disminuiría. [GTII 3.4.2]

3.2.1.2 Crecidas

Como se ha visto en la sección 2.3.1, las proyecciones indican que los episodios de precipitación intensa serían más frecuentes en la mayoría de las regiones durante el siglo XXI. Ello afectaría al riesgo de crecidas repentinas y de inundaciones en núcleos urbanos. [GTI 10.3.5, 10.3.6; GTII 3.4.3] En la Tabla 3.2 se muestran algunos posibles impactos.

En un análisis multimodelos, Palmer and Räisänen (2002) obtuvieron proyecciones que apuntaban a un incremento considerable del riesgo de un invierno muy lluvioso en buena

[14] Véanse el Apéndice I las descripciones de estos modelos.

parte de Europa central y septentrional, debido a un aumento de las precipitaciones intensas asociadas a las tempestades en latitudes medias. Una duplicación del CO_2 sobre extensas áreas de Europa conllevaría un aumento considerable (en un factor de cinco a siete) de la probabilidad de que la precipitación invernal boreal total exceda del doble de la desviación típica respecto a los valores normales, con efectos *probables* sobre el riesgo de crecidas invernales. Otras proyecciones indican un mayor riesgo de estaciones monzónicas muy lluviosas en Asia (Palmer and Räisänen, 2002). Según Milly et al. (2002), si se cuadruplicase la cantidad de CO_2 se rebasarían con mayor frecuencia los volúmenes máximos de control (período: 100 años) del caudal fluvial mensual en 15 de las 16 grandes cuencas del mundo. En algunas áreas, lo que actualmente se considera una crecida secular (en la sesión de control) ocurriría con una frecuencia mucho mayor, incluso cada 2 a 5 años, aunque con una gran incertidumbre en las proyecciones. En muchas regiones templadas es *probable* que disminuya la contribución del deshielo de nieve a las crecidas primaverales. (Zhang et al., 2005). [GTII 3.4.3]

Según ciertos modelos climáticos, la superficie inundada de Bangladesh aumentaría en al menos 23%-29% para un aumento de la temperatura mundial de 2°C (Mirza, 2003). [GTII 3.4.3]

La reducción de la cubierta de neviza[15] sobre los glaciares por efecto del calentamiento produce un aumento inmediato de la

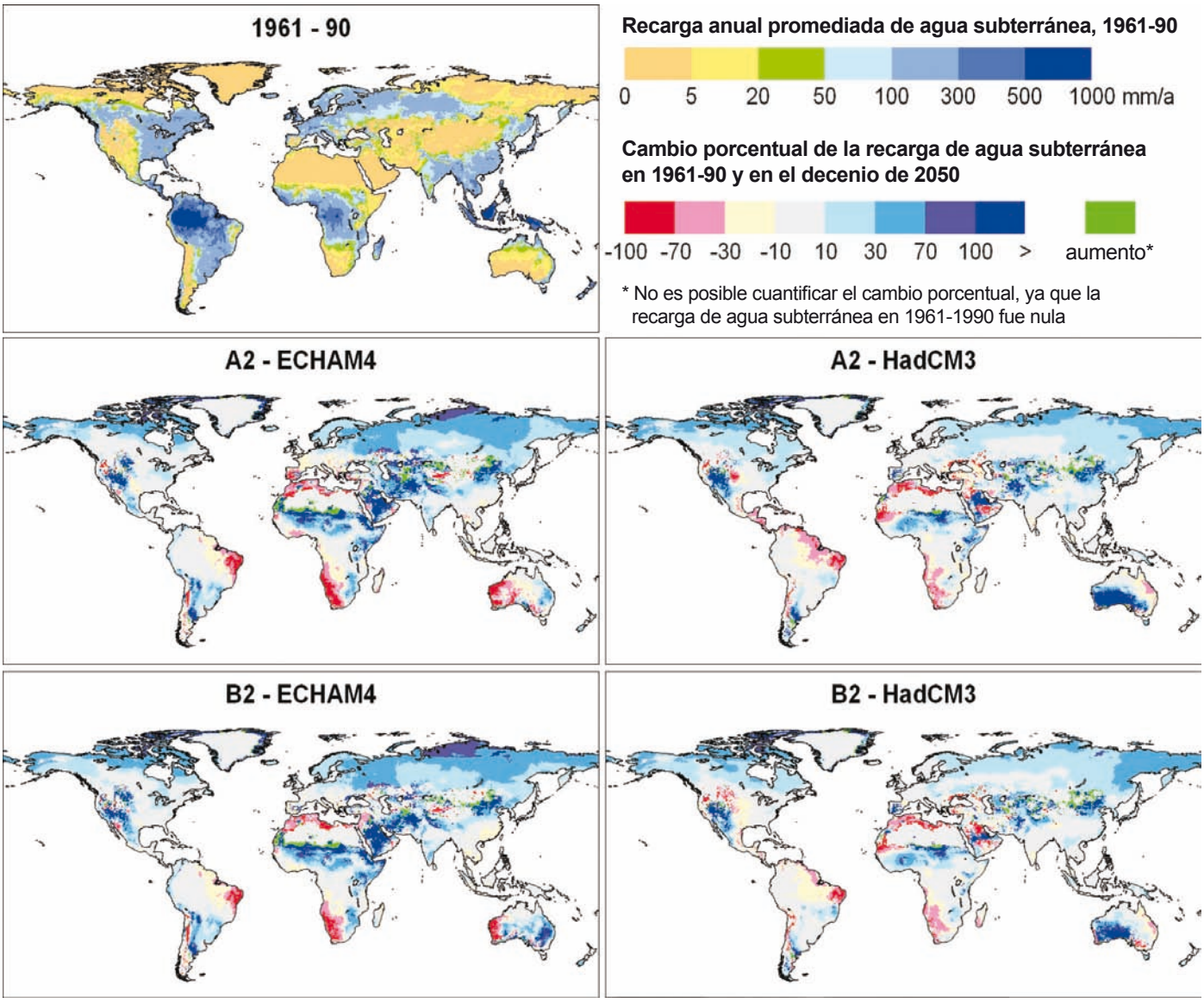


Figura 3.2: *Impacto simulado del cambio climático sobre la recarga difusa anual de agua subterránea promediada a largo plazo. Cambios porcentuales de la recarga promediada de agua subterránea en 30 años desde la fecha actual (1961-1990) hasta el decenio de 2050 (2041-2070), calculados mediante el modelo hidrológico mundial WGHM, para cuatro escenarios diferentes de cambio climático (tomando como base los modelos climáticos ECHAM4 y HadCM3 y los escenarios de emisión A2 y B2 del IE-EE) (Döll and Flörke, 2005). [GTII, Figura 3.5]*

[15] Neviza: nieve antigua (todavía permeable) que se encuentra en un estado intermedio de conversión en hielo glacial (impermeable).

escorrentía de agua de deshielo, que puede generar crecidas en los ríos alimentados por glaciares. [GTII 3.4.3]

Hay cierto grado de incertidumbre en las estimaciones de la evolución futura de la frecuencia de crecidas en el Reino Unido. Según el modelo climático utilizado, la importancia que revistan la contribución del deshielo de nieve y las características y ubicación de las cuencas, el impacto del cambio climático sobre el régimen de crecidas (magnitud y frecuencia) puede ser positivo o negativo, lo cual pone de relieve la incertidumbre que subsiste respecto a los impactos del cambio climático. (Reynard et al., 2004). [GTII 3.4.3]

3.2.1.3 Sequías

Es *probable* que aument e la superficie afectada por las sequías. [GTI RRP] En áreas continentales medias, la humedad tiende a disminuir durante los veranos, lo cual apunta a un mayor riesgo de sequía en esas regiones. [GTI 10.RE] Según un estudio de la frecuencia mundial de sequías, basado en un único modelo, la proporción de superficie terrestre que experimenta sequías extremas en algún momento, la frecuencia de episodios de sequía extrema y la duración media de las sequía aumentarían, de aquí a los años 2090, en un factor de 10 a 30, de 2 y de 6, respectivamente, en base al escenario A2 del IE-EE (Burke et al., 2006). [GTI 10.3.6; GTII 3.4.3] Una disminución de la precipitación estival en el sur y centro de Europa, acompañada de un aumento de las temperaturas (que acrecienta la demanda evaporativa), daría lugar inevitablemente a una menor humedad del suelo en verano (Douville et al., 2002; Christensen et al., 2007) y a una mayor frecuencia e intensidad de las sequías. [GTII 3.4.3] Como puede verse en la Figura 3.3, de aquí al decenio de 2070 las sequías de magnitud actualmente vinculada a un período de retorno de 100

Tabla 3.2: *Ejemplos de posibles impactos del cambio climático por efecto del cambio respecto a los fenómenos atmosféricos y climáticos extremos, en base a proyecciones que abarcan hasta mediados-finales del siglo XXI. Estos ejemplos no contemplan cambios o novedades respecto a la capacidad adaptativa. Las estimaciones de probabilidad de la columna 2 corresponden a los fenómenos indicados en la columna 1. La dirección de la tendencia y la verosimilitud de los fenómenos son corresponden a las proyecciones de cambio climático del IE-EE del IPCC. [GTI, Tabla RRP-2; GTII, Tabla RRP-2]*

Fenómeno[a] y dirección de la tendencia	Verosimilitud de las tendencias futuras en base a proyecciones para el siglo XXI mediante escenarios IE-EE	Ejemplos de los principales impactos proyectados, por sectores			
		Agricultura, silvicultura y ecosistemas [4.4, 5.4]	Recursos hídricos [3.4]	Salud humana [8.2]	Industria, asentamientos y sociedad [7.4]
Episodios de precipitación intensa: Aumento de la frecuencia en la mayoría de las áreas	**Muy probable**	Daños a los cultivos; erosión del suelo, imposibilidad de cultivar tierras por anegamiento de los suelos	Efectos adversos sobre la calidad del agua superficial y subterránea; polución de los suministros de agua; posiblemente menor escasez de agua	Mayor riesgo de defunciones, lesiones y enfermedades infecciosas, respiratorias y dérmicas	Alteración de los asentamientos, del comercio, del transporte y de las sociedades por efecto de las crecidas: presiones sobre las infraestructuras urbanas y rurales; pérdidas de bienes
Aumento del área afectada por la sequía	**Probable**	Degradación del suelo; disminución de los rendimientos/daños a los cultivos; más cabezas de ganado muertas; mayores riesgos de incendios forestales	Mayor extensión del estrés hídrico	Mayor riesgo de escasez de alimentos y de agua; mayores riesgos de malnutrición; mayor riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos	Escasez de agua para asentamientos, industrias y sociedades; menor potencial de generación hidroeléctrica; posibles migraciones de la población
Aumento de la actividad ciclónica tropical	**Probable**	Daños a los cultivos; árboles desgajados por el viento; daños a los arrecifes de coral	Interrupciones del suministro eléctrico que alteran el abastecimiento de agua para la población	Mayor riesgo de defunciones, lesiones, enfermedades transmitidas por el agua y por los alimentos; trastornos de estrés postraumático	Trastornos causados por crecidas y vientos fuertes; denegación de seguros por aseguradoras privadas en áreas vulnerables; posibilidad de migraciones de la población; pérdida de bienes

[a] Véase en la Tabla 3.7 del Cuarto Informe de evaluación del Grupo de trabajo I una explicación más detalladas de las definiciones.

años[16] tendrían, en promedio, períodos de retorno inferiores a 10 años en ciertas partes de España y Portugal, el oeste de Francia, la cuenca del Vistula en Polonia y el oeste de Turquía (Lehner et al., 2005). [GTII 3.4.3]

En la Tabla 3.2 pueden verse algunos de los impactos del aumento de la superficie afectada por sequías. El deshielo de la nieve se adelantaría y sería menos abundante, lo cual podría acrecentar el riesgo de sequía en cuencas alimentadas por nieve fundida durante la temporada de caudal bajo, es decir, en los veranos y otoños. El riesgo de sequía aumentaría en las regiones más dependientes del deshielo de los glaciares para su abastecimiento de agua durante la temporada seca (Barnett et al., 2005). En los Andes, el agua de los glaciares contribuye al caudal fluvial y al suministro de agua para decenas de millones de personas durante la larga estación seca. En los próximos decenios se espera que desaparezcan gran número de glaciares pequeños, por ejemplo en Bolivia, Ecuador y Perú (véase Ramírez et al., 2001; Recuadro 5.5). En áreas abastecidas por el deshielo de los glaciares y de la nieve del Hindu Kush y del Himalaya, de los que dependen centenares de millones de personas en China, Pakistán e India, el suministro de agua se verá afectado negativamente (Barnett et al., 2005). [GTII 3.4.3]

3.2.1.4 Calidad del agua

Las proyecciones indican que el aumento de la temperatura del agua y de la intensidad de precipitación, sumado a unos periodos de caudal bajo más prolongados, potenciarían muchas fuentes de polución del agua, en particular sedimentos, nutrientes, carbono orgánico disuelto, patógenos, plaguicidas, sal y temperatura. Ello fomentaría la floración de algas (Hall et al., 2002; Kumagai et al., 2003) y engrosaría el contenido de bacterias y hongos

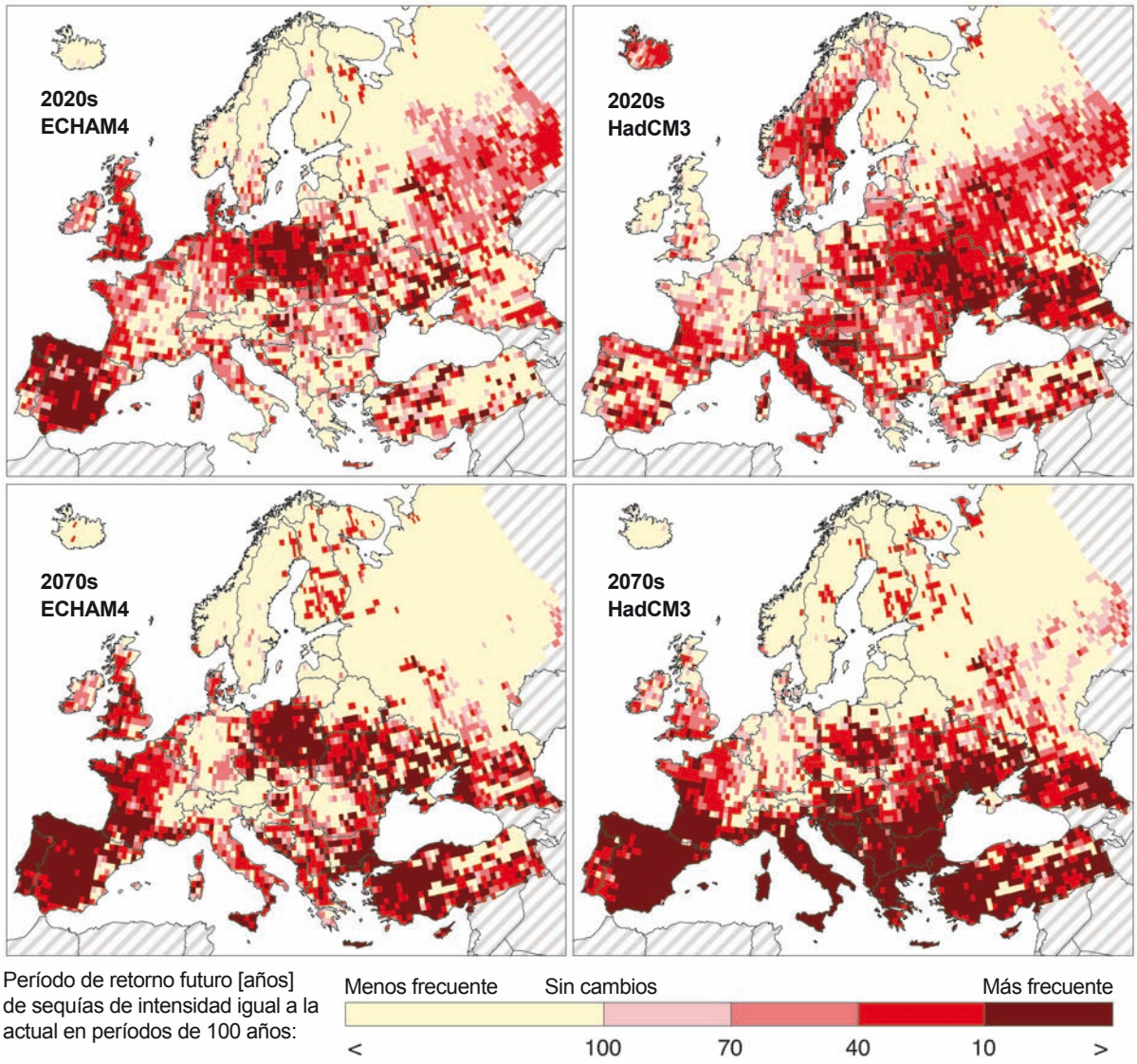


Figura 3.3: *Cambio de la recurrencia futura de sequías por períodos de 100 años, basada en comparaciones entre el clima y el uso de agua en 1961-1990 (Lehner et al., 2005). [GTII, Figura 3.6]*

[16] Cada año, la posibilidad de superar una crecida con un período de retorno de 100 años es de 1%, mientras que para las crecidas con período de retorno de 10 años es de 10%.

(Environment Canada, 2001). Esto, a su vez, afectará a los ecosistemas, a la salud humana, y a la fiabilidad y costos de funcionamiento de los sistemas hídricos. [GTII 3.RE]

Es *probable* que el aumento de las temperaturas deteriore la calidad del agua en los lagos, debido a una mayor estabilidad térmica y a una alteración de las pautas de mezclado, dando lugar a una menor concentración de oxígeno y a una más abundante liberación de fósforo de los sedimentos. A título de ejemplo, las concentraciones de fósforo en una bahía del lago Ontario, de por sí altas durante el verano, podrían duplicarse si la temperatura del agua aumentara entre 3 y 4 grados (Nicholls, 1999). Sin embargo, el aumento de las temperaturas podría mejorar también la calidad del agua durante los inviernos y las primaveras por efecto de un deshielo más temprano y, por consiguiente, de unos niveles de oxígeno más altos y de una menor mortandad de peces durante los inviernos. [GTII 4.4.8, 14.4.1]

Una mayor intensidad de lluvia hará aumentar la abundancia de partículas sólidas en suspensión (turbidez) en lagos y embalses debido a la erosión fluvial del suelo (Leemans and Kleidon, 2002), e incorporará sustancias poluyentes (Mimikou et al., 2000; Neff et al., 2000; Bouraoui et al., 2004). El aumento de la intensidad de precipitación deterioraría la calidad del agua, debido a un mayor transporte de patógenos y de otros poluyentes disueltos (por ejemplo, plaguicidas) hacia las aguas superficiales y subterráneas, y al aumento de la erosión, que a su vez moviliza la adsorción de sustancias poluyentes, como el fósforo o los metales pesados. Además, una mayor asiduidad de lluvias intensas sobrecargaría con mayor frecuencia la capacidad de los sistemas de alcantarillado y de las plantas de tratamiento de aguas de desecho. [GTII 3.4.4] Si los niveles de caudal bajos se hacen más frecuentes, disminuirá la capacidad de dilución de contaminantes y aumentará la concentración de sustancias poluyentes, en particular los patógenos. [GTII 3.4.4, 14.4.1] En las áreas en que la escorrentía, en conjunto, disminuya (por ejemplo, en numerosas áreas semiáridas), el deterioro de la calidad del agua será incluso mayor.

En áreas semiáridas y áridas, es *probable* que el cambio climático acentúe la salinización de las aguas subterráneas poco profundas, debido a un aumento de la evapotranspiración. [GTII 3.4.2] Los caudales fluviales disminuirían en numerosas áreas semiáridas, por lo que aumentaría la salinidad en ríos y estuarios. [GTII 3.4.4] Así, por ejemplo, los niveles de salinidad en la cabecera de la cuenca de Murray-Darling, en Australia, aumentarían entre un 13% y un 19% de aquí a 2050 (Pittock, 2003). En términos generales, una menor recarga de agua subterránea, que reduce la movilización de sales subterráneas, puede compensar el efecto de una menor dilución de sales en ríos y estuarios. [GTII 11.4]

En áreas costeras, el aumento del nivel del mar podría tener efectos negativos sobre el drenaje del agua de tempestad y la evacuación de aguas de desecho [GTII 3.4.4], y podría acentuar la intrusión de agua salada en las aguas subterráneas dulces de los acuíferos costeros, afectando así negativamente a los recursos de agua subterránea. [GTII 3.4.2] En dos islas coralinas pequeñas y llanas, cerca de las costas de India, se ha calculado que, si el nivel del mar aumentase en sólo 0,1 m, el espesor del lentejón de agua dulce disminuiría de 25 m a 10 m, y de 36 m a 28 m, respectivamente, (Bobba et al., 2000). Cualquier disminución de la recarga de los acuíferos agravará los efectos del aumento del nivel del mar. En los acuíferos terrestres, una menor recarga de agua subterránea podría ocasionar la intrusión de agua salada de acuíferos salinos cercanos (Chen et al., 2004). [GTII 3.4.2]

3.2.1.5 Erosión hídrica y sedimentación

Todos los estudios de erosión del suelo indican que el aumento esperado de la intensidad pluvial produciría una mayor erosión. [GTII 3.4.5] Además, la transformación de la precipitación invernal, de nieve y menos erosiva, en precipitación pluvial más erosiva por efecto del aumento de las temperaturas invernales agravaría la erosión perjudicando, por ejemplo, la calidad del agua en áreas agrícolas. [GTII 3.4.5, 14.4.1]

La fusión de permafrost convierte en erosionables suelos que previamente no lo eran. [GTII 3.4.5] Otros efectos indirectos del cambio climático sobre la erosión responden a cambios de los suelos y de la vegetación producidos por el cambio climático y por las consiguientes medidas de adaptación. [GTII 3.4.5] Los escasos estudios sobre el impacto del cambio climático en el transporte de sedimentos parecen indicar que el transporte aumentará debido al aumento de la erosión, particularmente en áreas con mayor escorrentía. [GTII 3.4.5]

3.2.2 Dinamizantes no climáticos de los sistemas de agua dulce en el futuro

Son numerosos los factores no climáticos que afectan a los recursos de agua dulce a escala mundial (UN, 2003). Los cambios de uso de la tierra, la construcción y gestión de embalses, las emisiones de poluyentes y el tratamiento del agua y de las aguas de desecho influyen tanto en la cantidad como en la calidad de los recursos hídricos. El uso de agua depende de los cambios de población, del consumo de alimentos, de la economía (incluido el control de los precios del agua), de la tecnología, del estilo de vida y del valor que la sociedad atribuye a los ecosistemas de agua dulce. La vulnerabilidad de los sistemas de agua dulce al cambio climático depende también de la gestión del agua a nivel nacional e internacional. Cabe esperar que el paradigma de "gestión integrada de los recursos hídricos" (GIRH)[17] vaya

[17] Modalidad actual de gestión del agua que, sin embargo, no ha sido definida inequívocamente. La GIRH está basada en cuatro principios, formulados en la *Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente de* Dublín, 1992: (1) el agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para el sostenimiento de la vida, el desarrollo y el medio ambiente; (2) el desarrollo y gestión del agua debería estar basado en un planteamiento participativo que implique a usuarios, participantes y responsables de políticas de todos los ámbitos; (3) las mujeres tienen un papel central en el aprovisionamiento, gestión y salvaguardia del agua; (4) el agua desempeña un papel económico en todos sus usos sujetos a competencia, y debería reconocerse como un bien económico.

ganando aceptación en todo el mundo (UN, 2002; World Bank 2004a; World Water Council, 2006); con ello el agua, como recurso y como ecosistema, pasaría a ocupar el centro de atención de los responsables de políticas. Es *probable* que se reduzca así la vulnerabilidad de los sistemas de agua dulce al cambio climático. El estudio de los caudales requeridos para el medio ambiente podría inducir a modificar las operaciones en los embalses de modo que se restringiese el uso humano de esos recursos hídricos. [GTII 3.3.2]

3.2.3 Impactos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua dulce en el futuro

Por lo que respecta al aprovisionamiento de agua, es *muy probable* que los costos del cambio climático sean, en términos mundiales, mayores que los beneficios. Una de las razones es el *muy probable* aumento de la variabilidad de la precipitación, y una previsible mayor frecuencia de crecidas y sequías, como se ha indicado en las secciones 2.1.6 y 2.3.1. El riesgo de sequía aumentará en las cuencas abastecidas por nieve de deshielo durante la temporada de caudal bajo, como se ha indicado en la Sección 3.2.1. Los efectos de las sequías y de las crecidas se podrían atenuar mediante una adecuada inversión en infraestructura y mediante cambios en la gestión del agua y del uso de la tierra, pero la ejecución de estas medidas implicará un costo (US Global Change Research Program, 2000). Las infraestructuras hídricas, las pautas de uso y las instituciones se han desarrollado en el contexto de las condiciones actuales. Todo cambio importante en la frecuencia de las crecidas y de las sequías y en la cantidad y calidad del agua, o en la estacionalidad de su disponibilidad, precisará ajustes que pueden ser costosos, no sólo en términos económicos sino también en términos sociales y ecológicos, y en particular será necesario gestionar los posibles conflictos entre diferentes grupos de interés (Miller et al., 1997). [GTII 3.5]

Los cambios hidrológicos pueden tener consecuencias positivas en algunos aspectos, y negativas en otros. Por ejemplo, una mayor escorrentía anual podría generar beneficios para diversos tipos de usuarios de agua, tanto en las cuencas como fuera de ellas, ya que renovaría los recursos hídricos, pero podría generar también daños si aumentaran los riesgos de crecida. En los últimos decenios, la tendencia a una mayor pluviosidad en partes australes de América del Sur ha incrementado la superficie inundada por crecidas, pero también ha mejorado las cosechas en la región de la Pampa argentina y ha proporcionado nuevas oportunidades comerciales para la pesca (Magrin et al., 2005). [GTII 13.2.4] Una mayor escorrentía podría también dañar áreas en que la capa freática es poco profunda. En esas áreas, el aumento de la capa freática perjudica al uso agrícola y daña los edificios en las áreas urbanas. En Rusia, por ejemplo, se estima que los daños anuales causados por el bajo nivel de las capas freáticas ascienden actualmente a entre 5.000 y 6.000 millones de dólares (Kharkina, 2004) y es *probable* que aumenten en el futuro. Además, un aumento de la escorrentía anual podría no acarrear un aumento beneficioso de los recursos hídricos ya disponibles, si ese aporte de agua adicional se concentra durante la estación de caudales altos. [GTII 3.5]

La mayor intensidad de precipitación puede dar lugar a periodos de mayor turbidez y concentración de nutrientes y patógenos en los recursos hídricos superficiales. La empresa de distribución de agua de la ciudad de Nueva York contempla los episodios de precipitación intensa como una de sus principales preocupaciones en relación con el cambio climático, dado que pueden elevar los niveles de turbidez en algunos de los principales depósitos de la ciudad hasta 100 veces por encima del límite legal de calidad de la fuente en el punto de toma, lo cual conlleva un importante tratamiento adicional y costos de supervisión (Miller and Yates, 2006). [GTII 3.5.1]

3.2.4 Impactos del cambio climático sobre la demanda de agua dulce en el futuro

El aumento de las temperaturas y de la variabilidad de la precipitación generarían en conjunto una mayor demanda de agua de riego, aun en el caso de que la precipitación total durante la temporada de crecimiento se mantuviera invariable. Se ha modelizado el impacto del cambio climático sobre los periodos óptimos de crecimiento y sobre la optimización del rendimiento del uso de agua de riego, en base al supuesto de que no habrá cambios en la superficie de riego ni en la variabilidad del clima (Döll, 2002; Döll et al., 2003). Aplicando los escenarios A2 y B2 del IE-EE del IPCC, interpretados mediante dos modelos climáticos, se proyectó que las necesidades netas de riego en China e India, que son los países con mayor superficie de riego del mundo, cambiarían de aquí a 2020 entre +2% y +15% en el caso de China, y entre -6% y +5% en el caso de India, según el escenario de emisión y el modelo climático utilizado (Döll, 2002; Döll et al., 2003). Diferentes modelos climáticos proyectan diferentes cambios mundiales de las necesidades netas de riego, con incrementos estimados de entre 1 y 3% de aquí al decenio de 2020 y de entre 2 y 7% de aquí al decenio de 2070. El aumento mundial máximo de las necesidades netas de riego se obtiene para el escenario climático basado en el escenario de emisiones B2. [GTII 3.5.1]

En un estudio sobre el riego de los maizales en Illinois, basado en la optimización del beneficio, se concluyó que una disminución de la precipitación anual en un 25% tenía el mismo efecto sobre el rendimiento del riego que una disminución de un 15% más una duplicación de la desviación típica de la precipitación diaria (Eheart and Tornil, 1999). El estudio evidenciaba también que el uso de agua de riego basado en la optimización del beneficio responde mejor a los cambios de precipitación que el uso de agua basado en la optimización del rendimiento, y la duplicación del CO_2 atmosférico influye en muy escasa medida. [GTII 3.5.1]

Es *probable* que el aumento de la demanda de agua para uso doméstico por efecto del cambio climático (por ejemplo, por el aumento del riego de jardines) y de la demanda de agua para usos industriales sea relativamente pequeño; es, por ejemplo, inferior a un 5% de aquí a 2050 en las ubicaciones seleccionadas (Mote et al., 1999; Downing et al., 2003). Un efecto secundario indirecto, aunque pequeño, sería el aumento de la demanda de electricidad para refrigeración de edificios, que tendería

a incrementar la extracción de agua de refrigeración en las plantas térmicas de energía eléctrica. Un análisis estadístico del uso de agua en la ciudad de Nueva York reveló que el uso diario de agua por habitante en días con temperaturas superiores a 25º–C aumenta en 11 litros/°C (aproximadamente, un 2% del consumo actual diario por habitante) (Protopapas et al., 2000). [GTII 3.5.1]

3.2.5 Impactos del cambio climático sobre el estrés hídrico en el futuro

Las estimaciones mundiales del número de personas que habitan en áreas con escasez de agua difieren mucho de un estudio a otro (Vörösmarty et al., 2000; Alcamo et al., 2003a, b, 2007; Oki et al., 2003; Arnell, 2004). Sin embargo, el cambio climático es sólo uno de los numerosos factores que influye en el futuro del estrés hídrico, aunque los cambios demográficos, socioeconómicos y tecnológicos son probablemente más importantes en la mayoría de las épocas y regiones. En el decenio de 2050, las diferencias entre las proyecciones de población de los cuatro escenarios IE-EE del IPCC tendrían un mayor efecto sobre el número de personas que habitan en cuencas fluviales con estrés hídrico que las diferencias entre escenarios climáticos (Arnell, 2004). El número de personas que viven en cuencas fluviales con estrés hídrico aumentaría de manera apreciable (Tabla 3.3). A partir del decenio de 2050, el cambio respecto al número de personas que previsiblemente estarán sometidas a estrés hídrico depende en gran medida del escenario IE-EE adoptado. El aumento sería sustancial para el escenario A2, mientras que la tasa de aumento sería inferior en los escenarios A1 y B1, debido al aumento mundial de los recursos renovables de agua dulce y a una ligera disminución de la población (Oki and Kanae, 2006). Cabe destacar que, basándose en el indicador de disponibilidad de agua por habitante, el cambio climático tendería a reducir el estrés hídrico mundial a nivel planetario. Ello se debe a que el aumento de escorrentía se concentra principalmente en las áreas más pobladas del planeta, principalmente en el este y suroeste de Asia. Sin embargo, dado que esa mayor escorrentía discurre principalmente durante las estaciones de caudal abundante (Arnell, 2004), es posible que no alivie los problemas de la estación seca si no se almacena el excedente de agua sobrante, y no reduciría tampoco el estrés hídrico en otras regiones del mundo. Los cambios de las pautas estacionales y una mayor probabilidad de fenómenos extremos podrían enmascarar los efectos de una mayor disponibilidad anual de agua dulce y del cambio demográfico. [GTII 3.5.1]

Tabla 3.3: *: Impacto del crecimiento demográfico y del cambio climático sobre el número de personas que viven en cuencas fluviales que padecen estrés hídrico (con recursos hídricos renovables por habitante inferiores a 1.000 m^3/año) hacia 2050. [GTII, Tabla 3.2]*

	Población estimada en cuencas fluviales que padecerían estrés hídrico en 2050 (miles de millones)	
	Arnell (2004)	Alcamo et al. (2007)
1995: Referencia	1,4	1,6
2050: Escenario de emisiones A2	4,4–5,7	6,4–6,9
2050: Escenario de emisiones B2	2,8–4,0	4,9–5,2

Estas estimaciones están basadas en escenarios de emisiones y en varias sesiones de modelos. La horquilla de valores refleja la diversidad de modelos climáticos utilizados para traducir las emisiones en escenarios climáticos.

Si se evalúa el estrés hídrico no sólo en función de la población y del cambio climático, sino también de los cambios de uso de agua, la importancia de los dinamizantes no climáticos (ingresos, eficiencia de uso del agua, productividad hídrica y producción industrial) aumenta (Alcamo et al., 2007). En algunos casos, el aumento de los ingresos repercute en el uso del agua y en el estrés hídrico en mayor medida que el crecimiento de la población (expresado mediante el cociente entre la extracción de agua y los recursos hídricos). Los modelos indican que, de aquí al decenio de 2050, el estrés hídrico disminuiría en un 20-29% de la superficie terrestre, y aumentaría en un 62-76% de la superficie terrestre mundial (en base a dos modelos climáticos y a los escenarios A2 y B2 del IE-EE). La mayor disponibilidad de agua, vinculada al aumento de la precipitación, es la causa principal de la disminución del estrés hídrico, mientras que las pérdidas de agua son la causa principal de su aumento. El aumento del uso doméstico de agua, estimulado por el crecimiento de los ingresos, se consideró como un factor dominante (Alcamo et al., 2007). [GTII 3.5.1]

3.2.6 Impactos del cambio climático sobre los costos, y otros aspectos socioeconómicos del agua dulce

La cantidad de agua disponible para captación depende de la escorrentía, de la recarga freática, de las condiciones de los acuíferos (por ejemplo, grado de confinamiento, profundidad, espesor, o límites), de la calidad del agua y de la infraestructura de abastecimiento hídrico (por ejemplo, embalses, pozos, o redes de distribución). El acceso a agua potable salubre depende más de la adecuación de la infraestructura de suministro de agua que del volumen de escorrentía. Sin embargo, el objetivo de un acceso más salubre al agua potable resultará más difícil de lograr en regiones en que disminuya la escorrentía y/o la recarga de aguas subterráneas por efecto del cambio climático. Además, el cambio climático implica un costo adicional para el sector de abastecimiento de agua debido, por ejemplo, al nivel cambiante del agua, que afecta a la infraestructura de suministro y que podría impedir la extensión de los servicios de abastecimiento de agua a un mayor número de personas. Ello, a su vez, genera un mayor impacto socioeconómico, con el consiguiente costo, particularmente en áreas en que ha aumentado también la prevalencia del estrés hídrico por efecto del cambio climático. [GTII 3.5.1]

Los cambios inducidos por el cambio climático en el régimen de escorrentía estacional y en la variabilidad interanual de la escorrentía pueden ser tan importantes para la disponibilidad de agua como los cambios del promedio anual de la escorrentía a largo plazo (US Global Change Research Program, 2000). La población que habita en cuencas abastecidas por el deshielo, que experimentan una disminución de la cantidad de nieve almacenada durante el

invierno, puede verse afectada negativamente por la disminución de los cauces fluviales durante los veranos y otoños (Barnett et al., 2005). El Rin, por ejemplo, podría experimentar una reducción de entre un 5% y un 12% de su caudal estival bajo durante el decenio de 2050, que afectaría negativamente al suministro de agua, particularmente en las plantas térmicas de generación eléctrica (Middelkoop et al., 2001). Ciertos estudios de la cuenca del río Elba revelan que la evapotranspiración real aumentaría de aquí a 2050 (Krysanova and Wechsung, 2002), mientras que el caudal del río, la recarga freática, el rendimiento agrícola y las fuentes difusas de polución disminuirían *probablemente* (Krysanova et al., 2005). [GTII 3.5.1]

En la China occidental, es *probable* que el adelanto del deshielo primaveral y la disminución de los glaciares reduzcan la disponibilidad de agua de riego para usos agrícolas. Se han estimado, para el caso de China, las inversiones y costos de explotación de los pozos y embalses adicionales que se precisarían para asegurar un suministro fiable de agua en la eventualidad de un cambio climático. El costo es bajo en las cuencas en que el estrés hídrico actual es pequeño (por ejemplo, en Changjiang), y alto allí donde el estrés hídrico es elevado (por ejemplo, en el río Huanghe) (Kirshen et al., 2005a). Además, el impacto del cambio climático sobre el costo de abastecimiento de agua aumentará en el futuro, no sólo por efecto de un cambio climático más pronunciado, sino también como consecuencia de una demanda creciente. [GTII 3.5.1]

En cierto acuífero de Tejas, el ingreso neto de los agricultores disminuiría entre un 16 y un 30% de aquí al decenio de 2030, y entre un 30 y un 45% de aquí al decenio de 2090, debido a la disminución del abastecimiento de agua de riego y al aumento de la demanda. En total, el beneficio neto obtenido del uso de agua (principalmente, de sus usos municipales e industriales) disminuiría en menos de un 2% en ese mismo periodo (Chen et al., 2001). [GTII 3.5.1]

Si, como consecuencia del cambio climático, fuese necesario sustituir el agua dulce del suministro por agua desalinizada, el costo derivado del cambio climático incluiría el costo promedio de desalinización, cifrado actualmente en aproximadamente 1,00 dólares por m^3 de agua de mar y en 0,60 dólares por m^3 de agua salobre (Zhou and Tol, 2005). El costo de cloración del agua dulce asciende a aproximadamente 0,02 dólares/m^3. En áreas costeras densamente pobladas de Egipto, China, Bangladesh, India y el sureste de Asia (FAO, 2003), los costos de desalinización pueden ser prohibitivos. En esas áreas, particularmente en Egipto, será necesario investigar nuevas tecnologías de desalinización para reducir costos, especialmente utilizando fuentes de energía no convencionales que conlleven un menor nivel de emisiones de gases invernadero. Además, la desalinización de aguas salobres puede mejorar el rendimiento económico de esos proyectos (véase la Sección 4.4.4). [GTII 3.5.1]

Los daños que ocasionen las crecidas en el futuro dependerán en gran medida de las pautas de asentamiento, de las decisiones sobre el uso de la tierra, de la calidad de las predicciones de crecida, de los sistemas de alerta y respuesta, y del valor de las estructuras y otras propiedades ubicadas en áreas vulnerables (Mileti, 1999; Pielke and Downton, 2000; Changnon, 2005), así como de los cambios inherentes al clima, como las variaciones en la frecuencia de los ciclones tropicales (Schiermeier, 2006). [GTII 3.5.2]

Es posible obtener una proyección de los impactos del cambio climático en términos de daños causados por las crecidas, basándose en una modelización de los cambios que experimentará el intervalo de recurrencia de las crecidas actuales en períodos de 20 o 100 años, conjuntamente con los daños causados por las crecidas actuales, determinados en base a las relaciones altura-caudal y a una descripción detallada de las propiedades. Con este tipo de metodología, se proyectó que, en promedio, el daño directo anual causado por las crecidas en tres cuencas de drenaje de Australia aumentaría de 4 a 10 veces si se duplicara la cantidad de CO_2 (Schreider et al., 2000). [GTII 3.5.2]

En Choi and Fisher (2003) se ha estimado el cambio de los daños causados por crecidas en determinadas regiones de Estados Unidos, en base a dos escenarios de cambio climático cuya precipitación anual media aumentaba en 13,5% y 21,5%, respectivamente, en tanto que la desviación típica de la precipitación anual se mantenía constante o aumentaba proporcionalmente a la media. Mediante un modelo econométrico estructural (de regresión) basado en una serie histórica de daños causados por crecidas con presencia de población, y utilizando como parámetros de predicción un indicador de riqueza y el valor de la precipitación anual, las proyecciones indicaron que el valor medio y la desviación típica de los daños causados por crecidas aumentarían más de un 140% al aumentar en un 13,5% el valor medio y la desviación típica de la precipitación anual. Esta estimación parece indicar que las pérdidas causadas por las crecidas están vinculadas principalmente a la exposición de la población a fenómenos naturales peligrosos, debido a la falta de infraestructura social, dado que la capacidad explicativa del modelo que incorpora población y riqueza es de un 82%, mientras que agregando la precipitación aumenta hasta un 89%. [GTII 3.5.2]

Se examinaron en otro estudio los posibles impactos de los cambios experimentados por los episodios de precipitación extrema sobre los causados por crecidas, utilizando para ello el modelo del Centro Canadiense del Clima y el escenario IS92a para el área metropolitana de Boston, en el nordeste de Estados Unidos (Kirshen et al., 2005b). Este estudio concluyó que, en ausencia de inversiones de adaptación, tanto el número de bienes dañados por las crecidas como el costo general de los daños se duplicarían de aquí a 2100 respecto de lo que cabría esperar si no hubiera cambio climático. Se concluyó también que los retrasos en los transportes por efecto de las crecidas entrañarían perjuicios cada vez mayores a lo largo de este siglo. El estudio concluyó que la *probable* magnitud económica de tales daños es suficientemente alta como para justificar grandes inversiones en estrategias de adaptación, como la protección universal de las llanuras inundables [GTII 3.5.2]

Corrobora también esos resultados un estudio sobre los daños causados por las crecidas fluviales y costeras en Inglaterra y

Gales en el decenio de 2080, que combina cuatro escenarios de emisiones con cuatro escenarios de cambio socioeconómico en un marco de referencia semejante al del IE-EE (Hall et al., 2005). En todos los escenarios, los daños por crecidas aumentarían a menos que se modificaran las políticas, las prácticas y las infraestructuras actuales de gestión de las crecidas. De aquí al decenio de 2080, se prevé que los gastos anuales totalicen 5.000 millones de libras esterlinas en un futuro planeta de tipo B1, frente a los 1.000 millones actuales, mientras que un cambio climático aproximadamente igual implicaría únicamente unos 1.500 millones de libras esterlinas de daños en un escenario de tipo B2. Los escenarios B1 y B2 dan resultados aproximadamente similares si se normalizan estas cifras en términos de producto interior bruto. En base a un escenario de tipo A1, los daños anuales ascenderían a 15.000 millones de libras esterlinas de aquí al decenio de 2050, y a 21.000 millones de libras de aquí al decenio de 2080 (Evans et al., 2004; Hall et al., 2005). [GTII 3.5.2]

En el futuro, una mayor duración de las crecidas causaría trastornos a la navegación en un mayor número de casos, y podrían acentuarse los regímenes de flujo bajos que restringen las operaciones de carga de los barcos. En el Rin, por ejemplo, el período restrictivo, cifrado actualmente en 19 días para las condiciones climáticas actuales, podría aumentar hasta 26-34 días en el decenio de 2050 (Middelkoop et al., 2001). [GTII 3.5.1]

Es *probable* que el cambio climático altere los caudales fluviales, produciendo impactos importantes sobre la disponibilidad de agua en el curso fluvial, particularmente para la generación de energía hidroeléctrica. En base a un modelo hidrológico de gran escala, se ha obtenido una estimación de los impactos sobre la energía hidroeléctrica en Europa. Los resultados indican que, de aquí al decenio de 2070, la capacidad de generación de electricidad de las plantas hidroeléctricas existentes al finalizar el siglo XX (en base al escenario de emisiones IS92a) aumentará entre un 15 y un 30% en Escandinavia y norte de Rusia, donde actualmente se genera entre el 19% (Finlandia) y cerca del 100% (Noruega) de la electricidad mediante energía hidráulica (Lehner et al., 2005). En Portugal, España, Ucrania y Bulgaria, que actualmente generan entre un 10% (Ucrania, Bulgaria) y un 39% de electricidad por medios hidráulicos, se obtienen disminuciones de entre 20 y 50% o superiores (Lehner et al., 2005). Para el conjunto de Europa (en que la energía hidroeléctrica representa un 20%), las proyecciones indican que la capacidad hidroeléctrica disminuiría entre un 7 y un 12% de aquí al decenio de 2070. [GTII 3.5.1]

En América del Norte, una disminución del flujo proveniente de los Grandes Lagos podría ocasionar importantes perdidas económicas, ya que disminuiría la generación de potencia hidroeléctrica en los ríos Niágara y San Lorenzo (Lofgren et al., 2002). Según una proyección del modelo CGCM1 basada en un calentamiento mundial de 2°C, la generación de energía hidroeléctrica en los ríos Niágara y San Lorenzo, en Ontario, disminuiría entre un 25 y un 35%, con unas pérdidas anuales de 240 a 350 millones de dólares canadienses a precios de 2002 (Buttle et al., 2004). Con el modelo climático HadCM2[18], sin embargo, se obtiene un pequeño aumento de la capacidad hidroeléctrica (+3%), que asciende a aproximadamente 25 millones de dólares canadienses anuales. Según otro estudio, que analizó diferentes escenarios de modelos climáticos, un calentamiento mundial de 2°C podría reducir la capacidad de generación de energía hidroeléctrica en el río San Lorenzo entre un 1 y un 17% (LOSLR, 2006). [GTII 3.5.1]

3.2.7 Áreas y sectores de agua dulce muy vulnerables al cambio climático

En numerosas regiones del mundo, los efectos del cambio climático sobre los recursos de agua dulce podrían afectar al desarrollo sostenible y poner en riesgo, por ejemplo, la reducción de la pobreza y la mortalidad infantil. Incluso con una gestión óptima del agua, es *muy probable* que no sea posible evitar sus efectos negativos sobre el desarrollo sostenible. En la Figura 3.4 pueden verse algunos casos reveladores a nivel mundial; en ellos, el impacto del cambio climático en relación con el agua dulce amenaza el desarrollo sostenible de las regiones afectadas. Para conseguir una gestión "sostenible" de los recursos hídricos suele aplicarse un método de gestión integrada (GIRH: véase la definición en la nota de pie de página 17). Sin embargo, la interpretación exacta de este término es muy variable. Todas las definiciones incluyen de una u otra manera el concepto de mantenimiento y mejora del medio ambiente, y particularmente del medio ambiente acuático, teniendo en cuenta la competencia entre usuarios, los ecosistemas de los cursos fluviales y los humedales. En términos más generales, contemplan también las implicaciones medioambientales de las políticas de gestión hídrica; por ejemplo, las implicaciones de las políticas de gestión hídrica respecto a la gestión de la tierra y, a la inversa, las implicaciones de las políticas de gestión de la tierra respecto al medio ambiente acuático. En el sector hídrico, la gobernanza es un componente importante de la gestión del agua si se desea conseguir unos recursos hídricos sostenibles en el marco de diversos sistemas políticos, socioeconómicos y administrativos (GWP, 2002; Eakin and Lemos, 2006). [GTII 3.7]

3.2.8 Incertidumbres de los impactos proyectados del cambio climático sobre los sistemas de agua dulce

Las incertidumbres respecto a los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos se derivan principalmente de la incertidumbre existente respecto a los aportes de precipitación y, en menor medida, de las incertidumbres respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero (Döll et al., 2003; Arnell, 2004), o respecto a las sensibilidades climáticas (Prudhomme et al., 2003), o de la sensibilidad inherente a los propios modelos hidrológicos (Kaspar, 2003). Otra fuente de incertidumbre relacionada con los efectos proyectados del cambio climático sobre los sistemas de agua dulce radica en la naturaleza, magnitud y éxito relativo de las iniciativas y

[18] Véase en el Apéndice I una descripción de estos modelos.

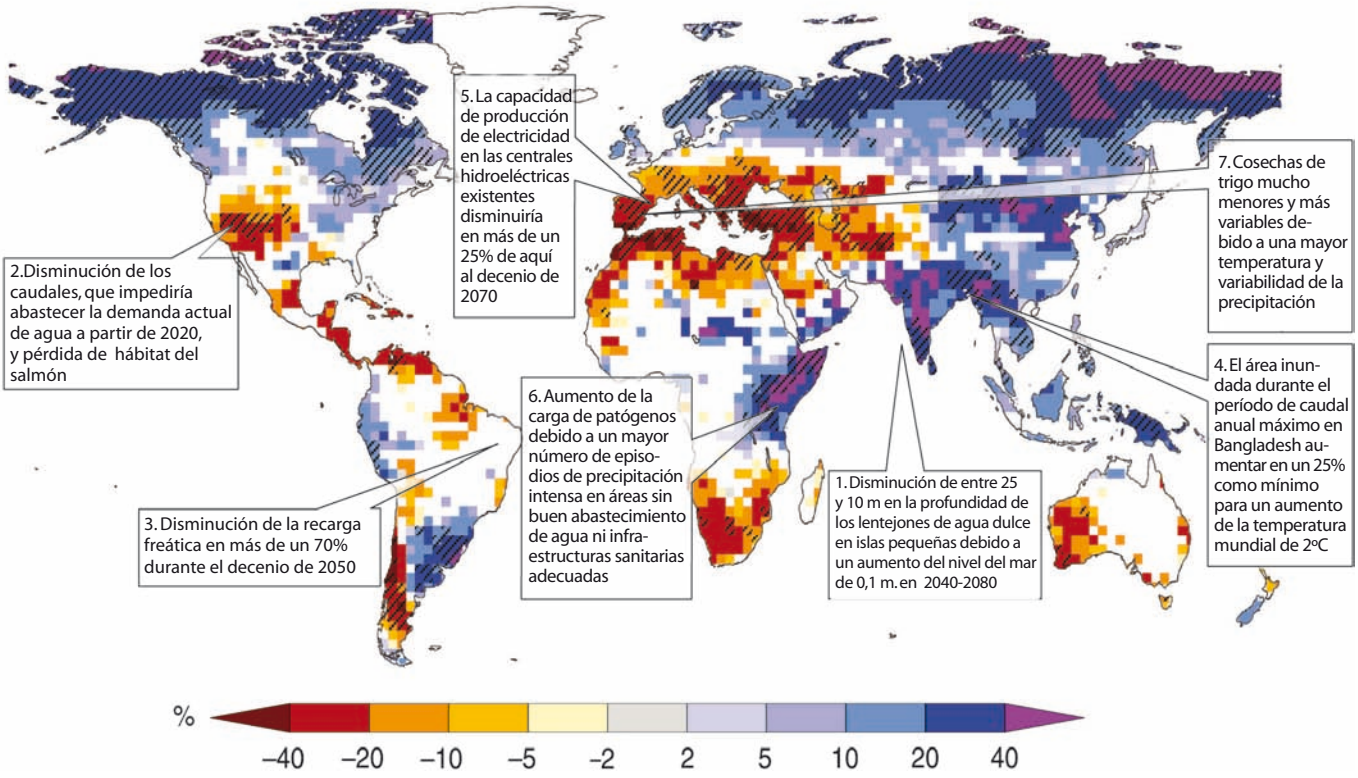


Figura 3.4: *Mapa indicativo de los impactos futuros del cambio climático relacionados con el agua dulce que amenazan el desarrollo sostenible de las regiones afectadas. 1: Bobba et al. (2000), 2: Barnett et al. (2004), 3: Döll and Flörke (2005), 4: Mirza et al. (2003), 5: Lehner et al. (2005), 6: Kistemann et al. (2002), 7: Porter and Semenov (2005). Con respecto al mapa del fondo, véase la Figura 2.10: Cambio medio de la escorrentía anual (%) mediante un agregado de modelos desde el presente (1980-1999) hasta 2090-2099 para el escenario de emisiones A1B del IE-EE (basado en Milly et al., 2005). Las áreas de color azul (rojo) denotan un aumento (disminución) de la escorrentía anual. [Basado en GTII, Figura 3.8, e IdS, Figura 3.5]*

medidas ya planificadas con carácter de intervenciones. Los impactos ilustrados en la Figura 3.4 se manifestarían de forma diferente en función de las medidas de adaptación adoptadas. Las consecuencias de las medidas de adaptación al cambio climático (por ejemplo, un mayor periodo de crecimiento de las cosechas, o una mayor regulación del caudal fluvial, junto con una mayor capacidad de embalsamiento) no han sido tenidas íntegramente en cuenta en las actuales predicciones. Una comparación entre diferentes fuentes de incertidumbre en las estadísticas de crecidas de dos cuencas del Reino Unido (Kay et al., 2006a) condujo a la conclusión de que la mayor fuente de incertidumbre era la estructura del MCG, seguida de los escenarios de emisiones y de la modelización hidrológica. En Prudhomme and Davies (2006) se llegaba a conclusiones similares respecto de a caudales medios mensuales, y respecto a las estadísticas de los niveles de caudal bajos en Gran Bretaña. [GTII 3.3.1]

Cuando se evalúa la incertidumbre respecto al impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos, un planteamiento probabilístico multimodelo es preferible a utilizar los resultados de un solo modelo climático. Desde las fechas del TIE, diversos estudios de impacto hidrológico han utilizado datos climáticos multimodelo (por ejemplo, Arnell (2004) a escala mundial, o Jasper et al. (2004) a escala de cuenca fluvial), pero no son muchos los estudios que incorporan evaluaciones probabilísticas. [GTII 3.3.1]

En numerosos estudios de impacto, las series temporales de valores climáticos observados son ajustadas en base a un cálculo del cambio experimentado por las variables climáticas, a fin de obtener escenarios coherentes con las condiciones actuales. El objeto de tales ajustes es reducir los impactos del error de modelización del clima de los MCG, en base al supuesto de que las discrepancias en la modelización del clima son de magnitud similar para los horizontes temporales actuales y futuros. Ello es particularmente importante en relación con las proyecciones de precipitación, en las cuales las diferencias entre los valores observados y los calculados mediante modelos del clima son sustanciales [GTII 3.3.1]

En los estudios de impacto hidrológico no se tienen en cuenta, en muchos casos, los cambios de la variabilidad interanual o diaria de las variables climáticas. Ello conlleva una subestimación de los cauces futuros y de las sequías, así como de la disponibilidad y necesidad de agua de riego. [GTII 3.3.1] Genera también incertidumbre la selección de indicadores y de valores de umbral para cuantificar el impacto del cambio climático sobre los recursos de agua dulce.

Para compensar el desajuste entre las escalas de reticulación espacial del MCG y de los procesos hidrológicos, se han desarrollado técnicas que adaptan la escala de los resultados

del MCG a una resolución espacial (y temporal) más fina. [GTI TIE, Capítulo 10] El supuesto básico de esas técnicas es que las relaciones estadísticas identificadas para el clima actual seguirán siendo válidas cuando cambien las condiciones futuras. Las técnicas de reducción de escala podrían permitir a los modelizadores incorporar la variabilidad diaria en los cambios futuros (por ejemplo, Diaz-Nieto and Wilby, 2005) y aplicar un marco de referencia probabilístico para generar información sobre los futuros caudales fluviales en la planificación de los recursos hídricos (Wilby and Harris, 2006). Estos planteamientos ayudan a comparar diferentes fuentes de incertidumbre que afectan a las proyecciones de los recursos hídricos. [GTII 3.3.1]

Los esfuerzos por cuantificar el impacto económico de los cambios relacionados con el clima sobre los recursos hídricos se ven dificultados por la falta de datos y por la circunstancia de que las estimaciones son muy sensibles tanto a los métodos de evaluación como a los diferentes supuestos en que se base la modificación de la estructura de disponibilidad de agua en relación con los diferentes tipos de usos de agua; por ejemplo, para usos agrícolas, urbanos o río adentro (Changnon, 2005; Schlenker et al., 2005; Young, 2005). [GTII 3.5]

3.3 Adaptación hídrica al cambio climático: consideraciones generales

Los gestores de recursos hídricos han hecho frente desde antiguo a una demanda de recursos hídricos variable. Hasta la fecha, han supuesto por lo general que la base de recursos naturales es razonablemente constante a medio plazo y que, por ello, la experiencia hidrológica pasada constituye una buena indicación de las condiciones futuras. El cambio climático pone en tela de juicio estos supuestos convencionales, y podría alterar la fiabilidad de los sistemas de gestión hídrica. [GTII 3.6.1] Las respuestas de los gestores al cambio climático abarcan el desarrollo de nuevas metodologías de evaluación y diseño de sistemas, así como métodos no estructurales basados en mecanismos tales como la Directiva Marco relativa al Agua, de la Unión Europea. [GTII 12.2.2]

En la Tabla 3.4 se resumen algunas opciones de adaptación orientadas a la oferta y a la demanda, diseñadas para asegurar el abastecimiento en condiciones promedias y de sequía. Las opciones orientadas a la oferta implican por lo general una mayor capacidad de almacenamiento o de extracción de los cursos hídricos y, por ello, pueden tener consecuencias adversas para el medio ambiente. Las opciones orientadas a la demanda pueden carecer de efectividad práctica, dado que están basadas en la acumulación de acciones de individuos. Algunas opciones pueden ser incompatibles con las medidas de mitigación, ya que implican un alto consumo energético, por ejemplo en el caso de la desalinización o del bombeo.

Es frecuente diferenciar entre adaptación autónoma y adaptación planificada. La *adaptación autónoma* es aquella que no constituye una respuesta consciente a los estímulos del clima, sino que se deriva de cambios introducidos para satisfacer nuevas demandas, objetivos y expectativas que, aunque no hayan sido ideados expresamente para compensar el cambio climático, pueden reducir las repercusiones de ese cambio. Este tipo de adaptación está muy extendido en el sector hídrico, aunque con diversos grados de efectividad en la lucha contra el cambio climático (véase la Tabla 3.5). [GTII 3.6.1] En América Latina se han implantado algunas prácticas de adaptación autónoma, entre ellas la gestión de transvases entre cuencas y la optimización del uso de agua [GTII 13.5.1.3] En África, las comunidades y los agricultores locales han desarrollado esquemas de adaptación para prever las lluvias, utilizando la experiencia acumulada. Los agricultores del Sahel utilizan también sistemas tradicionales de recuperación de agua para complementar el riego. [GTII 9.6.2.1, 9.5.1, Tabla 9.2]

La *adaptación planificada* es el resultado de decisiones de política deliberadas, y toma en cuenta específicamente el cambio y variabilidad del clima; hasta ahora, rara vez ha sido implementada. Los gestores hídricos de algunos países, entre ellos Países Bajos, Australia, Reino Unido, Alemania, Estados Unidos y Bangladesh, han empezado a abordar directamente las implicaciones del cambio climático como parte integrante de sus prácticas normales de gestión de crecidas y de abastecimiento de agua. [GTII 3.2, 3.6.5, 17.2.2] Esas adaptaciones han

***Tabla 3.4**: Algunas opciones de adaptación respecto a la oferta y demanda de agua (lista no exhaustiva). [GTII, Tabla 3.5]*

Oferta	Demanda
Prospección y extracción de agua subterránea	Mejora de la eficacia del uso de agua mediante agua reciclada
Mayor capacidad de almacenamiento mediante la construcción de reservorios y presas	Reducción de la demanda de agua de riego mediante modificaciones de los calendarios de cultivo, combinaciones de cultivos, métodos de riego y superficies plantadas
Desalinización de agua del mar	Reducción de la demanda de agua de riego mediante la importación de productos agrícolas: agua virtual
Ampliación del almacenamiento de agua de lluvia	Promoción de prácticas autóctonas para un uso sostenible del agua
Eliminación de vegetación invasiva no autóctona en áreas ribereñas	Mayor uso de mercados de agua para reasignar el agua a usos muy valorados
Transvase de agua	Mayor uso de incentivos económicos, como la medición de caudal o la determinación de precios, para incentivar la conservación de agua

consistido generalmente en modificaciones de métodos y procedimientos como, por ejemplo, las normas de diseño, o el cálculo de los márgenes de cambio climático. Se han implementado adaptaciones de ese tipo en el Reino Unido y en los Países Bajos para la prevención de crecidas (Klijn et al., 2001; Richardson, 2002), en el Reino Unido para el suministro de agua (Arnell and Delaney, 2006), y en Bangladesh para la planificación hídrica en general. [GTII 3.6.5, 17.2.2] Son muy raros los ejemplos de acciones "concretas" en el sector hídrico para adaptarse específica y únicamente a un clima en evolución. Ello se debe en parte a que el cambio climático podría ser sólo uno de los muchos factores que afectan a las estrategias y planes de inversión (y podría no ser el más importante en el marco de una planificación a corto plazo), y en parte a la incertidumbre de las proyecciones de futuros cambios hidrológicos.

Se hará necesaria una adaptación a los cambios de disponibilidad y calidad del agua, no sólo desde los organismos de gestión del agua, sino también desde los propios usuarios de los recursos hídricos. Éstos abarcarán la industria, los agricultores (particularmente los de regadío) y los consumidores. Pero, aunque se ha acumulado mucha experiencia en la adaptación a los cambios de la demanda y de la legislación, no es mucho lo que se sabe sobre la manera en que esas organizaciones e individuos conseguirán adaptarse a la evolución del clima.

En la Tabla 3.5 se indican algunas de las medidas de adaptación, planificadas o autónomas, actualmente utilizadas en el mundo, tal como fueron expuestas en los capítulos regionales del 4IE del GTII. La tabla no es exhaustiva, y es posible utilizar muy diversos indicadores en numerosos lugares.

Hay un *alto grado de confianza* en que la adaptación puede reducir la vulnerabilidad, particularmente a corto plazo. [GTII 17.2, 18.1, 18.5, 20.3, 20.8] Sin embargo, aunque la capacidad de adaptación está íntimamente ligada al desarrollo social y económico, no está igualmente distribuida en y entre las sociedades. La capacidad de los depauperados, de las personas mayores, de las mujeres, de los enfermos y de las poblaciones indígenas suele ser menor. [GTII 7.1, 7.2, 7.4, 17.3]

Es posible definir cinco tipos diferentes de límites en relación con la adaptación a los efectos del cambio climático. [GTII 17.4.2]

(a) *Físicos o ecológicos:* tal vez no será posible evitar los efectos adversos del cambio climático por medios técnicos o mediante cambios institucionales. Por ejemplo, tal vez no sea posible adaptarse cuando los ríos se han secado completamente. [GTII 3.6.4]

(b) *Técnicos, políticos o sociales:* por ejemplo, podría resultar difícil encontrar lugares aceptables para nuevos embalses, o que los usuarios reduzcan el consumo de agua. [GTII 3.6.4]

(c) *Económicos:* una estrategia de adaptación podría resultar, simplemente, demasiado costosa en comparación con los beneficios que reporte su implementación.

(d) *Culturales e institucionales:* esta categoría abarca el contexto institucional en que se enmarca la gestión del agua, la baja prioridad dada a la gestión del agua, la falta de coordinación entre organismos, las tensiones entre unas y otras escalas, la gobernanza ineficaz, y la incertidumbre sobre el cambio climático futuro (Ivey et al., 2004; Naess et al., 2005; Crabbe and Robin, 2006); todos ellos operan como límites institucionales a la adaptación. [GTII 3.6.4]

(e) *Cognitivos e informativos:* puede ocurrir, por ejemplo, que los gestores hídricos no sean conscientes del problema que plantea el cambio climático, o puede que le otorguen escasa prioridad en comparación con otros problemas. Una limitación informativa esencial es la falta de acceso a metodologías que permitan hacer frente con coherencia y rigor al cambio climático. [GTII 17.4.2.4]

El cambio climático es un desafío conceptual para los gestores hídricos, ya que introduce incertidumbres en las condiciones hidrológicas futuras. Puede resultar también muy difícil detectar una tendencia subyacente (Wilby, 2006), lo que significa que podría ser necesario tomar decisiones de adaptación antes de conocer claramente cómo están evolucionando realmente los regímenes hidrológicos. La gestión del agua ante una situación de cambio climático obliga, por ello, a adoptar un planteamiento basado en escenarios (Beuhler, 2003; Simonovic and Li, 2003). Así se está haciendo en países como Reino Unido (Arnell and Delaney, 2006) o Australia (Dessai et al., 2005). Sin embargo, hay dos problemas. En primer lugar, hay a menudo grandes diferencias entre unos y otros impactos según el escenario, por lo que los análisis deberán estar basados en más de un escenario. En segundo lugar, hay países en que los gestores hídricos demandan información sobre el grado de verosimilitud de los resultados definidos, a fin de tomar decisiones basadas en el conocimiento de los riesgos (por ejemplo, Jones and Page, 2001). Por ello, se están desarrollando técnicas que permitan construir distribuciones de probabilidad de determinados resultados, que obligarán a formular diversos supuestos acerca las distribuciones de probabilidad de los dinamizantes clave de la incertidumbre de los impactos (por ejemplo, Wilby and Harris, 2006). [GTII 3.6.4]

Una segunda metodología frente a la incertidumbre, conocida como "gestión adaptativa" (Stakhiv, 1998), implica un mayor uso de medidas de gestión hídrica relativamente robustas en relación con la incertidumbre. Tales instrumentos, en particular las medidas encaminadas a reducir la demanda de agua, han sido propugnados como medio para reducir al mínimo la exposición de un sistema al cambio climático (por ejemplo, en California: Beuhler, 2003). De modo similar, algunas estrategias de resistencia para gestionar las crecidas (por ejemplo, permitir que los ríos se desborden temporalmente, o reducir la exposición a los daños de las crecidas) son más robustas en términos de incertidumbre que las medidas tradicionales de protección frente a crecidas (Klijn et al., 2004; Olsen, 2006). [GTII 3.6.4]

3.3.1 Gestión integrada de los recursos hídricos

La gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH: véase la nota de pie de página 17) debería ser un instrumento para explorar medidas de adaptación al cambio climático pero, por el

Tabla 3.5: *Ejemplos prácticos de adaptación.*

Región	Medida de adaptación	Origen
África	• Predicciones estacionales y su producción, difusión, incorporación e integración en sistemas de apoyo a la toma de decisiones basada en modelos • Mejora de la resiliencia ante futuros periodos de sequía, que afecta a los actuales sistemas agrícolas de secano mediante reformas de la infraestructura física, en particular: sistemas de recogida de agua; construcción de presas; prácticas de conservación del agua y agrícolas; riego por goteo; desarrollo de variedades de cultivo resistentes a la sequía y de rápida maduración, y variedades de cultivos alternativas e híbridas	GTII 9.5, Tabla 9.2
Asia	Reformas de la infraestructura agrícola, en particular: • Abastecimiento de agua para pastizales • Sistemas de riego y uso/almacenamiento eficiente del agua de lluvia y de nieve • Sistema de intercambio de información sobre nuevas tecnologías a nivel nacional, regional e internacional • Acceso adecuado de pastores, pescadores y agricultores a las predicciones meteorológicas (lluvias y temperaturas) • Reciclado y reutilización de aguas de desecho municipales, por ejemplo en Singapur • Reducción del gasto y de las fugas de agua, y uso de metodologías orientadas al mercado para reducir el uso abusivo de agua	GTII 10.5, Tabla 10.8 GTII 10.5.2
Australia y Nueva Zelandia	• Iniciativa Nacional sobre el Agua • Planta de tratamiento para el abastecimiento de agua reciclada • Menores pérdidas por infiltración, y medidas de conservación • Sustitución de canales de riego por conducciones • Mejoras de la eficiencia de uso del agua y de su calidad • Prevención contra la sequía, nuevos precios del agua • Instalación de aljibes para el agua de lluvia • Desalinización de agua del mar	GTII 11.2, Tabla 11.2, Recuadro 11.2; Véase la Tabla 5.2, en este mismo volumen
Europa	• Estrategias basadas en la demanda (por ejemplo, conservación del agua doméstica, industrial y agrícola),reparación de las fugas de los depósitos municipales de agua de riego en áreas altas, y de diques en áreas bajas • Ampliación de la superficie de llanuras inundables, depósitos de emergencia para situaciones de crecida, reserva de terrenos para las aguas de crecida, y sistemas de alerta frente a crecidas, particularmente las repentinas • Medidas basadas en la oferta (por ejemplo, embalsamiento de ríos para formar presas en su cauce, reutilización de aguas de desecho y sistemas de desalinización, e intervención del precio del agua • Incorporación de estrategias regionales y de cuencas receptoras para incluir el cambio climático en los planes de gestión integrada del agua	GTII 12.5.1
América Latina	• Captación de agua de lluvia, y sistemas de almacenamiento • Programas de “autoorganización” para mejorar los sistemas de abastecimiento de agua en comunidades muy pobres • Prácticas de conservación del agua, reutilización del agua, reciclado del agua modificando los procesos industriales, y optimización del uso de agua	GTII 13.2.5.3, Recuadro 13.2, 13.5.1
América del Norte	• Conservación más eficaz de agua, y labranza de conservación • Inversiones en sistemas de conservación de agua y nuevas instalaciones de suministro y conservación del agua • Modificación de la política de seguros nacionales contra crecidas en Estados Unidos para limitar el riesgo de múltiples reclamaciones en situaciones de crecida • Elevación obligatoria de las viviendas que acumulen dos reclamaciones relacionadas con crecidas en 2,5 cm por encima del nivel de crecida de un período de retorno de 100 años, o reubicación obligatoria • Limpieza de los sistemas de drenaje y sustitución de los sistemas generales de alcantarillado para cumplir criterios más extremos de las crecidas con período de retorno de 5 años • Almacenamiento en aljibes del agua de lluvia recogida en los tejados para facilitar la infiltración, y aumento del almacenamiento en depresiones y en retenciones urbanas	GTII 14.2.4 GTII 14.5.1
Regiones polares	• Una estrategia de adaptación que se ha utilizado ya con éxito para contrarrestar el impacto de la desecación de los pantanos en los deltas implica controlar la liberación del agua de los embalses para facilitar la formación de atascos de hielo, con las consiguientes crecidas • Regulación del caudal de generación hidroeléctrica, estrategias de captación y métodos de acceso a agua potable • Estrategias para reducir los riesgos crecientes/decrecientes vinculados al agua dulce (por ejemplo, estructuras de protección a fin de reducir los riesgos de crecida o de aumentar las crecidas para los sistemas acuáticos)	GTII 15.6.2 GTII 15.2.2.2
Islas pequeñas	• Plantas desalinizadoras • Grandes depósitos de almacenamiento, y mejora de la captación de agua • Protección de las aguas subterráneas, mayor acopio de agua de lluvia y mayor capacidad de almacenamiento, destilación solar, gestión de las aguas de tempestad, y asignación de áreas de recarga de agua subterránea en las islas	GTII 16.4.1, Recuadro 16.5

momento, se encuentra en sus comienzos. Algunas estrategias eficaces de gestión integrada del agua consisten en: averiguar los puntos de vista de la sociedad, reformular los procesos de planificación, coordinar la gestión de la tierra y de los recursos hídricos, reconocer los vínculos entre la cantidad y la calidad del agua, hacer un uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas, proteger y restaurar los sistemas naturales, y tener presente el cambio climático. Además, las estrategias integradas consideran de forma explícita los obstáculos al flujo de información. No siempre es necesario un planteamiento totalmente integrado, sino que el grado de integración adecuado dependerá de hasta qué punto facilita la actuación efectiva en respuesta a necesidades específicas (Moench et al., 2003). En particular, un planteamiento integrado de la gestión del agua podría contribuir a resolver conflictos entre usuarios que compiten por ella. En diversos lugares del oeste de Estados Unidos, los gestores hídricos y diversos grupos de interés han estado experimentando métodos para promover una toma de decisiones basada en el consenso. Estas actuaciones incluyen iniciativas locales de acopio de agua e iniciativas estatales o federales para incorporar a las partes interesadas en los procesos de planificación (por ejemplo, US Department of the Interior, 2005). Estas iniciativas podrían facilitar las negociaciones entre grupos de interés en situación de competencia, a fin de lograr una resolución de los problemas mutuamente satisfactoria que considere una amplia diversidad de factores. En cuencas de gran tamaño, como la del río Colorado, tales factores abarcan diversas escalas temporales y espaciales (Tabla 3.6). [GTII 3.6.1, Recuadro 14.2]

Tabla 3.6: *Cuestiones a diversa escala relativas a la gestión integrada del agua en la cuenca del río Colorado (Pulwarty and Melis, 2001). [GTII, Tabla 3.4]*

Escala temporal	Cuestión
Indeterminada	Caudal necesario para proteger especies en peligro
Largo plazo	Asignación entre cuencas y asignación entre Estados
Decenal	Obligación de abastecimiento de la cuenca superior
Anual	Cumplimiento de normas en el lago Powell para igualar el almacenamiento con el del lago Mead
Estacional	Meses de máximo calor y máximo frío
Diaria a mensual	Operaciones de control de crecidas
Horaria	Generación de energía por la Western Area Power Administration
Escala espacial	
Mundial	Influencias climáticas, Parque Nacional del Gran Cañón
Regional	Expropiación previa (por ejemplo, Upper Colorado River Commission)
Estatal	Diferentes acuerdos sobre comercialización del agua para distritos dentro y fuera del Estado
Municipal y comunitaria	Calendario, tratamiento, uso doméstico del agua

4

El cambio climático y los recursos hídricos, por sistemas y sectores

4.1 Ecosistemas y biodiversidad

4.1.1 Contexto

La temperatura y los regímenes de humedad son algunas de las variables clave que determinan la distribución, crecimiento, productividad y reproducción de plantas y animales. Los cambios hidrológicos pueden influir en las especies de diversas maneras, pero los procesos mejor conocidos son los que relacionan la disponibilidad de humedad con los umbrales intrínsecos que gobiernan los procesos metabólicos y reproductivos (Burkett et al., 2005). Los cambios del clima previstos para los próximos decenios tendrán efectos diversos sobre la disponibilidad de humedad, en forma de alteraciones de los periodos de aparición y del volumen de los caudales fluviales, disminuciones del nivel de agua en numerosos humedales, extensión de los lagos de termokarst del Ártico, o disminuciones de la disponibilidad de agua de niebla en los bosques de montaña tropicales.

Las tendencias mundiales de la precipitación, de la humedad, de la sequía y de la escorrentía observadas durante el último siglo se resumen en el Capítulo 3 del 4IE del GTI. Aunque los cambios de la precipitación durante el último siglo indican una variación regional considerable [GTI, Figura 3.14], revelan también algunas tendencias importantes y muy notables. En términos generales, la precipitación aumentó en el Hemisferio Norte entre 1900 y 2005, pero la tendencia a una sequía más generalizada aumentó paralelamente en numerosas y extensas regiones de los trópicos y del Hemisferio Sur, singularmente en el Sahel africano y sur de África, América Central, sur de Asia y Australia oriental. [GTI 3.3.5]

4.1.2 Proyecciones de cambio hidrológico, y sus implicaciones respecto a la biodiversidad mundial

Las estimaciones del cuarto Informe de Evaluación del IPCC sobre el calentamiento mundial se sitúan entre 0,5°C en el Hemisferio Norte y 2°C en la región polar septentrional de aquí a 2030, en base a los escenarios Bl, Al y A2 del IE-EE, de los cuales Bl es el que contempla el calentamiento más elevado. Aunque los modelos simulan el aumento mundial medio de la precipitación, hay una variación espacial y temporal importante. Los modelos de circulación general (MCG) proyectan un aumento de la precipitación en latitudes altas, aunque la magnitud de este incremento varía según el modelo, y una disminución de la precipitación en numerosas áreas subtropicales y de latitudes medias, en ambos hemisferios. [GTI, Figuras 10.8 y 10.12] Las proyecciones indican que durante los próximos decenios la precipitación tenderá a concentrarse en episodios más intensos, separados por periodos más prolongados de precipitación escasa. [GTI 10.3.6.1] El aumento del número de días secos consecutivos sería más apreciable en América del Norte y Central, Caribe, nordeste y suroeste de América del Sur, Europa meridional y Mediterráneo, sur de África, y oeste de Australia. [GTI, Figura 10.18] En regiones tropicales y subtropicales, los impactos del calentamiento y el cambio de las pautas de precipitación tienen implicaciones importantes respecto a la biodiversidad mundial, ya que la diversidad de especies disminuye generalmente con la distancia respecto al Ecuador.

Los cambios hidrológicos proyectados por el 4IE del GTI para el siglo XXI (véase la Sección 2) afectarían *muy probablemente* a la diversidad biológica en todos los continentes. En la mayoría de las regiones del mundo se han detectado ya impactos sobre las especies. [GTII 1.3, 4.2] Un examen de 143 estudios publicados (Root et al., 2003) indica que la flora y la fauna están evidenciando ya cambios discernibles que concuerdan con las tendencias climáticas del siglo XX. De esos cambios, un 80% aproximadamente concuerda con el cambio observado de las temperaturas, aunque teniendo presente que la temperatura podría ejercer también una influencia sobre las especies, al modificar la disponibilidad de humedad. [GTII 1.4.1]

Las respuestas de los ecosistemas a los cambios hidrológicos implican a menudo complejas interacciones entre procesos bióticos y abióticos. Los agregados de especies en comunidades ecológicas reflejan el hecho de que esas interacciones y respuestas no siempre son lineales, lo que agrava la dificultad de proyectar unos resultados ecológicos específicos. Dado que la cronología de las respuestas no siempre es sincrónica en especies pertenecientes a diferentes grupos taxonómicos, podría sobrevenir un desacoplamiento entre especies y fuentes de alimentación, una alteración de las relaciones simbióticas o facilitativas entre especies, o cambios en la competición entre especies. Debido a una conjunción de respuestas diferenciales entre especies y a interacciones que teóricamente podrían establecerse en cualquier punto de una red alimentaria, algunas de las comunidades ecológicas actuales podrían fácilmente disgregarse en el futuro (Root and Schneider, 2002; Burkett et al., 2005). [GTII 1.3.5.5, 4.2.2, 4.4]

Debido a los efectos combinados de la temperatura y del estrés hídrico, se extinguirían algunos anfibios y otras especies acuáticas en Costa Rica, España y Australia (Pounds et al., 2006). [GTII, Tabla 4.1] El desecamiento de humedales en el Sahel afectará al desplazamiento de las aves que los utilizan como puntos de tránsito en su migración hacia los lugares de cría, en el Hemisferio Norte. En el sur de África acontecería un nivel de extinción sin precedentes, tanto en especies animales como vegetales. [GTII Tabla 9.1] En los bosques de montana, gran número de especies dependen de la neblina como fuente de agua: el calentamiento mundial elevará la base de nubes y afectará a las especies que dependen de este recurso. [GTII 13.4.1] De todos los ecosistemas, sin embargo, los ecosistemas acuáticos de agua dulce parecen tener la menor proporción de especies amenazadas de extinción por el cambio climático (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005b). [GTII 3.5.1]

4.1.3 Impactos de los cambios hidrológicos sobre los principales tipos de ecosistema

4.1.3.1 Lagos y cursos de agua

El calentamiento mundial producirá impactos diversos en los lagos: un dilatado periodo de crecimiento en latitudes altas,

una mayor estratificación con pérdida de nutrientes en aguas superficiales, menor abundancia de oxígeno hipolimnético (por debajo de la termoclina) en aguas profundas, estratificación de aguas lacustres, y mayor extensión geográfica de numerosas plantas acuáticas invasivas. Se espera un aumento de nivel del agua en lagos de latitudes altas, donde los modelos climáticos apuntan a un aumento de la precipitación, y una disminución en latitudes medias o bajas. Los lagos endorreicos (terminales o cerrados) son los más vulnerables a los cambios de clima, debido a su sensibilidad a las alteraciones del balance entre el insumo hídrico y la evaporación. En tales lagos, la alteración del insumo hídrico podría tener efectos muy notables y, en algunas condiciones climáticas, el lago podría desaparecer completamente. El mar de Aral, por ejemplo, ha experimentado una retracción notable, debido a un mayor volumen de extracción aguas arriba con fines de irrigación; y, en China, el nivel del lago Qinghai ha descendido tras disminuir la precipitación en la cuenca de captación. [GTII TIE 4.3.7]

La permanencia de la cubierta de hielo sobre lagos y ríos en latitudes medias y altas se ha reducido en aproximadamente dos semanas durante el siglo pasado en el Hemisferio Norte. [GTI TIE RRP] El aumento de la temperatura del agua en verano puede intensificar la anoxia en los lagos estratificados y la tasa de liberación de fósforo de los sedimentos del fondo del lago, y provocar la floración de algas, modificando la red alimentaria acuática. [GTII 4.4.8] En los lagos tropicales, un aumento unitario de la temperatura se traduce en una diferencia de densidad proporcionalmente mayor que en lagos con temperaturas menores. Por ello, las temperaturas tropicales proyectadas [GTI, Capítulos 10 y 11] darían lugar a una mayor estratificación térmica, produciendo anoxia en las capas profundas de los lagos y un agotamiento de los nutrientes en aguas poco profundas. La menor concentración de oxígeno reduciría, en términos generales, la diversidad de las especies acuáticas, particularmente en los casos en que la calidad del agua ha sido deteriorada por la eutrofización. [CCB 4.4]

Una menor concentración de oxígeno alteraría los agregados bióticos, la biogeoquímica y la productividad general de lagos y cursos de agua. En latitudes medias y altas, las temperaturas óptimas para numerosos grupos taxonómicos de aguas frías son inferiores a 20°C. Habría extinciones de especies si las temperaturas estivales cálidas y la anoxia eliminasen los refugios de aguas frías y profundas. En el sur de la Gran Planicie de Estados Unidos, las temperaturas del agua se están acercando ya a unos límites letales para numerosas especies autóctonas de peces de agua dulce. La rapidez de descomposición de la materia orgánica aumenta con la temperatura, acortando así el periodo durante el cual los invertebrados acuáticos disponen de detritus. [CCB 6.2] Las especies foráneas invasivas representan un gran desafío para la biodiversidad autóctona en los ecosistemas acuáticos. [GTII 4.2.2] El aumento de la temperatura mundial tenderá a extender hacia los polos el ámbito geográfico de numerosas plantas acuáticas invasivas, como *Eichhornia* o *Salvinia*. [IRCC 2.3.6]

Los efectos del calentamiento sobre los sistemas ribereños podrían ser más intensos en las regiones húmedas, en que los caudales son menos variables y las interacciones biológicas controlan la abundancia de organismos. La desecación de los cauces de arroyos y lagos durante largos periodos de tiempo podría reducir la productividad de los ecosistemas debido a la restricción de su hábitat acuático, sumada a una menor calidad del agua, como consecuencia de la disminución de oxígeno y de la mayor concentración de poluyentes. En las áreas semiáridas del planeta, la reducción de los caudales estacionales y la total desecación de los lagos (por ejemplo en África, en el Sahel) puede tener impactos graves sobre los servicios ecosistémicos, y en particular sobre el mantenimiento de la biodiversidad. [CCB 6.7]

Actualmente, la riqueza en especies es máxima en los sistemas de agua dulce del centro de Europa, y disminuye en el norte y en el sur debido a las sequías periódicas y a la salinización (Declerck et al., 2005). Agregados de MCG utilizados para el 4IE del IPCC indican un contraste entre el sur y el norte respecto a la precipitación, con aumentos en el norte y disminuciones en el sur. [GTI 11.3.3.2] Un aumento de la escorrentía y un menor riesgo de sequía beneficiarían posiblemente a la fauna de los sistemas acuáticos en el norte de Europa, mientras que una menor disponibilidad de agua en el sur podría producir el efecto opuesto (Alvarez Cobelas et al., 2005). [GTII 12.4.6]

4.1.3.2 Humedales de agua dulce

El alto grado de variabilidad estructural de los sistemas de humedal se debe principalmente a su propia hidrología, que se manifiesta tanto en ciénagas de turbera, en los bosques boreales de latitudes altas, como en humedales monzónicos tropicales (por ejemplo los de Kakadu, en Australia), o en humedales de latitudes altas en las montañas del Tibet y de los Andes. El cambio climático tendrá efectos más pronunciados en los humedales interiores de agua dulce, debido a la alteración de la precipitación y a perturbaciones más frecuentes o intensas (sequías, tempestades, inundaciones). Aumentos relativamente pequeños de la variabilidad de precipitación pueden afectar en gran medida a la flora y fauna de los humedales en diferentes etapas de su ciclo vital (Keddy, 2000). [GTII 4.4.8] En conjunto, se espera que el calentamiento del clima inicie una tendencia a la sequía en los ecosistemas de humedal. Esta influencia del cambio climático, en gran parte indirecta, que producirá alteraciones en el nivel del agua, sería el principal agente del cambio de los ecosistemas de humedal, y enmascararía los impactos producidos por el aumento de la temperatura y por una mayor duración de las temporadas de crecimiento en las turberas boreales y subárticas (Gorham, 1991). Las áreas monzónicas estarán más expuestas a los efectos de unas lluvias más intensas, con una menor duración de las temporadas de lluvia, lo cual favorecerá las crecidas y la erosión en las cuencas y en los propios humedales. [GTII TAR 5.8.3]

Los procesos de humedal dependen en su mayoría de la hidrología a nivel de cuenca, que puede resultar alterada por los cambios de uso de la tierra y por las prácticas de gestión de los recursos hídricos de superficie. [GTII TIE 5.RE] La recarga de los sistemas freáticos locales y regionales, la posición del

humedal respecto a la topografía local y el gradiente de los sistemas freáticos regionales de mayor tamaño son también factores críticos para determinar la variabilidad y estabilidad del almacenamiento de acuosidad en los humedales en zonas climáticas en que la precipitación no es mucho mayor que la evaporación (Winter and Woo, 1990). El cambio del nivel de recarga en el exterior del humedal podría ser tan importante para el destino del humedal en condiciones climáticas cambiantes como los cambios de la precipitación y de la evaporación en el propio humedal (Woo et al., 1993). [GTII TIE 5.8.2.1] Así, podría resultar muy difícil, si no imposible, adaptarse a las consecuencias de los cambios de disponibilidad de agua que indican las proyecciones. [GTII TIE 5.8.4] Debido en parte a su limitada capacidad de adaptación, se considera que los humedales se encuentran entre los ecosistemas más vulnerables al cambio climático. [GTII 4.4.8]

Los humedales suelen albergar una rica diversidad biológica. Muchos de ellos han sido designados reservas naturales a nivel mundial (los parajes de Ramsar, o del Patrimonio Mundial). Su pérdida podría causar un número considerable de extinciones, particularmente de anfibios y reptiles acuáticos. [GTII 4.4.8] Según el TIE, las ciénagas ombotróficas ('alimentadas por nubes') de las regiones ártica y subártica y los humedales cóncavos con cuencas de pequeño tamaño son los sistemas acuáticos más vulnerables al cambio climático. [GTII TIE 5.8.5] Más recientemente, sin embargo, el 4IE parece indicar un grado de vulnerabilidad muy alto en muchos otros tipos de humedales, como los humedales monzónicos de India y Australia, las turberas boreales, los humedales de pradera bacheados de América del Norte, y los humedales de los Grandes Lagos de África. [GTII 4.4.8, 4.4.10] A menos que cambien las pautas y rutas de migración estacional de numerosas especies de humedal, muchas especies estarán amenazadas de extinción. [GTII 4.4.8] En los hábitats esenciales se podría plantear una restauración en pequeña escala, si se dispone de agua suficiente. [GTII TIE 5.8.4]

Debido a los cambios hidrológicos que conllevaría el calentamiento atmosférico, la superficie cubierta por los humedales ha aumentado en algunas regiones. En la región ártica, la fusión de permafrost está generando nuevos humedales. [GTII 1.3] Las características del termokarst, producidas por la fusión del hielo subterráneo en regiones cubiertas de permafrost, pueden desplazar los biotipos árticos por sobresaturación o desecación (Hinzman et al., 2005; Walsh et al., 2005). Se ha descubierto un extenso proceso de formación de termokarst en América del Norte, cerca de Council, Alaska (Yoshikawa and Hinzman, 2003) y en la Yakutia central (Gavriliev and Efremov, 2003). [GTI 4.7.2.3] Inicialmente, la fusión de permafrost crea depresiones aptas para nuevos humedales y ciénagas interconectados por nuevos canales de drenaje. A medida que el permafrost se sigue derritiendo, las aguas superficiales se introducen en los sistemas de agua subterránea, ocasionando así una pérdida de agua dulce en el hábitat. [GTII 15.4.1.3] El calentamiento puede haber causado ya pérdidas de superficie de humedal, vinculadas al crecimiento de los lagos del delta del Yukon durante el pasado siglo (Coleman and Huh, 2004). [GTII 15.6.2]

Un pequeño aumento de la variabilidad de los regímenes de precipitación puede afectar de manera importante a la flora y fauna de los humedales (Keddy, 2000; Burkett and Kusler, 2000). En los humedales estacionales, como las charcas primaverales, la biodiversidad pueden resultar muy afectada por los cambios de precipitación y de humedad del suelo (Bauder, 2005). En las regiones monzónicas, periodos prolongados de sequía pueden ocasionar la 'terrificación' de los humedales, como se ha observado en el Parque Nacional Keoladeo (Chauhan and Gopal, 2001). [GTII 4.4.8]

4.1.3.3 Costas y estuarios

Los cambios en la cronología y volumen de la escorrentía de agua dulce afectarán a la salinidad, a la disponibilidad de sedimentos y nutrientes y a los regímenes de humedad de los ecosistemas costeros. El cambio climático puede afectar a cada una de esas variables si llega a alterar la precipitación y la escorrentía local o, lo que es más importante, la escorrentía proveniente de las cuencas receptoras que nutren la zona costera. [GTII 6.4.1.3] La hidrología ejerce una fuerte influencia sobre la distribución de comunidades vegetales de los humedales costeros, generalmente estructurada, desde el mar hacia la tierra, en especies de agua salada, de agua salobre y de agua dulce. [GTII 6.4.1.4]

Los impactos del aumento del nivel del mar sobre la fisionomía de la costa dependen de la región costera, dado que la magnitud del aumento del nivel del mar no es uniforme en todo el mundo [GTI 5.5.2] y que algunas regiones costeras experimentan una elevación o un hundimiento resultantes de procesos que no dependen del cambio climático. En particular, la extracción de agua subterránea, petróleo o gas, y la isostasia (adaptación de la superficie de la Tierra a los cambios de masa superficial en escalas temporales geológicas debido, por ejemplo, a una variación de la masa del manto de hielo tras la última desglaciación). Además de los cambios de elevación a lo largo de la costa, otros factores con origen en tierra firme pueden modificar el efecto neto del aumento del nivel del mar sobre los ecosistemas costeros. Los ecosistemas naturales presentes en los humedales se han fragmentado, y el arrastre de agua, sedimentos y nutrientes hacia la costa ha resultado alterado (Nilsson et al., 2005). El cambio de uso de la tierra y las modificaciones hidrológicas han producido impactos aguas abajo, además de influencias localizadas, y en particular el desarrollo humano en las costas. La erosión ha acrecentado la cantidad de sedimento que llega a la costa; la carga en suspensión del río Huanghe (Amarillo), por ejemplo, ha aumentado de 2 a 10 veces en los últimos 2.000 años (Jiongxin, 2003). Los embalses y las canalizaciones, en cambio, han reducido en gran medida la aportación de sedimentos a la costa en otros ríos por retención de sedimento en las presas (Syvistki et al., 2005); este impacto predominará probablemente durante el siglo XXI. [GTII 6.4]

Los resultados obtenidos por Milly et al. (2005) mediante un agregado de modelos climáticos indican que en los próximos 50 a 100 años el cambio climático acrecentará el caudal hacia las aguas costeras en la región ártica, norte de Argentina y sur de Brasil, partes del subcontinente indio y China, y lo reducirá

en el sur de Argentina y Chile, oeste de Australia y oeste y sur de África, y en la cuenca del Mediterráneo. [GTII 6.3.2; véase la Figura 2.10 de este volumen] Si disminuyera el caudal fluvial, aumentaría la salinidad de los estuarios costeros y de los humedales, y disminuiría la cantidad de sedimentos y nutrientes aportados a la costa. En áreas costeras en que disminuya el caudal, la salinidad tenderá a extenderse aguas arriba, alterando así la distribución de especies de plantas y animales y la disponibilidad de agua dulce para usos humanos. El aumento de la salinidad de las aguas costeras desde 1950 ha contribuido a la reducción de los bosques de palmeras en Florida (Williams et al., 1999) y de los bosques de cipreses calvos en Luisiana (Krauss et al., 2000). El aumento de la salinidad ha desempeñado también un papel en la expansión de los manglares en marismas adyacentes a los terrenos pantanosos de Florida (Ross et al., 2000) y a lo largo del sureste de Australia durante los últimos 50 años (Saintilan and Williams, 1999). [GTII 6.4.1.4] La intrusión de agua salada por efecto conjunto del aumento del agua del mar, de la disminución de los caudales fluviales y de una mayor frecuencia de sequía alteraría a lo largo del siglo las pesquerías costeras que dependen de los estuarios en partes de África, Australia y Asia. [GTII 6.4.1.3, 9.4.4, 10.4.1, 11.4.2]

Los deltas costeros son particularmente vulnerables a los cambios de escorrentía y al transporte de sedimento, que afectan a su capacidad para contrarrestar los impactos físicos del cambio climático. En Asia, donde las actividades humanas ocasionaron un aumento de la cantidad de sedimento en los principales ríos, la construcción de presas aguas arriba está impidiendo el aporte de sedimento a numerosos deltas, con el consiguiente aumento generalizado de la erosión costera (Li et al., 2004; Syvitski et al., 2005; Ericson et al., 2006). [GTII 6.2.3, 6.4.1] En la planicie del delta del río Mississippi, en el sureste de Luisiana, la escasez de sedimento por efecto de la intervención humana en los procesos de delta y el consiguiente aumento de la salinidad y de los niveles del agua en las marismas costeras sobrevinieron tan rápidamente que, entre 1978 y 2000, se convirtieron en mar abierto 1.565 km^2 de marismas costeras intermareas y tierras bajas adyacentes (Banas et al., 2003). [GTII 6.4.1]

Algunos de los impactos potenciales más graves del cambio climático en los estuarios podrían estar vinculados a la alteración de las características físicas de su composición, producida por los cambios en la escorrentía de agua dulce (Scavia et al., 2002). Los aportes de agua dulce a los estuarios influyen en el tiempo de permanencia del agua, en el suministro de nutrientes, en la estratificación vertical, en la salinidad y en el control de las tasas de crecimiento de fitoplancton (Moore et al., 1997). En entornos marinos poco profundos cercanos a la costa, los cambios del caudal fluvial inducirán cambios en la turbidez, en la salinidad, en la estratificación y en la disponibilidad de nutrientes (Justic et al., 2005). [GTII 6.4.1.3]

4.1.3.4 Ecosistemas de montaña

La zonificación de los ecosistemas a lo largo de las pendientes montañosas está inducida por la temperatura y por la humedad del suelo. Estudios recientes (Williams et al., 2003; Pounds and Puschendorf, 2004; Andreone et al., 2005; Pounds et al., 2006) apuntan a un riesgo desproporcionado de extinción en los ecosistemas de montaña y, en particular, en especies endémicas. [GTII 4.4.7] Numerosas especies de anfibios, pequeños mamíferos, peces, pájaros y plantas son muy vulnerables a los cambios actuales y proyectados del clima que alteran su nicho de montaña, extremadamente especializado. [GTII 1.3.5.2, 4.4.7, 9.4.5]

En muchos humedales que dependen de la fusión de la nieve, el aumento de la temperatura ha inducido un salto en la magnitud y periodicidad de los episodios hidrológicos. En América del Norte y Eurasia se ha observado una tendencia al adelanto de las fechas de caudal fluvial máximo en primavera y un aumento de los caudales de base durante los inviernos. [GTII 1.3.2] Entre 1949 y 2004 aumentó la proporción de precipitación anual en forma de lluvia respecto a la de nieve en el 74% de las estaciones meteorológicas estudiadas en las montañas del oeste de Estados Unidos (Knowles et al., 2006). Desde los años 70, el espesor de la nieve en invierno y la cubierta de nieve en primavera han disminuido en Canadá, particularmente en el oeste, donde la temperatura del aire ha aumentado apreciablemente (Brown and Braaten, 1998). La cubierta de nieve vernal y estival está disminuyendo en el oeste de Estados Unidos (Groisman et al., 2004). En agua equivalente, la nieve del primer día de abril ha disminuido un 15-30% desde 1950 en las montañas occidentales de América del Norte, particularmente en elevaciones inferiores durante la primavera, debido en mayor medida al calentamiento que a los cambios de la precipitación (Mote et al., 2005). En las montañas del oeste de Estados Unidos, que dependen del deshielo, los valores máximos del caudal fluvial se alcanzaron, en 2002, entre 1 y 4 semanas antes que en 1948 (Stewart et al., 2005). [GTII 14.2.1]

La duración y espesor de la cubierta de nieve, frecuentemente relacionados con la temperatura media y con la precipitación (Keller et al., 2005; Monson et al., 2006), son factores clave en numerosos ecosistemas alpinos (Körner, 1999). El déficit de nieve expone a plantas y animales a los efectos de las heladas, e influye en el suministro de agua en primavera (Keller et al., 2005). Cuando los cambios en las pautas de nieve alteran los desplazamientos de los animales, como ha sucedido en Colorado (Inouye et al., 2000), podría aumentar la mortalidad de la fauna silvestre por efecto de un desajuste entre ésta y el medio ambiente. [GTII 4.4.7] Para cada aumento de 1°C de temperatura, la duración de la cubierta de nieve disminuiría en varias semanas en las elevaciones medias de los Alpes europeos. Es *virtualmente cierto* que la flora de montaña europea experimentará grandes cambios en respuesta al cambio climático, siendo la diferente duración de la cubierta de nieve un factor más importante que los impactos directos de la temperatura sobre el metabolismo animal. [GTII 12.4.3]

Los cambios en la escorrentía por efecto del deshielo de los glaciares tienen efectos notables sobre los servicios ecosistémicos. La biota de los arroyos y humedales que se alimentan del deshielo de los glaciares es muy vulnerable a la extirpación. [GTII 1.3.1, 3.2, 3.4.3]

4.1.3.5 Bosques, sabanas y pastizales

A medida que se calienta el clima, la disponibilidad de agua deviene un factor clave en la reestructuración de los sistemas boscosos y de pastizal. Se sabe que el cambio climático aumenta la probabilidad de que los incendios incontrolados sean más extensos y frecuentes, induciendo también estrés en los árboles, que intensifica indirectamente los efectos de esas perturbaciones. En los trópicos y en latitudes y altitudes altas, numerosos ecosistemas forestales son crecientemente susceptibles a la sequía y a los cambios concomitantes en relación con incendios, plagas y enfermedades. [GTII, Capítulo 4, 5.1.2, 13.4] Se ha estimado que hasta un 40% de la selva amazónica podría resultar afectado por una disminución incluso pequeña de la precipitación (Rowell and Moore, 2000). Las simulaciones mediante multimodelos MCG de los cambios de precipitación en América del Sur durante los próximos 100 años apuntan a una disminución sustancial (un 20% o más) de la precipitación en la cuenca amazónica durante los meses de junio, julio y agosto, frente a un ligero aumento (un 5%, aproximadamente) durante diciembre, enero y febrero. [GTI 11.6.3.2] Estos cambios de precipitación, acoplados a un aumento de la temperatura, denotan la sustitución de algunas selvas amazónicas por ecosistemas más resistentes a los múltiples estreses producidos por el aumento de la temperatura, las sequías y los incendios. [GTII 13.4.2]

El aumento de las sequías en diversas regiones (Europa, partes de América Latina) durante la temporada de crecimiento iría aparejado a un aumento de la temperatura en verano y a una disminución de la precipitación, con efectos generalizados sobre la productividad neta de los ecosistemas forestales. En los bosques, la sequía induce mortalidad a causa de enfermedades, estrés hídrico y plagas, una menor resistencia, y retroefectos bióticos que varían de un lugar a otro. [GTII 4.4.5] En algunas regiones, los bosques sustituirían otros tipos de vegetación, como la tundra o los pastizales, y la disponibilidad de agua puede ser tan importante para la fotosíntesis como los efectos de la temperatura y del enriquecimiento en CO_2. [GTII 4.4.3, 4.4.5]

Numerosos estudios han evaluado el impacto directo de la fertilización por CO_2 y los efectos del calentamiento sobre los tipos predominantes de bosques y pastizales. Estudios basados en una gran diversidad de especies forestales y herbáceas parecen indicar que el aumento de la actividad fotosintética resultante de un eventual enriquecimiento en CO_2 dependerá de la disponibilidad de agua. [GTII 4.4.3] Una mayor magnitud de los efectos del enriquecimiento en CO_2 sobre los bosques y sabanas podría tener un retroefecto importante sobre los recursos hídricos. Por ejemplo, el enriquecimiento en CO_2 atmosférico puede tener efectos adversos sobre el valor nutritivo de los detritus en los cursos fluviales (Tuchman et al., 2003), y el equilibrio hídrico del suelo puede acusar claramente los efectos de una mayor cantidad de CO_2 en la mayoría de los tipos de pastizal. [GTII 4.4.10] La productividad de los pastizales y de las sabanas es muy sensible a la disponibilidad de precipitación. En varias evaluaciones de la productividad de las praderas de tallo alto, el aumento de la variabilidad pluvial resultó ser más acentuado que el de la cantidad de lluvia, con una disminución del 10% en la productividad primaria neta debida a un aumento del 50% en la duración de los períodos de sequía (Fay et al., 2003a). [GTII 4.4.3]

4.2 Agricultura y seguridad alimentaria, uso de la tierra y silvicultura

4.2.1 Contexto

La productividad de los sistemas agrícolas, forestales y piscícolas depende principalmente de la distribución temporal y espacial de la precipitación y de la evaporación, así como de la disponibilidad de recursos de agua dulce para el riego, especialmente de cultivos. [GTII 5.2.1] Los sistemas de producción de áreas marginales en términos hídricos estarían abocados a una mayor vulnerabilidad climática y a un mayor riesgo en caso de cambio climático, debido a factores como, por ejemplo, la degradación de los recursos terrestres por erosión del suelo, la sobreexplotación de las aguas subterráneas y la consiguiente salinización, o el pastoreo excesivo en tierras secas (FAO, 2003). [GTII 5.2.2] En esas áreas marginales, la agricultura en pequeña escala es especialmente vulnerable al cambio y variabilidad del clima, y los factores de estrés socioeconómicos suelen agravar unas condiciones medioambientales ya de por sí difíciles. [GTII 5.2.2, Tabla 5.2, Recuadro 5.3] En los bosques, los incendios y la proliferación de insectos vinculados a la frecuencia de episodios extremos acentúan la vulnerabilidad del clima. En las pesquerías, la polución del agua y los cambios en los recursos hídricos acentúan también la vulnerabilidad y el riesgo. [GTII 5.2.2]

4.2.1.1 Agricultura y seguridad alimentaria

El agua desempeña un papel crucial en la producción regional y mundial de alimentos. Por una parte, más de un 80% de las tierras agrícolas del mundo depende de la lluvia; en esas regiones, la productividad de los cultivos depende únicamente de una precipitación suficiente para satisfacer la demanda evaporativa y la consiguiente distribución de humedad del suelo (FAO, 2003). [GTII 5.4.1.2] Allí donde esas variables están limitadas por el clima, como sucede en las regiones áridas y semiáridas, en los trópicos y subtrópicos, y en las regiones de tipo mediterráneo de Europa, Australia y América del Sur, la producción agrícola es muy vulnerable al cambio climático (FAO, 2003). Por otra parte, la producción mundial de alimentos depende del agua, no sólo en forma de precipitación, sino también, fundamentalmente, en forma de recursos hídricos disponibles para el riego. De hecho, las tierras de regadío, que representan sólo un 18% de las tierras agrícolas mundiales, producen 1.000 millones de toneladas de cereales al año, que representan aproximadamente la mitad del suministro mundial total; ello se debe a que los cultivos de regadío producen, en promedio, entre 2 y 3 veces más que los cultivos dependientes de la lluvia[19] (FAO, 2003).

[19] Véase en la sección 1.3 una explicación sobre las relaciones entre el riego, el cambio climático y la recarga de agua subterránea. Este tema se aborda también en las Secciones 5.1.3 (relativa a África) y 5.2.3 (relativa a Asia).

Mientras que un déficit excesivo de agua se traduce en vulnerabilidad de la producción, un exceso de agua puede tener también efectos no deseados sobre la productividad de los cultivos, ya directamente (por ejemplo, afectando a las propiedades del suelo y dañando el crecimiento vegetal), ya indirectamente (por ejemplo, impidiendo o retrasando las necesarias labores agrícolas). Los episodios de precipitación intensa, la humedad excesiva del suelo y las crecidas interfieren en la producción de alimentos y en los medios de subsistencia rurales a nivel mundial (Rosenzweig et al., 2002). [GTII 5.4.2.1]

Además de ser una necesidad en los procesos de preparación de los alimentos, el agua, que influye de manera determinante en la productividad de los cultivos y en la producción de alimentos, desempeña un papel crítico en relación con la seguridad alimentaria. En el mundo hay todavía 850 millones de personas mal alimentadas (FAO, 2003). [GTII 5.3.2.1, 5.6.5] Durante los próximos decenios, las presiones socioeconómicas darán lugar a una mayor competitividad entre las necesidades de riego y la demanda de los sectores no agrícolas, que podría reducir la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos necesarios para la alimentación. [GTII 3.3.2] Estudios recientes indican que es *improbable* que se cumplan en 2015 los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) en lo referente al hambre. [GTII 5.6.5] Al mismo tiempo, durante este siglo el cambio climático puede reducir aún más la disponibilidad de agua para la producción mundial de alimentos, a consecuencia de los cambios medios proyectados de la temperatura y de los regímenes de precipitación, y del aumento previsto de la frecuencia de fenómenos extremos tales como las sequías o las crecidas (Rosenzweig et al., 2002). [GTII 5.6.5]

Las evaluaciones de los impactos del clima en la producción de alimentos están, en general, crucialmente determinadas por el tipo específico de proyección que se utilice para la precipitación mediante MCG. [GTII 5.4.1.2] Se dispone actualmente de una amplia diversidad de escenarios de precipitación. Las evaluaciones mediante escenarios basados en una menor precipitación regional suelen arrojar señales negativas respecto a la producción de cultivos, y viceversa. Las proyecciones que apuntan a una mayor aridez en diversos medioambientes de tipo mediterráneo (Europa, Australia y América del Sur), así como en regiones tropicales áridas y semiáridas marginales, particularmente en el África subsahariana, parecen ser robustas en relación con los distintos modelos (véase la Figura 2.10). Esas regiones se enfrentarían a una mayor vulnerabilidad por efecto del cambio climático, como puede verse en la Figura 4.1. [GTII 5.3.1]

4.2.1.2 Uso de la tierra y ecosistemas forestales

Los ecosistemas forestales ocupan aproximadamente 4.000 millones de hectáreas de tierras, una superficie comparable al conjunto de las utilizadas por cultivos y pastizales. De esas tierras, sólo unos 200 millones de hectáreas están destinadas a la producción forestal comercial en todo el mundo (FAO, 2003). [GTII 4.4.5, 5.1.1, 5.4.5]

Los bosques son determinantes para el suministro, la calidad y la cantidad de agua, tanto en los países desarrollados como en desarrollo. La importancia de los bosques como cuencas de captación de agua puede aumentar sustancialmente en los próximos decenios a medida que escaseen los recursos de agua dulce, particularmente en los países en desarrollo. (Mountain Agenda, 1997; Liniger and Weingartner, 1998). [UTCUTS 2.5.1.1.4; GTII 4.1.1]

Los bosques contribuyen al ciclo hídrico regional, y los cambios de uso de la tierra podrían afectar en gran medida a los climas locales y regionales (Harding, 1992; Lean et al., 1996). Por otra parte, la protección de los bosques puede ser beneficiosa, ya que reduciría las sequías y las crecidas, particularmente en los trópicos (Kramer et al., 1997; Pattanayak and Kramer, 2000). [UTCUTS 2.5.1.1.6]

La repoblación forestal y la reforestación podrían intensificar la humedad, disminuir la temperatura y acrecentar las lluvias en las regiones afectadas (Harding, 1992; Blythe et al., 1994); la deforestación, en cambio, puede reducir la lluvia a nivel local y elevar las temperaturas. En la Amazonia y en Asia, la deforestación puede dar lugar a nuevas condiciones climáticas inadecuadas para la necesaria regeneración de las especies de los bosques pluviales (Chan, 1986; Gash and Shuttleworth, 1991; Meher-Homji, 1992). [UTCUTS 2.5.1.1.6]

Los ecosistemas forestales difieren en su sensibilidad al cambio climático (por ejemplo, Kirschbaum and Fischlin, 1996; Sala et al., 2000; Gitay et al., 2001); los biomas limitados por la temperatura son sensibles a los impactos del calentamiento, y los limitados por el agua son sensibles al agravamiento de la sequía. Algunos, como los ecosistemas que dependen del fuego, podrían cambiar rápidamente en respuesta al cambio climático y a otros cambios medioambientales (Scheffer et al., 2001; Sankaran et al., 2005). [GTII 4.1, 4.4.5]

Los ecosistemas forestales y la biodiversidad a ellos asociada podrían estar particularmente amenazados en África, debido a una conjunción de presiones socioeconómicas y de factores relacionados con el uso de la tierra y con el cambio climático. [GTII 4.2] De aquí a 2100, los impactos negativos podrían ocasionar una disminución, tanto de la calidad del agua como de los bienes y servicios ecosistémicos, en aproximadamente un 25% de la superficie de África (particularmente en el sur y oeste del continente). [GTII 4.RE, 4.4.8] De hecho, se están detectando y documentando ya cambios en diversos ecosistemas, particularmente en el sur de África. [GTII 9.2.1.4]

4.2.2 Observaciones

4.2.2.1 Impactos climáticos y agua

Aunque es sabido que la agricultura y la silvicultura dependen en gran medida del clima, es difícil encontrar evidencia de un cambio vinculado a los cambios regionales del clima, y específicamente al agua. La agricultura y la silvicultura están también fuertemente influidas por factores no climáticos, y especialmente por las prácticas de gestión y por los cambios tecnológicos (Easterling, 2003) a escala local y regional, así como por los precios de mercado y las políticas en materia de subvenciones. [GTII 1.3.6]

Aunque es difícil identificar en los sistemas humanos respuestas al reciente cambio climático, en razón de múltiples dinamizantes no climáticos y de la existencia de procesos de adaptación, sí se han detectado efectos sobre los bosques y sobre algunos sistemas agrícolas. Los cambios sobrevenidos en ciertos aspectos del sistema sanitario humano han sido vinculados al reciente calentamiento. La adaptación al reciente calentamiento está empezando a ser documentada sistemáticamente. En comparación con otros factores, el reciente calentamiento ha tenido consecuencias limitadas respecto a la agricultura y a la silvicultura. Sin embargo, se ha observado un avance significativo de la fenología respecto de la agricultura y la silvicultura en grandes partes del Hemisferio Norte, con respuestas limitadas en términos de gestión de cultivos. La mayor duración de la temporada de crecimiento ha contribuido al aumento observado de la productividad forestal en numerosas regiones, mientras que el aumento de temperatura y sequedad es parcialmente responsable de la disminución de la actividad forestal y de la mayor frecuencia de incendios forestales en América del Norte y en la cuenca mediterránea. Tanto la agricultura como la silvicultura han evidenciado ser vulnerables a las tendencias recientes en términos de olas de calor, sequías e inundaciones. [GTII 1.3.6, 1.3.9, 5.2]

4.2.2.2 CO_2 atmosférico y dinámica del agua

Los efectos de una mayor cantidad de CO_2 atmosférico sobre la función de las plantas podrían tener implicaciones importantes respecto a los recursos hídricos, debido a una mayor eficiencia en el consumo foliar de agua, resultante de una resistencia estomática mayor que con las concentraciones actuales. En relación con las especies de plantas C_3 (incluidos la mayoría de los cultivos alimentarios), el impacto del CO_2 puede ser relativamente mayor para los cultivos sometidos a estrés hídrico que para los cultivos adecuadamente irrigados. [GTII TIE 5.3.3.1]

A gran escala, sin embargo, son muy inciertas las implicaciones de las interacciones entre el CO_2 y el agua (a nivel de dosel vegetal, de explotación agrícola y de región). En general, se reconoce que los efectos positivos que ejercería un aumento de CO_2 sobre las relaciones entre el agua y las plantas quedarían compensados por una mayor demanda evaporativa a temperaturas superiores. [GTII TIE 5.3.3.1]

Numerosos estudios recientes confirman y amplían los resultados del TIE, que indican que, en los próximos decenios, los cambios de temperatura y de precipitación modificarán y, en muchos casos, limitarán los efectos directos del CO_2 sobre las plantas. Por ejemplo, unas temperaturas altas durante el período de floración podrían atenuar los efectos del CO_2, ya que limitarían el número, tamaño y calidad de los granos (Thomas et al., 2003; Baker et al., 2004; Caldwell et al., 2005). Del mismo modo, una mayor demanda de agua vinculada al calentamiento podría atenuar los previsibles efectos positivos del CO_2. Para un nivel de 450 ppm de CO_2, el rendimiento de los cultivos de trigo dependientes de la lluvia aumentaría para valores de calentamiento de hasta 0,8°C, pero disminuiría a partir de los 1,5°C; será necesario incrementar el riego para contrarrestar esos efectos negativos. [GTII 5.4.1.2]

Por último, tanto los fitofisiólogos como los modelizadores de cultivos son conocedores de que los efectos de un nivel elevado de CO_2, medidos en condiciones experimentales e introducidos en los modelos, podrían sobreestimar la respuesta real a nivel de campo y de explotación agrícola. Ello se debe a numerosos factores, que operan generalmente a nivel de campo, como las plagas, las malas hierbas, la competencia por los recursos, la humedad del suelo o la calidad del aire. Estos críticos factores han sido escasamente investigados en condiciones experimentales de gran escala y, por ello, no están bien integrados en los modelos que determinan el crecimiento vegetal. El conocimiento de la dinámica que caracteriza las interacciones entre, por una parte, una elevada concentración de CO_2 y, por otra, el clima, la calidad del suelo y del agua, las plagas, las malas hierbas y enfermedades, la variabilidad del clima y la vulnerabilidad de los ecosistemas, sigue siendo una prioridad a la hora de analizar los impactos futuros del cambio climático sobre los sistemas gestionados. [GTII 5.4.1, 5.8.2]

4.2.3 Proyecciones

Durante el siglo XXI, la alteración de la demanda y de la disponibilidad de agua por efecto del cambio climático afectará notablemente a las actividades agrícolas, a la seguridad alimentaria, a la silvicultura y a las pesquerías. Por una parte, un cambio en la relación entre la evaporación y la precipitación modificará la demanda de agua de las plantas, tomando como referencia la ausencia de cambio climático. Por otra parte, la modificación de las pautas de precipitación y de los ciclos de almacenamiento a escala de cuenca alterará la disponibilidad estacional, anual e interanual de agua para los ecosistemas agrícolas y acuáticos (FAO, 2003). En la mayoría de las regiones del mundo, los cambios del clima intensifican la demanda de riego, debido a los efectos conjuntos de una disminución de la lluvia y de un aumento de la evaporación vinculado al aumento de las temperaturas. [GTII 5.8.1]

Los cambios de la frecuencia e intensidad de los episodios climáticos extremos (por ejemplo, una mayor frecuencia de olas de calor, de sequías o de inundaciones) tendrán consecuencias importantes respecto a la producción alimentaria y forestal (así como al riesgo de incendios forestales), y respecto a otras producciones en ecosistemas agrícolas, muy por encima del impacto de tales cambios sobre el valor medio de las variables. [GTII 5.RE] En particular, más de un 90% de las simulaciones predicen un aumento de la sequía en los subtrópicos a finales del siglo XXI [GTI RRP], a la par que un aumento de los valores extremos de precipitación en las principales áreas de producción agrícola del sur y este de Asia, Australia oriental y norte de Europa. [GTI 11.3, 11.4, 11.7]. Hay que señalar que los modelos del impacto del cambio climático sobre los alimentos, los productos forestales y las fibras no incorporan todavía esas recientes conclusiones acerca de las pautas proyectadas de cambio de la precipitación; las proyecciones indican que los impactos negativos serían peores que los actualmente calculados, una vez que se incluyan los efectos de los valores extremos sobre la productividad. [GTII 5.4.1, 5.4.2]

Los cambios porcentuales de la escorrentía media anual son indicativos de la disponibilidad media de agua para la cubierta vegetal. Los cambios proyectados de aquí a 2100 [GTII, Capítulo 3] exhiben algunas pautas coherentes: aumentos en latitudes altas y en los trópicos húmedos, y disminuciones en latitudes medias y en ciertas partes de los trópicos secos (Figura 4.1b). La disminución de la disponibilidad de agua denota un aumento del estrés hídrico que indica, en particular, un empeoramiento en regiones en que el agua destinada a la producción es ya un producto básico escaso (por ejemplo, en la cuenca mediterránea, en América Central y en regiones subtropicales de África y Australia; véase la Figura 4.1b). [GTII 5.3.1]

Por último, podría ser importante reconocer que en los próximos decenios los sistemas de producción y los recursos hídricos estarán configurados de manera determinante por la interacción concurrente de los dinamizantes socioeconómicos y climáticos. Por ejemplo, el aumento de la demanda de agua de riego para usos agrícolas dependerá tanto de la variación de las condiciones climáticas como de una mayor demanda de alimentos por una población en crecimiento; además, la disponibilidad de agua para la productividad forestal dependerá tanto de los dinamizantes climáticos como de los impactos antropógenos más importantes, particularmente la deforestación en áreas tropicales. En la cuenca amazónica, por ejemplo, la deforestación y la fragmentación creciente pueden desencadenar sequías graves que rebasarían con mucho la señal climática, incrementando así el riesgo de incendios forestales. [GTII 5.3.2.2]

4.2.3.1 Cultivos

Aunque, en términos generales, un calentamiento moderado en latitudes altas mejoraría el rendimiento de cultivos y pastizales, un pequeño calentamiento en áreas de latitud baja, o en áreas estacionalmente secas, tendría un efecto negativo sobre el rendimiento. Los resultados de los modelos indican que, en regiones de latitudes altas, aumentos entre moderados y medios de la temperatura local (1-3°C), junto con un aumento del CO_2 y los cambios de pluviosidad consiguientes, podrían tener efectos pequeños y beneficiosos sobre el rendimiento de los cultivos en distintos emplazamientos. En regiones de latitudes bajas, sin embargo, es *probable* que un aumento incluso moderado de la temperatura (entre 1 y 2°C) ejerza un impacto negativo sobre el rendimiento de la mayoría de cereales. Un calentamiento superior tendría impactos negativos en todas las regiones. [GTII 5.RE]

Las regiones en que la agricultura es actualmente una actividad marginal, debido en gran parte a una combinación de suelos pobres, escasez de agua y depauperación rural, podrían padecer en grado cada vez mayor los impactos del cambio climático sobre el agua. Por consiguiente, incluso un cambio pequeño del clima podría incrementar el número de personas susceptibles de padecer hambre, y el impacto sería particularmente grave en el África subsahariana. [GTII 5.RE]

Un aumento de la frecuencia de episodios climáticos extremos podría reducir el rendimiento de los cultivos en mayor medida que el impacto del cambio climático medio. Diversos estudios de simulación basados en el TIE han considerado determinados aspectos de un aumento de la variabilidad climática en diversos escenarios de cambio climático. Rosenzweig et al. (2002) calcularon que, partiendo de escenarios de aumento de la precipitación intensa, las pérdidas de producción por efecto de una humedad excesiva del suelo (que es ya notable en la actualidad) se duplicarán en Estados Unidos hasta llegar a los 3.000 millones de dólares anuales de aquí a 2030. En Bangladesh

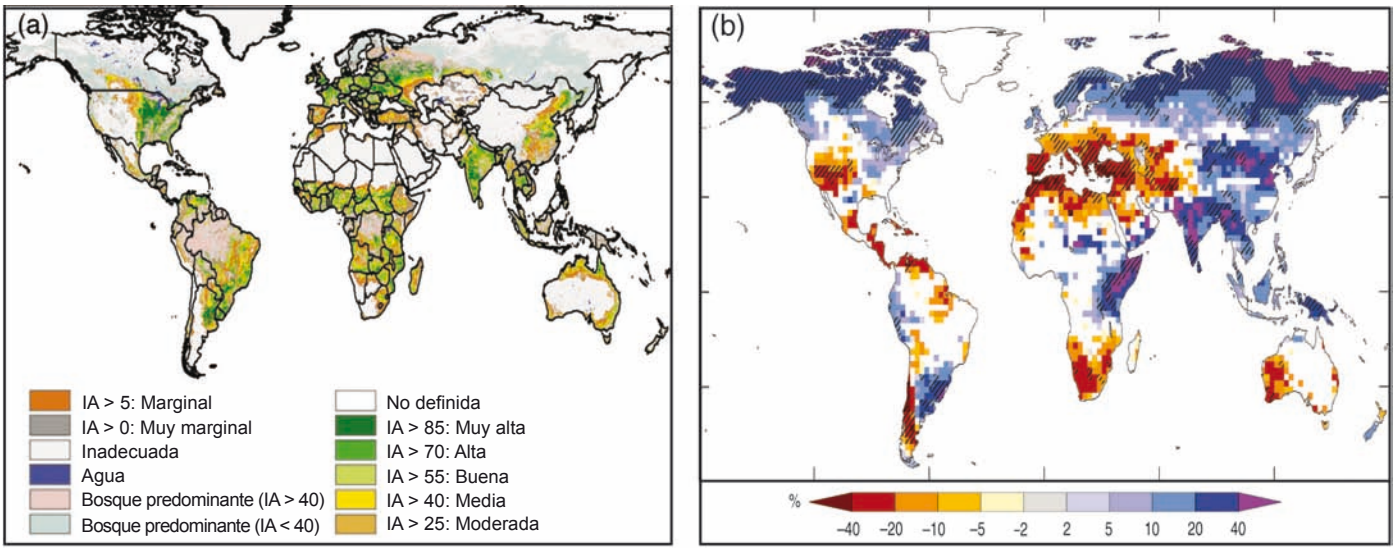


Figura 4.1: *(a) Adecuación actual de los cultivos de secano (excluidos los ecosistemas forestales) (según Fischer et al., 2002b). IA = índice de adecuación [GTII, Figura 5.1a]; (b) cambio porcentual medio multimodelo proyectado para la escorrentía media anual desde la fecha actual (1980-1999) hasta 2090-2099. [Basado en IdS, Figura 3.5]*

el riesgo de pérdida de cosechas se incrementaría, dado que aumentaría la frecuencia de crecidas como consecuencia del cambio climático. Por último, los estudios de impacto del cambio climático que contemplan una mayor intensidad de lluvia indican un mayor riesgo de erosión del suelo; en regiones áridas y semiáridas, una alta intensidad de lluvia podría estar asociada a unas mayores posibilidades de salinización, debido a una mayor pérdida de agua más allá de la zona radicular de los cultivos. [GTII 5.4.2.1]

Los impactos del cambio climático sobre las necesidades de agua de riego podrían ser grandes. Algunos estudios recientes han cuantificado además los impactos del cambio climático sobre las necesidades de riego a nivel regional y mundial, con independencia de los efectos positivos de una mayor concentración de CO_2 sobre la eficiencia de uso del agua destinada a los cultivos. Considerando los impactos directos del cambio climático sobre la demanda evaporativa de los cultivos, aunque en ausencia de impactos causados por el CO_2, Döll (2002) estimó un aumento de las necesidades *netas* de riego de los cultivos (es decir, descontando las pérdidas por transpiración) de entre un 5% y un 8% en todo el mundo de aquí a 2070, con una mayor intensidad de las señales a nivel regional (por ejemplo, +15%) en el sureste de Asia. [GTII 5.4.2.1]

En un estudio que incluía los efectos positivos del CO_2 sobre la eficiencia de uso del agua destinada a los cultivos, Fischer et al. (2006) calcularon un aumento del 20% en las necesidades netas mundiales de riego de aquí a 2080, siendo mayor el impacto en las regiones desarrolladas que en las regiones en desarrollo, tanto por efecto de una mayor demanda evaporativa como de una mayor duración de la temporada de crecimiento en condiciones de cambio climático. Fischer et al. (2006) y Arnell et al. (2004) obtuvieron también aumentos del estrés hídrico (medido como el cociente entre las necesidades de riego y los recursos hídricos renovables) en Oriente Medio y sureste de Asia. Estudios regionales recientes han puesto igualmente de relieve una dinámica crítica de la relación cambio climático/agua en áreas de regadío cruciales, como el norte de África (aumento de las necesidades de riego; Abou-Hadid et al., 2003) o China (disminución de las necesidades de riego; Tao et al., 2003a). [GTII 5.4.2.1]

A escala nacional, se han publicado algunos estudios integradores. En Estados Unidos, dos estudios de modelización sobre la adaptación del sector agrícola al cambio climático (es decir, tránsitos entre la producción de regadío y la dependiente de lluvia) prevén a partir de 2030 una disminución tanto de la superficie de regadío como del volumen extraído para diversos escenarios de clima (Reilly et al., 2003; Thomson et al., 2005a). Este resultado está vinculado a una diferencia cada vez menor entre el rendimiento de la agricultura de regadío y de secano, debida a la disminución del rendimiento de los cultivos de regadío como consecuencia de un aumento de la temperatura, o del rendimiento de las cosechas de secano por efecto de una mayor precipitación. En tales estudios no se ha tenido en cuenta la mayor variabilidad de la precipitación diaria y, por ello, los valores de rendimiento de los cultivos de secano están probablemente sobreestimados. [GTII 3.5.1]

Con respecto a los países en desarrollo, un estudio de la FAO que no consideró los impactos del cambio climático (Bruinsma, 2003) preveía un aumento del 14% en la extracción de agua de riego de aquí a 2030. Sin embargo, los cuatro escenarios de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio proyectan aumentos mucho menores de la extracción de agua de riego a escala mundial, y presuponen que la superficie de riego aumentará tan sólo entre un 0% y un 6% de aquí a 2030, y entre un 0% y un 10% de aquí a 2050. [GTII 3.5.1]

Es *probable* que este enorme aumento del uso de agua acaezca en los sectores doméstico e industrial, con aumentos de la detracción de entre un 14% y un 83% de aquí a 2050 (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005a, b). Esta conclusión está basada en la idea de que el valor del agua será mucho más elevado para los usos domésticos e industriales, lo cual es particularmente cierto en condiciones de estrés hídrico. [GTII 3.5.1]

A nivel local, la agricultura de regadío podría encontrarse ante nuevos problemas, vinculados a la distribución espacial y temporal de los caudales. En latitudes bajas, por ejemplo, y especialmente en el sureste de Asia, el adelanto del deshielo de nieve puede ocasionar inundaciones vernales y escasez de agua de riego en los períodos estivales. [GTII 5.8.2]

4.2.3.2 Pastos y ganadería

Muchas de las tierras de pastoreo del mundo se encuentran en áreas semiáridas susceptibles al déficit hídrico; toda disminución posterior de los recursos hídricos afectará en gran medida a su capacidad de pastoreo. En consecuencia, una variabilidad mayor del clima y de las sequías puede acarrear pérdidas de ganado. Específicamente, es *probable* que el impacto sobre la productividad animal, debido a una mayor variabilidad de las pautas meteorológicas, sea mucho mayor que los efectos asociados a la alteración de las condiciones climáticas promedias. Las pérdidas catastróficas más frecuentes, resultantes de la inexistencia de un acondicionamiento previo frente a los fenómenos meteorológicos, sobrevienen en establos confinados, y las pérdidas económicas ocasionadas por un menor rendimiento de la ganadería superan con creces las acarreadas por la mortandad de ganado. [GTII 5.4.3.1]

A nivel mundial, gran número de tierras de pastoreo acusan los efectos de los episodios de El Niño/Oscilación Austral (ENOA). En las sequías ocasionadas por este fenómeno, las regiones secas conllevan un riesgo de retroefecto positivo entre la degradación del suelo y de la vegetación y la disminución de la lluvia, cuya consecuencia sería la pérdida tanto de tierras de pastoreo como de cultivo. [GTII 5.4.3.1] Sin embargo, mientras en el TIE del GTI se señalaba una probabilidad mayor de experimentar ENOA frecuentes como consecuencia del cambio climático, en el 4IE del GTI no se identificaron correlaciones entre ese fenómeno y el cambio climático. [GTI TIE RRP; GTI 10.3.5.4]

Una encuesta de datos experimentales a nivel mundial sugiere que un calentamiento suave incrementa por lo general la

Recuadro 4.1: El cambio climático y la pesca en el bajo Mekong – Un ejemplo de los múltiples estreses causados por la actividad humana en el sistema de pesquerías de un gran delta. [GTII, Recuadro 5.3]

Las pesquerías son esenciales para la subsistencia de cuantos viven en los países del bajo Mekong, particularmente los pobres de las tierras rurales. De los 60 millones de personas que habitan en esa cuenca, dos terceras partes trabajan directa o indirectamente en el sector de las pesquerías, que representa en torno a un 10% del PIB de Camboya y de la República Democrática Popular Lao. El río alberga habitualmente unas 1.000 especies de peces y muchas más variantes marinas, por lo que su fauna es una de las más prolíficas y diversas del mundo (MRC, 2003). Según estimaciones recientes, la producción anual de las pesquerías de captura supera los 2,5 millones de toneladas (Hortle and Bush, 2003), contribuyendo el delta a más de un 30% de esta cifra.

Los efectos directos del cambio climático vendrán determinados por las pautas cambiantes de la precipitación y del deshielo y por el aumento del nivel del mar, que afectarán a la hidrología y a la calidad del agua. Habrá efectos indirectos atribuibles al cambio de las pautas de vegetación, que pueden alterar la cadena alimenticia y acrecentar la erosión del suelo. Es *probable* que los efectos de origen humano sobre las pesquerías (debidos al crecimiento de la población, a la mitigación de las crecidas, al mayor volumen de agua extraída, al cambio de uso de la tierra y a la sobreexplotación pesquera) sean más importantes que los efectos del clima, aunque las presiones ejercidas por ambos están estrechamente relacionadas.

Cierto análisis de impacto de los escenarios de cambio climático sobre el caudal del río Mekong (Hoanh et al., 2004) estima un aumento de los caudales máximos mensuales de 35-41% en la cuenca y de 16-19% en el delta (el porcentaje inferior corresponde al periodo 2010-2038, y el superior a 2070-2099, respecto de los niveles correspondientes a 1961-1990). Se ha estimado que los flujos mensuales mínimos disminuirán en un 17-24% en la cuenca y en un 26-29% en el delta. El aumento de las inundaciones redundará positivamente en el rendimiento de las pesquerías, aunque la reducción del hábitat en la estación seca puede aminorar la captura de algunas especies. No obstante, las intervenciones de gestión hídrica previstas, principalmente las presas, tendrían efectos opuestos sobre la hidrología; es decir, ocasionarían una disminución marginal de los caudales en las estaciones húmedas y un aumento considerable en las estaciones secas (World Bank, 2004b).

Los modelos indican que un aumento del nivel del mar de tan sólo 20 cm desplazaría en 25 km hacia el interior la línea de contorno del nivel hídrico en el delta del Mekong durante la estación de crecidas, y empujaría río arriba el agua salada (aunque canalizada) durante la estación seca (Wassmann et al., 2004). El desplazamiento del agua salada hacia el interior alteraría notablemente la composición de las especies de pesquería, aunque no sería perniciosa para el rendimiento de las pesquerías en su conjunto.

productividad de los pastizales, con respuestas positivas máximas en latitudes altas, y que la productividad y composición de las especies vegetales en las tierras de pastoreo está íntimamente ligada a la precipitación. Además, resultados recientes (véase la Figura 4.1) proyectan disminuciones de la cantidad de lluvia en algunos de los principales pastizales y tierras de pastoreo (por ejemplo, en América del Sur, sur y norte de África, Asia occidental, Australia, y sur de Europa). [GTII 5.4.3.2]

Un elevado nivel de CO_2 atmosférico puede aminorar el agotamiento del agua del suelo en diferentes pastizales autóctonos y semiautóctonos templados y mediterráneos. Sin embargo, conjuntamente con el cambio climático, la mayor variabilidad de las lluvias y el aumento de las temperaturas podrían limitar más seriamente la humedad del suelo y reducir así la productividad, contrarrestando los impactos beneficiosos del CO_2. Otros impactos sobre la ganadería son consecuencia directa del aumento de la carga térmica. [GTII 5.4.3.2]

4.2.3.3 Pesquerías

Algunos de los impactos negativos del cambio climático sobre la acuicultura y las pesquerías de agua dulce son: el estrés debido al aumento de la temperatura y de la demanda de oxígeno y a la disminución del pH; la calidad y cantidad de agua en el futuro; los fenómenos meteorológicos extremos; la mayor frecuencia de enfermedades e intoxicaciones; el aumento del nivel del mar y los conflictos de intereses frente a las necesidades de protección de la costa; y la incertidumbre sobre el abastecimiento futuro de productos de pescado y de aceites de las pesquerías de captura. En el Recuadro 4.1 se detalla un caso concreto ilustrativo de los múltiples estreses que podrían afectar a las pesquerías en los países en desarrollo [GTII 5.4.6.1]

Entre los impactos positivos cabe señalar: aumento de las tasas de crecimiento y de la eficacia de conversión alimentaria; mayor duración del período de crecimiento; extensión del ámbito geográfico; y explotación de nuevas áreas, gracias a la disminución de la cubierta de hielo. [GTII 5.4.6.1]

4.2.4 Adaptación, vulnerabilidad y desarrollo sostenible

La gestión del agua es un componente esencial que deberá adaptarse para hacer frente a las presiones climáticas y

socioeconómicas de los próximos decenios. Los usos del agua cambiarán por efecto conjunto de: alteraciones de la disponibilidad de agua, variación de la demanda de agua del sector agrícola y de otros sectores que competirán por ella, particularmente el urbano, y cambios en la gestión del agua.

Las prácticas que mejoran la productividad en el uso de agua de riego -definida como producción de cultivo por unidad de agua consumida- pueden conferir un potencial de adaptación considerable a todos los sistemas de producción agrícola ante un eventual cambio climático. Además, mejorar la eficiencia de riego es indispensable para asegurar la disponibilidad de agua con destino a la producción alimentaria y a la satisfacción de necesidades humanas y medioambientales compitientes. [GTII 3.5.1]

Varios estudios de simulación parecen indicar que la adaptación podría reportar beneficios relativos al sector agrícola para unos niveles de calentamiento entre bajos y moderados, aunque algunas estrategias de respuesta podrían ocasionar un mayor estrés sobre el agua y otros recursos medioambientales a medida que aumenta el calentamiento. El concepto de *adaptación autónoma* designa las respuestas que pondrán en marcha agricultores, comunidades rurales y/u organizaciones de agricultores en función del cambio climático real o subjetivo en los próximos decenios, sin intervención o coordinación de las administraciones regionales o nacionales, o en virtud de acuerdos internacionales. En ese sentido, la adaptación inadecuada (por ejemplo, las presiones para cultivar tierra marginal o para adoptar prácticas de cultivo insostenibles conforme disminuyen los rendimientos) podría agravar la degradación agrícola y amenazar la biodiversidad de las especies silvestres y domésticas, posiblemente poniendo en peligro la capacidad de respuesta futura ante un aumento del riesgo climático en fechas posteriores del siglo. Así pues, será necesaria una *adaptación planificada* para facilitar y maximizar los beneficios que las respuestas de adaptación al cambio climático reportarán a largo plazo, en particular modificando las políticas, instituciones e infraestructura dedicadas a ese fin. [GTII 5.5]

4.2.4.1 Adaptación autónoma

Las opciones de adaptación autónoma son en gran medida ampliaciones o intensificaciones de actividades de gestión de riesgo y mejora de la producción ya existentes, y están, por consiguiente, al alcance de agricultores y comunidades. En lo referente al agua, cabe señalar las siguientes:

- adopción de variedades/especies de mayor resistencia al choque térmico y a la sequía;
- modificación de las técnicas de riego, y particularmente de su cantidad, distribución en el tiempo o tecnología;
- adopción de tecnologías de eficiencia hídrica para 'cosechar' agua, retener la humedad del suelo (por ejemplo, conservando los residuos de los cultivos) y reducir el entarquinamiento y la intrusión de agua salada;

Recuadro 4.2: Estrategias de adaptación del pastoreo en el norte de Kenya y sur de Etiopía. [GTII, Recuadro 5.5]

El pastoreo ha evolucionado en África para adaptarse a la hostilidad de un entorno cuyo régimen de precipitaciones es extremadamente variable, tanto en el espacio como en el tiempo (Ellis, 1995). Varios estudios recientes (Ndikumana et al., 2000; Hendy and Morton, 2001; Oba, 2001; McPeak and Barrett, 2001; Morton, 2006) han analizado las estrategias de adaptación utilizadas por los pastores durante sequías recientemente padecidas en el norte de Kenya y en el sur de Etiopía, así como las adaptaciones a más largo plazo que aquéllas conllevan.

- La *movilidad* sigue siendo la principal estrategia de adaptación de los pastores a las variaciones espaciales y temporales de la precipitación, y en años de sequía numerosas comunidades recurren a los pastos de reserva no utilizados en las estaciones 'normalmente' secas, debido a su lejanía, a las restricciones impuestas por el régimen de propiedad agraria, a los problemas ocasionados por enfermedades animales y a otros conflictos. Sin embargo, la invasión e individualización de tierras de pastoreo comunales y el deseo de establecerse en un lugar fijo para poder acceder a servicios sociales y ayudas alimentarias han limitado seriamente la movilidad del pastoreo.
- El objetivo de los pastores es la *acumulación de rebaños*, y la evidencia mayoritaria indica que es ésta una manera racional de protegerse contra la sequía.
- Una minoría de pastores guarda actualmente sus fondos, o parte de ellos, en cuentas bancarias, mientras que otros recurren a métodos de ahorro y crédito *sui generis* acordados con los tenderos.
- Los pastores utilizan también *piensos suplementarios* para el ganado, comprándolos o bien obteniéndolos de los árboles; mejoran *la gestión de las enfermedades animales* mediante técnicas autóctonas y científicas; y pagan por el agua extraída de pozos perforados.
- En esa región, la *diversificación de los medios de subsistencia* para no circunscribirse al pastoreo suele consistir en aceptar trabajos de bajos ingresos o no sostenibles desde el punto de vista medioambiental (por ejemplo, la producción de carbón), en vez de utilizar estrategias de adaptación preventivas para atenuar la vulnerabilidad.
- Varios *mecanismos intracomunales* permiten distribuir productos animales entre los menos favorecidos y, a éstos, participar en la explotación de animales vivos, pero están desapareciendo, debido al elevado nivel de riesgo concomitante en esas comunidades.

- mejora de la gestión del agua para evitar la saturación hídrica, la erosión y la lixiviación;
- modificación de los calendarios de cultivo, es decir, las fechas o la ubicación de las actividades de cultivo;
- utilización de predicciones climáticas estacionales.

Otras estrategias de adaptación pueden conllevar la modificación del uso de la tierra para aprovechar las condiciones agroclimáticas alteradas. [GTII 5.5.1]

Algunos estudios de simulación ponen de manifiesto la importancia del agua de riego como técnica de adaptación para atenuar los impactos del cambio climático. En general, sin embargo, las proyecciones parecen indicar que los beneficios relativos más importantes de la adaptación se obtendrán con un calentamiento entre bajo y moderado, y que las prácticas de adaptación que conllevan un aumento del consumo de agua de riego podrían, de hecho, entrañar un estrés suplementario que afectaría al agua y a los recursos medioambientales, a medida que aumentan el calentamiento y la demanda evaporativa. [GTII 5.8.1]

Se han explorado también muchas estrategias de adaptación en sectores productivos clave distintos de la agricultura, aunque sin ceñirse exclusivamente a los problemas del agua. Entre las estrategias de adaptación que podrían, sin embargo, afectar al uso del agua cabe señalar, respecto a los sistemas pecuarios, las siguientes: alteración de la rotación de pastos, modificación de las épocas de pastoreo, del forraje y de las razas o especies animales, alteración de la integración en sistemas de ganado/cultivo híbridos, en particular utilizando cultivos de forraje adaptados, atención especial para asegurar un suministro adecuado de agua, y utilización de piensos y concentrados suplementarios. En el Recuadro 4.2 se muestran las estrategias de adaptación del pastoreo en áreas semiáridas y áridas de Kenya y sur de Etiopía. [GTII 5.4.7]

Entre las estrategias de adaptación silvícolas cabe señalar el cambio de intensidad de la gestión, la hibridación de especies, la introducción de periodos de rotación, la adaptación al cambio del tamaño y calidad de los bosques, y la modificación de los sistemas de lucha contra incendios. [GTII 5.5.1]

Por lo que se refiere a los ecosistemas marinos, a excepción de la acuicultura y de ciertas actividades pesqueras de agua dulce, la explotación de las poblaciones naturales de peces excluye las adaptaciones de la gestión sugeridas para los sectores agrícola, ganadero y forestal. Las opciones de adaptación se centran, pues, en la alteración del tamaño de las capturas y del esfuerzo dedicado a ellas. El margen de adaptación autónoma está cada vez más restringido por la entrada en vigor de nuevas reglamentaciones respecto a la explotación de los ecosistemas pesqueros y marinos [GTII 5.5.1]

De adoptarse con carácter general, las estrategias de adaptación de los sistemas productivos podrían compensar en gran medida los efectos negativos del cambio climático y sacar provecho de sus efectos positivos. Sin embargo, no se ha evaluado suficientemente el grado de eficacia o el alcance que tendría la adopción de esas medidas, en razón de la complejidad del proceso de toma de decisiones, de la diversidad de respuestas entre unas y otras regiones, de los retrasos en su implementación, y de los posibles obstáculos económicos, institucionales y culturales al cambio. Por ejemplo, en las comunidades de escasos recursos dedicadas a la agricultura/ganadería de subsistencia, la capacidad de adaptación realizable se considera por lo general muy baja. Análogamente, hay grandes superficies de bosques en los que la gestión humana directa es mínima, lo cual limita las oportunidades de adaptación. Incluso en bosques en que la gestión es más intensiva, en los que las actividades de adaptación podrían ser más viables, la gran separación temporal entre la siembra y la cosecha podría complicar la adopción de estrategias de adaptación efectivas. [GTII 5.1.1]

4.2.4.2 Adaptación planificada

Las soluciones de adaptación planificada deberían centrarse en el desarrollo de nuevas infraestructuras, políticas e instituciones de apoyo que faciliten, coordinen y maximicen los beneficios de los nuevos sistemas de gestión y uso de la tierra. En términos generales, ello puede conseguirse mejorando la gobernanza y, en particular, haciendo que en los programas de desarrollo se tenga en cuenta el cambio climático; aumentando las inversiones en infraestructuras de riego y en tecnologías que permitan aumentar el rendimiento del agua; creando infraestructuras de transporte y almacenamiento adecuadas; revisando el régimen de propiedad agraria (procurando, en particular, definir claramente los derechos de propiedad); y estableciendo mercados accesibles y eficientes para los productos, los insumos (en particular, mediante planes de fijación de precios del agua) y los servicios financieros (en particular, los seguros). [GTII 5.5]

Podría ser necesario implicar a varios organismos en la adaptación planificada y en la coordinación de políticas para facilitar la adaptación al cambio climático, particularmente en aquellos lugares en que la disminución del rendimiento obligue a cultivar tierras marginales o a adoptar prácticas de cultivo no sostenibles, con el consiguiente aumento de la degradación de la tierra y del uso de recursos, en particular de agua. [GTII 5.4.7]

Diversas evaluaciones de la adaptación a escala mundial, nacional y de cuenca evidencian que, en general, las cuencas áridas y semiáridas son las más vulnerables al estrés hídrico. Si disminuyera la precipitación, la demanda de agua de riego impediría satisfacer el resto de la demanda. Las proyecciones de cambio del flujo fluvial en las cuencas hidrográficas de los ríos Sacramento-San Joaquín y Colorado indican que no será posible satisfacer la demanda hídrica actual de aquí a 2020, ni siquiera adoptando prácticas de gestión adaptativa. Un mayor uso de agua de riego reduciría tanto la escorrentía como el caudal corriente abajo (Eheart and Tornil, 1999). [GTII 3.5.1]

Las políticas encaminadas a primar la introducción de mejoras que aumenten la eficiencia de riego, mediante mecanismos de mercado o mediante una mayor reglamentación y una mejor gobernanza, son una herramienta importante para incrementar la capacidad de adaptación a escala regional. Una consecuencia imprevista sería un mayor uso de agua de consumo corriente arriba, que privaría de agua a los usuarios corriente abajo sin

regresar, por consiguiente, al curso fluvial como flujo de retorno (Huffaker, 2005). [GTII 3.5.1]

Además de las técnicas actualmente disponibles para los agricultores y gestores de la tierra, es necesario ofrecer nuevas opciones técnicas mediante actividades de investigación y desarrollo ad hoc, que deberían ser planificadas y puestas en práctica ya con objeto de reforzar en su conjunto la capacidad de respuesta a los cambios climáticos en los próximos decenios. Algunas opciones tecnológicas para potenciar la I+D son los sistemas de cría tradicional y la biotecnología, encaminados a mejorar la resistencia a diversos tipos de estrés climático (por ejemplo, sequías o inundaciones) de cultivos, forrajes, ganado, bosques y pesquerías (Recuadro 4.3).

Recuadro 4.3: Contribución de la biotecnología a la adaptación agrícola y forestal

La biotecnología y la reproducción convencional pueden contribuir al desarrollo de nuevas variedades con características mejoradas, más adaptadas a las condiciones del cambio climático. E particular, la resistencia a la sequía y al estrés térmico, a las plagas, a las enfermedades, a la salinidad y a la saturación hídrica. Como oportunidades adicionales ofrecidas por las nuevas variedades, cabe señalar la modificación de la fenología, y una mejor respuesta a concentraciones de CO_2 elevadas. Por lo que se refiere al agua, varios estudios documentan modificaciones genéticas de especies de cultivo importantes (por ejemplo, maíz, o soja) con una mayor tolerancia al déficit hídrico (análisis general de Drennen et al., 1993; Kishor et al., 1995; Pilon-Smits et al., 1995; Cheikh et al., 2000), aunque esta consideración podría no ser extensiva a la generalidad de las plantas cultivables. En general, se tiene aún muy poca información sobre los resultados prácticos de las modificaciones genéticas en las aplicaciones agrícolas y silvícolas (Sinclair and Purcell, 2005).

4.2.4.3 Seguridad alimentaria y vulnerabilidad

Es *probable* que el cambio climático afecte a la seguridad alimentaria en sus cuatro vertientes: disponibilidad de alimentos (producción y comercio), acceso a alimentos, estabilidad del suministro alimentario, y utilización de alimentos (conjunto de procesos que intervienen en la preparación y consumo de alimentos). Es muy importante destacar que la seguridad alimentaria no dependerá únicamente de los impactos climáticos y socioeconómicos en la producción alimentaria, sino también (de manera crucial) de los cambios que experimenten los flujos comerciales, las existencias y las políticas de ayuda alimentaria. En particular, el cambio climático tendrá impactos de distinto signo y geográficamente diversos sobre la producción alimentaria y, por consiguiente, sobre el acceso a alimentos. En los trópicos, los países en desarrollo, muchos de los cuales poseen recursos hídricos y tierras inadecuados, están ya amenazados de inseguridad alimentaria grave, y podrían ser particularmente vulnerables al cambio climático [GTII 5.6.5]

Los cambios de la frecuencia e intensidad de sequías e inundaciones afectarán a la estabilidad del abastecimiento de alimentos esenciales y al acceso a ellos. En los trópicos semiáridos, el déficit de lluvia puede reducir drásticamente el rendimiento de los cultivos y el volumen de la cabaña pecuaria. La inseguridad alimentaria y la pérdida de medios de subsistencia se agravarían aún más con la pérdida de tierras de cultivo y de criaderos de pesquería en la costa, por efecto de las inundaciones y de la erosión costera en extensiones bajas. [GTII 5.6.5]

Debido a su impacto sobre los recursos medioambientales, el cambio climático puede afectar asimismo a la utilización de los alimentos, con importantes consecuencias adicionales sobre la salud. [GTII, Capítulo 8] Por ejemplo, la disminución del agua disponible en regiones en que ésta es ya escasa, particularmente en los subtrópicos, tendrá impactos negativos directos sobre la elaboración y el consumo de alimentos. A la inversa, un mayor riesgo de crecidas en los asentamientos humanos costeros debido a un aumento del nivel del mar o a una precipitación intensa podría agravar la contaminación de alimentos y las enfermedades, aminorando con ello las pautas de consumo. [GTII 5.6.5]

4.2.4.4 Cuestiones relacionadas con la calidad del agua

En los países en desarrollo, la calidad microbiológica del agua es baja, debido a la falta de saneamientos y de métodos de tratamiento adecuados, y a las deficientes condiciones sanitarias (Lipp et al., 2001; Jiménez, 2003; Maya et al., 2003; WHO, 2004). El cambio climático podría inducir un estrés adicional sobre la calidad del agua, particularmente en los países en desarrollo (Magadza, 2000; Kashyap, 2004; Pachauri, 2004). Hasta la fecha, no hay estudios especializados sobre el ciclo vital de los microorganismos en los países en desarrollo en condiciones de cambio climático; sería muy necesario, en particular, estudiar los efectos producidos por la utilización de aguas de desecho deficientemente tratadas para usos de riego, y sus relaciones con los brotes endémicos de *helmintiasis* (WHO/UNICEF, 2000). [GTII 3.4.4]

Aproximadamente un 10% de la población mundial consume cultivos irrigados con aguas de desecho no tratadas o insuficientemente tratadas, particularmente en países en desarrollo de África, Asia y América Latina. Las proyecciones indican que esa cifra aumentaría con la población y con la demanda de alimentos. [GTII 8.2.5] Una estrategia para combatir tanto la escasez hídrica como ciertos problemas sanitarios concomitantes consistiría, por consiguiente, en utilizar en mayor medida aguas de desecho adecuadamente tratadas con fines de irrigación. [GTII 3.4.4]

4.2.4.5 Comunidades rurales, desarrollo sostenible y conflictos hídricos

La cooperación transfronteriza en lo referente al agua está considerada como una política efectiva y como un instrumento para mejorar la gestión del agua en regiones extensas que comparten recursos comunes. El cambio climático y el

incremento de la demanda hídrica en los próximos decenios añaden nuevas dificultades a este tipo de acuerdos marco, y agravan el potencial de conflicto a nivel local. Por ejemplo, las medidas unilaterales de adaptación a la escasez de agua ocasionada por el cambio climático podrían intensificar la competición por los recursos hídricos. Además, los cambios de productividad de la tierra podrían propiciar toda una serie de sistemas agrícolas nuevos o modificados, necesarios para mantener la producción, y en particular las prácticas de intensificación. Éstas, a su vez, podrían suscitar presiones medioambientales adicionales, que se traducirían en pérdidas de hábitat, disminución de la biodiversidad, entarquinamiento, y erosión y degradación del suelo. [GTII 5.7]

Cabe esperar también impactos sobre el desarrollo comercial, económico y medioambiental y sobre el uso de la tierra como consecuencia de las medidas adoptadas para sustituir los combustibles de origen fósil por biocombustibles, tal como prevé el Plan de Acción Europeo sobre la Biomasa. La producción de biocombustibles en gran escala plantea interrogantes en diversos respectos, por ejemplo en relación con las necesidades de fertilizantes y plaguicidas, el ciclo de nutrientes, el balance energético, los impactos sobre la diversidad biológica, la hidrología y la erosión, los conflictos con la producción alimentaria, o el volumen de subvenciones necesario. De hecho, una de las aspiraciones de los próximos decenios consistirá en encontar un equilibrio entre los sectores alimentario, forestal y energético en la competencia por las tierras y las materias primas, por ejemplo ideando soluciones que aseguren el derecho a la alimentación y al desarrollo rural local con un aumento máximo de las necesidades de energía y de mitigación del clima. [UTCUTS 4.5.1]

En América del Norte, la sequía podría agravarse en el interior del continente, y las áreas de producción, especialmente de maíz y soja (Brklacich et al., 1997), podrían desplazarse hacia el norte (Mills, 1994). [GTII TIE 15.2.3.1] En México, las pérdidas de producción podrían estar vinculadas principalmente a la sequía, por efecto de una disminución de las zonas agroecológicas idóneas para el cultivo de maíz (Conde et al., 1997). [GTII TIE 14.2.2.1] La sequía es un problema importante en el continente australiano por razones sociales, políticas, geográficas y medioambientales. Un cambio climático seco como consecuencia de una menor precipitación y de un aumento de la demanda evaporativa conllevaría declaraciones de sequía más frecuentes y prolongadas en el marco de la actual política de lucha contra la sequía en Australia. [GTII TIE 12.5.6]

En los recursos hídricos radica una de las principales vulnerabilidades de África en relación con los usos domésticos, agrícolas e industriales. En las cuencas fluviales compartidas es necesario establecer protocolos de cooperación regional para reducir al mínimo tanto los impactos negativos como las posibilidades de conflicto. Por ejemplo, la superficie del lago Chad varía de 20.000 km^2 en la estación seca a 50.000 km^2 en la húmeda. Aunque se han delimitado con precisión las divisorias entre Chad, Nigeria, Camerún y Níger, nunca se han determinado claramente ciertos sectores de ellas situados en los afluentes del lago Chad, y las situaciones de crecida y de recesión del agua plantean complicaciones adicionales. Problemas similares en el río Kovango, entre Botswana y Namibia, provocaron en su día una confrontación armada. [GTII TIE 10.2.1.2]

La creciente escasez de agua, el aumento de la población, la degradación de los ecosistemas de agua dulce compartidos y la competencia por unos recursos naturales en retracción, distribuidos por una superficie de tal magnitud y afectando a tantos países, podrían desencadenar conflictos bilaterales y multilaterales. En las áreas semiáridas de África, el pastoreo es la principal actividad económica, y las comunidades de pastoreo incorporan también inmigrantes transnacionales en busca de nuevos pastos estacionales. En situaciones de sequía, esas comunidades podrían entrar en conflicto con los sistemas agrarios establecidos. [GTII TIE 10.2.1.2]

La acuicultura mundial está protagonizada por Asia; sólo en China, se produce un 70% del total de pescados y mariscos de piscifactoría (FAO, 2006). El pescado es una importante fuente de proteínas, vital para la seguridad alimentaria en muchos países de Asia, particularmente en las comunidades depauperadas de las áreas costeras. Las piscifactorías necesitan tierra y agua, dos recursos que escasean ya en muchos países de Asia. En áreas costeras de Tailandia, el desvío de agua para su uso en criaderos de gambas ha hecho descender notablemente los niveles de agua subterránea. [GTII TIE 11.2.4.4]

En Asia hay no menos de 14 grandes cuencas internacionales. Su gestión es particularmente problemática en países de alta densidad de población, que a menudo utilizan incluso las áreas más frágiles e inadaptadas de las cuencas para destinarlas a cultivos, usos residenciales y otras actividades intensivas. Por ello en muchos países, particularmente Bangladesh, Nepal, Filipinas, Indonesia y Vietnam, muchas cuencas están muy afectadas por la deforestación, la conversión indiscriminada de tierras, la excesiva erosión del suelo, y una productividad agrícola en declive. Al carecer de estrategias de adaptación adecuadas, esas cuencas son muy vulnerables al cambio climático [GTII TIE 11.2.3.2.]

4.2.4.6 Mitigación

Las respuestas de adaptación y las iniciativas de mitigación en los sectores agrícola y forestal podrían ser simultáneas; su eficacia dependerá de las pautas del cambio climático real en los próximos decenios. Las interacciones concomitantes entre estos factores (cambio climático, adaptación y mitigación) afectarán con frecuencia a los recursos hídricos. [GTIII 8.5, Tabla 8.9]

Las estrategias de adaptación y mitigación podrían o bien exhibir sinergias, en cuyo caso las actuaciones se reforzarían recíprocamente, o ser mutuamente contraproducentes. Con respecto al agua, los ejemplos de estrategias de adaptación que reducen las opciones de mitigación se refieren sobre todo al riego, y están relacionadas con el costo energético del abastecimiento de agua y con las emisiones adicionales de gases invernadero posiblemente vinculadas a la modificación de las prácticas de cultivo. La utilización de energías renovables para la extracción y distribución de agua podría, sin embargo,

obviar este conflicto. Análogamente, algunas estrategias de mitigación podrían afectar negativamente a la adaptación, por ejemplo aumentando la dependencia respecto de los cultivos energéticos, que podrían competir por los recursos hídricos, reducir la biodiversidad y agravar con ello la vulnerabilidad a los extremos climáticos. [GTIII 12.1.4, 12.1.4]

Por otra parte, numerosas prácticas de secuestro de carbono, que implican un menor grado de labranza, un aumento de la superficie cultivable y la utilización de sistemas de rotación mejorados, constituyen en esencia –y ciertamente fueron desarrolladas con ese fin– 'buenas prácticas' agroforestales, que dan lugar a sistemas de producción más resistentes a la variabilidad climática y que proporcionan, así, una excelente adaptación frente al aumento de la presión sobre el agua y los recursos del suelo (Rosenzweig and Tubiello, 2007). [GTII 5.4.2; GTIII 8.5]

4.3 Salud humana

4.3.1 Contexto

La salud humana, que abarca el bienestar físico, social y psicológico, depende de la adecuación del suministro de agua potable y de la seguridad del medio ambiente. Los seres humanos están expuestos al cambio climático tanto directamente, a merced de las pautas meteorológicas (fenómenos extremos más intensos y frecuentes), como indirectamente, en virtud de los cambios experimentados en relación con el agua, el aire, la calidad y cantidad de los alimentos, los ecosistemas, la agricultura, los medios de subsistencia y la infraestructura. [GTII 8.1.1] Dado el considerable número de personas que podrían verse afectadas por la malnutrición y la escasez de agua, éstas podrían ser las consecuencias sanitarias más importantes del cambio climático (véanse las Secciones 4.2 y 4.4). [GTII 8.4.2.3]

La salud de la población ha mejorado notablemente en los últimos 50 años, aunque sigue habiendo un importante desequilibrio sanitario en y entre países. Es *improbable* que en ciertos países en desarrollo se alcance el Objetivo de Desarrollo del Milenio (ODM) de disminuir en dos tercios la tasa de mortalidad de menores de 5 años de aquí a 2015. La salud deficiente agrava la vulnerabilidad y reduce la capacidad de adaptación al cambio climático tanto de las personas como de las comunidades. Las poblaciones con altas tasas de enfermedad y de discapacidad afrontan con menos éxito los estreses de cualquier tipo, en particular los relacionados con el cambio climático. [GTII 8.1.1]

El programa conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento estima actualmente que 1.100 millones de personas (un 17% de la población mundial) no tienen acceso a recursos hídricos, entendiéndose por tal la disponibilidad de un mínimo de 20 litros de agua por persona y día procedentes de una fuente de agua mejorada situada a menos de 1 km. Una fuente de agua mejorada es aquella de la que puede obtenerse agua 'salubre'; por ejemplo, una toma de agua doméstica o un pozo perforado. Casi dos terceras partes de las personas sin acceso al agua viven en Asia. En el África subsahariana, un 42% de la población no tiene acceso a agua mejorada. La OMS cifra en 1,7 millones de muertes por año la carga total de enfermedad debida a un suministro de agua inadecuado y a un saneamiento e higiene deficientes. Las consecuencias que podrían tener para la salud las condiciones del abastecimiento de agua y de los saneamientos son, para muchos países, un aspecto de especial interés en relación con el cambio climático. En las regiones vulnerables, la concentración de riesgo vinculada a la inseguridad tanto de los alimentos como del agua podría agravar particularmente los impactos de cualquier fenómeno meteorológico extremo (por ejemplo, las crecidas o las sequías) sobre las viviendas afectadas. [GTII 9.2.2]

La variación de los extremos climáticos podría ocasionar graves impactos sobre la salud humana. Las inundaciones se agravarán previsiblemente con el cambio climático, con las consiguientes implicaciones para la salud de las personas. La vulnerabilidad a las inundaciones es menor cuando existe una infraestructura para la eliminación de los desechos sólidos, para la gestión de las aguas de desecho y para el suministro de agua potable. [GTII 8.2.2]

La falta de agua para usos higiénicos determina actualmente una gran parte de la carga de enfermedad mundial. Una pequeña parte, no cuantificada, de esa carga es imputable a la variabilidad climática o a los extremos climáticos. La 'escasez de agua' está asociada a una multiplicidad de consecuencias adversas para la salud, entre ellas las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua por materias fecales y otras sustancias peligrosas (por ejemplo, parásitos).

La mortalidad y morbilidad infantil ocasionadas por la diarrea en países de bajos ingresos, particularmente en el África subsahariana, sigue siendo elevada pese a haber mejorado la atención sanitaria y a aplicarse ya terapias de rehidratación oral. El cambio climático agravará previsiblemente la escasez de agua, pero es difícil evaluar en qué se traducirá ésta a nivel doméstico, en términos de disponibilidad de agua y, por consiguiente, de salud e higiene. No se dispone de información que vincule la modelización del cambio climático en gran escala con los impactos de pequeña escala sobre la población o a nivel doméstico. Además, al evaluar los impactos sanitarios de una menor disponibilidad de agua en el futuro deberán tenerse siempre en cuenta las eventuales mejoras del acceso a aguas 'salubres'. [GTII 8.2.5, 8.4.2.2]

4.3.1.1 Implicaciones respecto a la calidad del agua potable

La relación entre la precipitación de lluvia, el caudal fluvial y la contaminación del suministro de agua es altamente compleja, tanto cuando su transporte se efectúa a través de canalizaciones como en contacto directo con las aguas superficiales. Si los flujos fluviales disminuyen como consecuencia de una menor precipitación, su capacidad de dilución de efluentes disminuirá también y elevará, por consiguiente, la carga patógena y química. Ello podría entrañar un aumento de la exposición humana o, cuando el suministro de agua está canalizado,

un incremento de la demanda para las instalaciones de tratamiento de agua. Durante la sequía del verano de 2003, la disminución del caudal fluvial en los Países Bajos parece haber inducido cambios en la calidad del agua (Senhorst and Zwolsman, 2005). La marcada estacionalidad de los brotes de cólera en el Amazonas, asociada probablemente a las elevadas concentraciones patógenas de los estanques, ha sido asociada a la disminución del caudal fluvial en la estación seca (Gerolomo and Penna, 1999). [GTII 8.2.5]

La gestión de los drenajes y de las aguas de tempestad es importante en las comunidades urbanas de bajos ingresos, ya que la obstrucción del alcantarillado puede ocasionar inundaciones y facilitar la propagación de enfermedades transmitidas por vectores (Parkinson and Butler, 2005). En las ciudades en que el alcantarillado se desbordase en varios lugares simultáneamente, podría aumentar la contaminación provocada por las aguas de desecho durante las crecidas. [GTII 8.2.5]

En países de alto nivel de ingresos, la precipitación y la escorrentía podrían incrementar la carga microbiana total de los cursos de agua y de los depósitos de agua potable, aunque su correlación con la incidencia de enfermedades humanas es más dudosa, debido a que la concentración de contaminantes está diluida. La contaminación estacional de las aguas superficiales en los comienzos de la primavera en América del Norte y Europa podría explicar en parte la estacionalidad de algunos casos esporádicos de enfermedades transmitidas por el agua, como la *criptosporidiosis* o la *campilobacteriosis*. Una parte importante de los brotes conocidos de enfermedades transmitidas por el agua está vinculada a episodios de precipitación intensa acompañados, frecuentemente, de fallos de las plantas de tratamiento. [GTII 14.2.5, 8.2.5]

La floración de algas nocivas (FAN) en el agua dulce produce toxinas que podrían causar enfermedades humanas. Su aparición en aguas superficiales (ríos, o lagos) podría aumentar si aumenta la temperatura. Sin embargo, la amenaza para la salud humana es muy pequeña, ya que el contacto directo con las algas suele estar restringido. El riesgo de que el suministro de agua se contamine con ese tipo de toxinas es bajo, pero se desconocen sus implicaciones respecto a la salud humana. [GTII 8.2.4, 3.4.4]

En áreas en que la infraestructura de suministro de agua es deficiente, la transmisión de enteropatógenos alcanza un máximo durante la estación lluviosa. Además, se ha descubierto que la subida de las temperaturas está asociada a un mayor número de episodios de diarrea (Checkley et al., 2000; Singh et al., 2001; Vasilev, 2003; Lama et al., 2004). La incidencia subyacente de esas enfermedades está asociada a una higiene deficiente y a la imposibilidad de acceder a aguas salubres. [GTII 8.2.5]

4.3.1.2 Desastres: tempestades de viento y crecidas

En las secciones anteriores se ha descrito en qué manera afectará el cambio climático al riesgo de desastres relacionados con el agua, entre ellos las crecidas por desbordamiento de lagos glaciales, el aumento de intensidad de las mareas de tempestad, o el cambio respecto al riesgo de crecidas (véase la Sección 3.2), en particular de crecidas repentinas y urbanas, con algunas disminuciones del riesgo de crecidas primaverales por deshielo de nieve. [GTII 3.4.3] Las crecidas ocasionan un impacto importante sobre la salud, en términos tanto del número de defunciones y de la carga de enfermedad como de los daños en la infraestructura sanitaria. [GTII 8.2.2] Después de una crecida, el riesgo de enfermedades infecciosas suele ser bajo en los países con alto nivel de ingresos, pero en las poblaciones con una infraestructura deficiente y una elevada carga de enfermedades infecciosas es frecuente que aumenten las tasas de enfermedades diarreicas. Aumenta la evidencia de que los desastres relacionados con el clima afectan a la salud mental, y de que las personas que han padecido los efectos de una crecida sufren ansiedad y depresión prolongadas. [GTII 8.2.2, 16.4.5]

Las crecidas y las precipitaciones intensas podrían ocasionar la contaminación del agua con sustancias químicas, como metales pesados u otras sustancias peligrosas, procedentes de depósitos de almacenamiento, o presentes ya en el medio ambiente (por ejemplo, plaguicidas). El aumento de la densidad de población y del desarrollo industrial en áreas expuestas a desastres naturales incrementa tanto la probabilidad de desastres futuros como el potencial de exposición de gran número de personas a materiales peligrosos por esa razón. [GTII 8.2.2]

4.3.1.3 Sequía y enfermedades infecciosas

En un pequeño número de enfermedades infecciosas se ha establecido una relación entre ellas y la precipitación, no vinculada, ni en calidad ni en cantidad, al uso de agua potable ni a artrópodos vectores. La distribución espacial, intensidad y estacionalidad de la *meningitis* meningocócica (epidémica) en la región africana del Sahel está relacionada con factores climáticos y medioambientales, particularmente la sequía, aunque el mecanismo causal no se conoce con suficiente detalle. La distribución geográfica de la *meningitis* se ha extendido por el África occidental en los últimos años, lo cual podría atribuirse a la alteración del medio ambiente ocasionada tanto por los cambios de uso de la tierra como por el cambio climático a nivel regional. [GTII 8.2.3.1]

4.3.1.4 Tempestades de polvo

El polvo arrastrado por el viento proveniente de las regiones desérticas de África, la Península Arábiga, Mongolia, el Asia central y China podría afectar a la calidad del aire y a la salud de la población en áreas distantes. En presencia de polvo, el aire puede transportar, además de una mayor concentración de partículas respirables, sustancias vestigiales que podrían afectar a la salud humana, esporas de hongos, y bacterias. [GTII 8.2.6.4]

4.3.1.5 Enfermedades transmitidas por vectores

El clima influye en la distribución espacial, en la intensidad de transmisión y en la estacionalidad de las enfermedades transmitidas por vectores (por ejemplo, el paludismo) y por el caracol de agua (por ejemplo, la *esquistosomiasis*). [GTII 8.2.8] Durante las sequías, la actividad de los mosquitos es menor pero, si la transmisión se redujera de manera apreciable, la población de individuos no inmunes podría aumentar. A largo plazo, la incidencia de enfermedades transmitidas por mosquitos, como el paludismo, disminuye debido a la menor

abundancia de aquéllos, aunque la epidemia podría sobrevenir incluso en condiciones climáticas adecuadas. [GTII 8.2.3.1]

La distribución de la *esquistosomiasis*, enfermedad parasitaria relacionada con el agua de la que el caracol de agua es portador intermedio, está influida por factores climáticos en ciertos lugares. Por ejemplo, el cambio observado en la distribución de la *esquistosomiasis* en China durante el último decenio podría deberse en parte a la reciente tendencia al calentamiento. Se ha comprobado también que los sistemas de riego aumentan la incidencia de esa enfermedad cuando no se aplican medidas de control oportunas. [GTII 8.2.8.3]

4.3.2 Observaciones

Son muy diversas las causas subyacentes que podrían afectar y modificar el impacto del cambio climático sobre la salud humana. Dada la compleja relación existente entre factores climáticos y enfermedades, no suele ser posible atribuir los cambios de determinadas pautas de enfermedad a los cambios climáticos observados. Por otra parte, es difícil encontrar series de datos sanitarios de calidad y duración suficiente para realizar estudios al respecto. No se ha publicado ningún estudio sobre los efectos sanitarios de origen hídrico que describa pautas de enfermedad sólidamente atribuibles a los cambios climáticos observados. Hay, en cambio, cierto número de informes sobre las respuestas adaptativas del sector hídrico diseñadas para atenuar el impacto del cambio climático [GTII, Capítulo 7]

Las tendencias observadas respecto a los desastres relacionados con el agua (crecidas, tempestades de viento) y el papel desempeñado por el cambio climático son temas abordados en otros estudios. [GTII 1.3]

4.3.3 Proyecciones

El cambio climático tendrá previsiblemente una serie de efectos adversos sobre las poblaciones en que la infraestructura de distribución de agua y de saneamiento es inadecuada para satisfacer las necesidades locales. El acceso a aguas salubres sigue siendo un problema sanitario extremadamente importante a nivel mundial. Las regiones secas del planeta están habitadas por más de 2.000 millones de personas, que padecen en mayor medida malnutrición, mortalidad infantil y enfermedades relacionadas con la contaminación o la escasez de agua. La escasez de agua constituye una importante limitación para el desarrollo sostenible (Rockstrom, 2003). [GTII 8.2.5, 8.4.2.2]

4.3.4 Adaptación, vulnerabilidad y desarrollo sostenible

Las deficiencias de los sistemas de salud pública y un limitado acceso a la atención sanitaria primaria contribuyen a agravar los niveles de vulnerabilidad y a reducir la capacidad de adaptación de cientos de millones de personas. [GTII 8.6] Existen limitaciones fundamentales en los países de bajo nivel de ingresos, en los cuales la salud de la población depende de las mejoras de los sectores sanitario, hídrico, agrario, de transporte, de energía y de vivienda. La pobreza y la gobernanza deficiente son los obstáculos más graves para conseguir una adaptación efectiva. A pesar del crecimiento económico, es *probable* que los países de bajo nivel de ingresos sigan siendo vulnerables a medio plazo, y que tengan menos opciones de adaptación al cambio climático que los países de alto nivel de ingresos. Por consiguiente, para que las estrategias de adaptación sean efectivas, éstas deberían enmarcarse en las políticas de desarrollo, medio ambiente y salud vigentes en el área abarcada. Muchas de las opciones que podrían utilizarse para reducir la vulnerabilidad futura son de utilidad para adaptarse al clima actual, y podrían utilizarse también para alcanzar otros objetivos medioambientales y sociales. [GTII 8.6.3]

Antes de poner en práctica cualquier estrategia de adaptación, convendría evaluar sus posibles efectos adversos para la salud. Se ha constatado, por ejemplo, que las micropresas y los programas de riego incrementan la mortalidad por paludismo. [GTII 8.6.4] Las medidas de lucha contra la escasez de agua, como la reutilización de aguas de desecho no tratadas o parcialmente tratadas con fines de riego, tienen también implicaciones respecto a la salud humana. El riego es en la actualidad un factor de primer orden en la difusión de algunas enfermedades infecciosas, como el paludismo o la *esquistosomiasis* (Sutherst, 2004). Hay directrices estrictas sobre la calidad de las aguas de desecho destinadas al riego, cuya finalidad es prevenir los riesgos sanitarios aparejados por los organismos patógenos y asegurar la calidad de los cultivos (Steenvoorden and Endreny, 2004). Ciertas enfermedades, como la *helmintiasis*, se transmiten mediante el consumo de productos procedentes de cultivos regados con aguas contaminadas o de desecho; en las áreas rurales y suburbiales de los países de ingresos más bajos, la utilización de aguas fecales y residuales para el riego, que es una práctica común, viene a ser una fuente de transmisión de enfermedades de transmisión fecal-oral. En la actualidad, no menos de una décima parte de la población mundial consume productos procedentes de cultivos regados con aguas de desecho. Sin embargo, el aumento de la escasez de agua y de la demanda de alimentos, sumado a unas condiciones sanitarias deficientes, favorecerá la utilización de agua de baja calidad. Para controlar estos problemas será necesario elaborar programas de tratamiento de aguas de desecho y planificar su reutilización. [GTII 8.6.4, 3.4.4]

4.4 Abastecimiento de agua y saneamientos

Los efectos observados del cambio climático sobre la calidad y cantidad de los recursos hídricos han sido abordados detalladamente en las Secciones 4.2 y 4.3. En la presente sección se resumen los principales argumentos y se describen sus implicaciones respecto a los servicios de abastecimiento de agua y de saneamiento.

4.4.1 Contexto

En la Sección 4.3.1 se han expuesto diversas estadísticas sobre el acceso a un agua salubre. El acceso a un agua salubre está

Tabla 4.1: *Efectos observados del cambio climático, junto con sus impactos observados/posibles respecto a los servicios hidrológicos. [GTII, Capítulo 3]*

Efecto observado	Impactos observados/posibles
Aumento de la temperatura atmosférica	• Disminución de la disponibilidad del agua en cuencas alimentadas por glaciares en retracción, observada en ciertas ciudades andinas de América del Sur (Ames, 1998; Kaser and Osmaston, 2002)
Aumento de la temperatura superficial del agua	• Disminución del contenido de oxígeno disuelto, pautas de mezclado y capacidad de autodepuración • Mayor número de floraciones de algas
Aumento del nivel de mar	• Salinización de los acuíferos costeros
Cambios en las pautas de precipitación	• Variación de la disponibilidad del agua, debida a los cambios de precipitación y a otros fenómenos similares (por ejemplo, recarga de las aguas subterráneas, evapotranspiración)
Aumento de la variabilidad interanual	• Mayor dificultad para controlar las crecidas y para utilizar los reservorios durante la estación de crecidas
Aumento de la evapotranspiración	• Menor disponibilidad de agua • Salinización de los recursos hídricos • Disminución del nivel freático
Aumento de la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos	• Las crecidas afectan a la calidad del agua y a la integridad de la infraestructura hidrológica, y acentúan la erosión fluvial, introduciendo así diversos tipos de poluyentes en los recursos hídricos • Las sequías afectan a la disponibilidad y calidad del agua

actualmente considerado como un derecho humano universal. Sin embargo, el mundo está tropezando con problemas cada vez mayores para la prestación del servicio de distribución de agua, particularmente en los países en desarrollo. Ello se debe a varias razones, no necesariamente vinculadas al cambio climático. La falta de agua disponible, una demanda cada vez mayor y más irregular como consecuencia del crecimiento de la población en áreas concentradas, el crecimiento de la urbanización, la mayor intensidad de uso de agua para mejorar el bienestar general, y la necesidad de mejorar la gobernanza del agua, son variables que dificultan enormemente la prestación satisfactoria de los servicios de abastecimiento de agua. En este contexto, el cambio climático representa simplemente una carga adicional para los servicios de abastecimiento de agua potable y para cualquier otra organización que preste servicios hidrológicos con miras a satisfacer las necesidades de sus clientes. Aunque a nivel local es difícil identificar los efectos del cambio climático, los efectos observados y las proyecciones constituyen un buen punto de partida para preparar el futuro.

4.4.2 Observaciones

En la Tabla 4.1 se resumen los posibles vínculos entre el cambio climático y los servicios hídricos.

4.4.3 Proyecciones

La *menor disponibilidad de agua* podría ser consecuencia de:

a. disminución del caudal en cuencas alimentadas por glaciares en retracción, y mayor duración y frecuencia de las estaciones secas,
b. disminución de las precipitaciones estivales, que conlleva un menor volumen de agua almacenada en reservorios alimentados por ríos estacionales (du Plessis et al., 2003),
c. variabilidad interanual de la precipitación, y cambios estacionales del flujo fluvial,
d. disminución del nivel de las aguas subterráneas no costeras,
e. aumento de la evapotranspiración por efecto de una mayor temperatura del aire, de una mayor duración del período de crecimiento y de un mayor uso de agua de riego,
f. salinización (Chen et al., 2004).

Las previsiones indican que el número de personas que podrían padecer un agravamiento del estrés hídrico podría cifrarse entre 400 millones y 1.700 millones de aquí al decenio de 2020, entre 1.000 millones y 2.000 millones de aquí al decenio de 2050, y entre 1.100 millones y 3.200 millones de aquí al decenio de 2080 (Arnell, 2004); la amplitud de estos intervalos refleja la diversidad de escenarios IE-EE considerados [GTII 3.2, 3.5.1]

En ciertas áreas, la escasa disponibilidad de agua ocasionará la sobreexplotación de las aguas subterráneas, que conllevará un mayor costo del abastecimiento de agua para todos los usos, debido a la necesidad de bombear aquélla a una mayor profundidad y desde lugares más lejanos. Además, la sobreexplotación de las aguas subterráneas podría ocasionar en ciertos casos el deterioro de la calidad del agua. En algunas regiones de India, Bangladesh, China,

norte de África, México y Argentina, más de 100 millones de personas padecen envenenamiento por arsénico y fluorosis (una enfermedad dental y ósea ocasionada por la ingesta excesiva de fluoruros con el agua potable) (UN, 2003); la situación podría agravarse si la población se viese obligada a consumir más agua subterránea por falta de fuentes de agua fiables en la superficie. [GTII 3.4.4]

Es *probable* que la mayor escasez de agua, sumada a una mayor demanda de alimentos y/o a un mayor uso de agua de riego por efecto del aumento de las temperaturas, redunde en una mayor reutilización del agua. En áreas con saneamientos insuficientes podría llegar a practicarse (por primera vez, o en mayor medida) una reutilización incontrolada de agua (con aguas poluidas, o incluso de desecho). [GTII 3.3.2, 8.6.4]

Deterioro de la calidad del agua causado por la variación del flujo. La disminución de los recursos hídricos incrementaría la concentración de poluyentes en el agua debido a su menor capacidad de dilución. [GTII 3.4.4, 14.4.1] Además, debido a la erosión fluvial, el aumento de los caudales fluviales desplazará y transportará hacia los recursos hídricos diversos compuestos presentes en el suelo. [GTII 3.4]

Análogamente, cabe esperar un aumento de las tasas de morbilidad y mortalidad a causa de enfermedades transmitidas por el agua, tanto en los escenarios más húmedos como en los más secos, imputable a la insuficiencia del suministro de agua potable (Kovats et al., 2005; Ebi et al., 2006) y a la mayor presencia de patógenos transportados por los cuantiosos caudales de agua durante los episodios de precipitación extrema. El aumento de la precipitación podría ocasionar asimismo un aumento de la turbidez y de la carga de nutrientes en el agua. El servicio de distribución de agua potable de la ciudad de Nueva York ha identificado en los fenómenos de intensa precipitación uno de sus problemas más importantes en relación con el cambio climático, ya que pueden inducir un aumento de la turbidez en algunos de los principales depósitos de la ciudad más de 100 veces superior al límite legalmente establecido respecto a la calidad de origen en los puntos de toma, lo que obliga a un importante tratamiento adicional, con los costos de supervisión consiguientes (Miller and Yates, 2006). [GTII 3.5.1]

Aumento de la escorrentía. En algunas regiones mejorará la disponibilidad de agua, eventualidad que, considerando la situación actual de los recursos hídricos mundiales, será en líneas generales beneficiosa. Es necesario, sin embargo, adoptar medidas que permitan aprovechar esa evolución en beneficio de la humanidad. Por ejemplo, a pesar del aumento de escorrentía previsible en el este y sur de Asia por efecto del cambio climático, es posible que no se consiga resolver el problema de la escasez de agua en esas áreas, debido a la falta de recursos que permitirían ampliar la capacidad de almacenamiento necesaria para captar el agua adicional y poder así utilizarla durante la estación seca. [GTII 3.5.1]

El aumento de la precipitación en las ciudades podría afectar al funcionamiento de los sistemas de alcantarillado; las sobrecargas no controladas podrían introducir en los recursos hídricos poluyentes microbianos y químicos, difíciles de eliminar mediante los métodos convencionales de tratamiento del agua potable. Diversos estudios demuestran que la transmisión de enteropatógenos resistentes a la cloración (*Cryptosporidium,* por ejemplo) aumenta durante la estación de lluvias (Nchito et al., 1998; Kang et al., 2001). Esta situación podría agravarse aún más en los países en desarrollo, donde el nivel de salud es inferior y el contenido patógeno de las aguas de desecho es más elevado (Jiménez, 2003). Además, las precipitaciones extremas causantes de crecidas entrañan un riesgo para la infraestructura hidrológica. Durante las crecidas, se averían con frecuencia las instalaciones de tratamiento de agua de abastecimiento y de desecho, dejando así a la población sin protección sanitaria [GTII 3.2, 3.4.4, 8.2.5]

Deterioro de la calidad del agua por efecto del aumento de las temperaturas. El aumento de las temperaturas, sumado al de las concentraciones de fósforo en lagos y reservorios, favorece la floración de algas que deterioran la calidad del agua confiriéndole un color, olor y sabor desagradables y, posiblemente, haciéndola tóxica para los seres humanos, para el ganado y para la fauna silvestre. Su tratamiento es extremadamente costoso en base a la tecnología disponible, incluso para los servicios hídricos de los países desarrollados (Environment Canada, 2001). El aumento de la temperatura del agua facilitará asimismo la transferencia a la atmósfera de poluyentes volátiles y semivolátiles (amoníaco, mercurio, PCB (policlorobifenilos), dioxinas y plaguicidas) presentes en el agua de abastecimiento y de desecho. [GTII 3.4.4]

Aumento de la salinización. La salinización del agua extraída de los acuíferos costeros como consecuencia del aumento del nivel del mar constituye un problema de la mayor importancia, ya que la cuarta parte de la población mundial aproximadamente vive en áreas de la costa en que suele escasear el agua y en que la población aumenta con rapidez (Small and Nicholls, 2003; Millenium Ecosystems Assessment, 2005b). La salinización podría afectar asimismo a los acuíferos de tierra firme, debido a la disminución de la recarga de agua subterránea (Chen et al., 2004). [GTII 3.2, 3.4.2]

En lo referente a los servicios hidrológicos, las poblaciones más afectadas por el cambio climático serán las situadas en las cuencas de África, región del Mediterráneo, Oriente Próximo, sur de Asia, norte de China, Australia, Estados Unidos, centro y norte de México, nordeste de Brasil, y costa occidental de América del Sur, que padecen ya estrés hídrico. Los más expuestos a este peligro serán los habitantes de megalópolis, de áreas rurales fuertemente dependentes del agua subterránea, de islas pequeñas, y de cuencas alimentadas por glaciares o por el deshielo de nieve (más de una sexta parte de la población mundial vive en cuencas alimentadas por agua de deshielo). Los problemas serán más acuciantes en las áreas económicamente deprimidas, en que el estrés hídrico se verá agravado por factores socioeconómicos (Alcamo and Henrichs, 2002; Ragab and Prudhomme, 2002). [GTII 3.3.2, 3.5.1]

4.4.4 Adaptación, vulnerabilidad y desarrollo sostenible

A la vista de los problemas expuestos, es importante que los servicios de distribución de agua potable de esas regiones elaboren los planes correspondientes. Los servicios de abastecimiento de agua potable están, en su mayoría, preparados para afrontar el cambio, relativamente pequeño, de las temperaturas y de las precipitaciones medias que sobrevendría en los próximos decenios, excepto en casos límite en que una variación de los valores medios obligaría a modificar el diseño del sistema o la tecnología utilizada (por ejemplo, cuando la disminución de la precipitación obligue a instalar reservorios adicionales (Harman et al., 2005), ocasione una intrusión salina en los tramos inferiores de un río, o haga necesarios nuevos sistemas de tratamiento del agua para eliminar la sal). Encontramos un ejemplo reciente de adaptación en el sur de África, en la ciudad de Beira, Mozambique, (Ruosteenoja et al., 2003), que está trasladando 5 km hacia el interior su estación de bombeo, que se encuentra ya a 50 km de distancia, para asegurarse la disponibilidad de agua dulce. [GTII 7.4.2.3.1]

Los servicios hídricos suelen distribuir el agua mediante sistemas mecánicos. Tales sistemas han sido diseñados incorporando factores de seguridad, y tienen una esperanza de vida útil de entre 20 y 50 años (para los reservorios de almacenamiento esta cifra podría ser incluso superior). La resistencia del sistema de suministro de agua y del funcionamiento de la infraestructura hidrológica suele estudiarse atendiendo únicamente a las condiciones observadas. Deberían tenerse en cuenta también las proyecciones climáticas, particularmente con los sistemas diseñados para hacer frente a crecidas o sequías.

Menor disponibilidad de agua. Excepto en un pequeño número de países industrializados, el consumo de agua está aumentando en todo el mundo debido al crecimiento demográfico y económico, a la evolución de los estilos de vida y al crecimiento de los servicios de abastecimiento de agua potable. [GTII 3.3] Es importante implementar programas de uso de agua eficientes en las regiones en que *probablemente* disminuirá la disponibilidad de agua, ya que podrían ser necesarias grandes inversiones para conseguir un suministro adecuado, o construyendo nuevos reservorios de almacenamiento o haciendo uso de fuentes de agua alternativas. La disminución del consumo de agua podría retrasar, e incluso eliminar, la necesidad de infraestructura adicional. Una de las maneras más rápidas de incrementar la disponibilidad de agua consistiría en minimizar las pérdidas de las redes de abastecimiento urbanas y de los sistemas de riego. Otras alternativas que atenuarían la necesidad de nuevos suministros de agua son la captación de agua de lluvia y la reutilización controlada del agua [GTII 3.5, 3.6]

Disminución de la calidad del agua por efecto de las variaciones del flujo. La protección de los recursos hídricos es una estrategia importante, y eficaz en términos de costo, para resolver los problemas de calidad del agua en el futuro. Aunque es ya una práctica común en ciertos países, se hacen necesarias nuevas metodologías para la gestión de la calidad del agua en todo el mundo. Una de ellas consistiría en la implantación de planes de salubridad hídrica (PSH) que permitan evaluar y gestionar íntegramente los riesgos desde la cuenca de captación hasta el consumidor, como se propuso en WHO (2005). Además, convendría examinar periódicamente el diseño y funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua de abastecimiento y de desecho, particularmente en áreas vulnerables, a fin de asegurar, e incluso mejorar, su fiabilidad y su capacidad para hacer frente a unas variaciones de flujo de magnitud incierta.

Desalinización. Los métodos de tratamiento de agua son una opción que permitiría resolver los problemas de aumento de la salinidad en los lugares amenazados, como las áreas costeras muy urbanizadas que dependen de acuíferos sensibles a la intrusión salina. En la actualidad, las tecnologías disponibles son generalmente de membrana, y más costosas que los métodos tradicionales de tratamiento de agua dulce. El costo de desalinización del agua marina se estima en torno a 1 dólar/m^3, el del agua salobre en 0,60 dólares/m^3 (Zhou and Tol, 2005), y la cloración de agua dulce en 0,02 dólares/m^3. Afortunadamente, el costo ha ido disminuyendo, aunque comporta todavía una alta demanda de energía. Los costos de la desalinización deben juzgarse en comparación con el costo de prolongación de las conducciones y, en su caso, de reubicación de las instalaciones de tratamiento para conseguir acceso a un agua dulce. A efectos prácticos, el costo de construcción de las instalaciones de extracción y tratamiento, más la red de bombeo para el abastecimiento de la población urbana, es aproximadamente la mitad del costo total del sistema. [GTII 7.5] Sin embargo, en las áreas costeras de Egipto, China, Bangladesh, India y sureste de Asia, densamente pobladas, los costos de desalinización podrían seguir siendo prohibitivos. [GTII 3.5.1] Si en un futuro aumentara el recurso a la desalinización, habría que considerar algunos aspectos medioambientales secundarios: el efecto sobre los organismos marinos y su arrastre por las plantas de desalinización de agua marina, y la evacuación sin riesgo de salmueras de alta concentración que pueden contener también otros productos químicos. [GTII 3.3.2]

Otras posibles soluciones al problema del agua de desecho. Será necesario idear estrategias que permitan a los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento hacer frente a caudales cada vez mayores y más variables. Por ejemplo, la utilización de sistemas descentralizados, la construcción de sistemas de alcantarillado independientes, el tratamiento de los reboses combinados del alcantarillado (es decir, la mezcla de aguas de desecho y escorrentía en las ciudades), o la inyección de agua de lluvia en el subsuelo. Dado el elevado costo que conlleva la ampliación de capacidad de las plantas de tratamiento de aguas de desecho urbanas, convendría recurrir a sistemas de financiación adecuados que tengan en cuenta las condiciones locales. En las áreas rurales, la cobertura de los saneamientos suele ser muy reducida, y es necesario formular planes de actuación a nivel local basados en tecnologías de bajo costo, atendiendo a las condiciones locales y con participación de la comunidad. [GTII 7.4.2.3]

Mejor administración de los recursos hídricos. Además de las medidas de adaptación ya expuestas, debe considerarse otro instrumento eficiente: una gestión integrada del agua que incorpore, como variable adicional, el cambio climático. La disminución, el aumento o la mayor variabilidad de la disponibilidad de agua ocasionarán conflictos entre sus consumidores (agricultura, industrias, ecosistemas y asentamientos). Las instituciones que administran la distribución del agua desempeñarán un papel destacado a la hora de determinar el impacto social de una mayor o menor disponibilidad de agua a nivel mundial, y a la hora de distribuir las ganancias y pérdidas entre los diferentes sectores de la sociedad. Los organismos institucionales necesitan encontrar mejores formas de repartir el agua, en base a principios (por ejemplo, de equidad y eficiencia) que podrían ser políticamente difíciles de aplicar en la práctica. Además, tendrán que considerar la gestión de las cuencas internacionales y de las cuencas superficiales y subterráneas. [GTII 3.5.1]

Para poder hacer frente al estrés adicional inducido por el cambio climático será necesaria la participación pública en la planificación hídrica, particularmente en lo que se refiere al cambio de mentalidad acerca del valor del agua, a la importancia y el papel que la reutilización del agua desempeñará en el futuro, y al grado en que la sociedad está dispuesta a contribuir a la mitigación de los efectos relacionados con el agua.

Para implementar una política basada en los principios de gestión integrada del agua, hay que procurar mejorar la coordinación entre las diversas entidades gubernamentales y revisar los marcos institucionales y legales que faciliten la aplicación de medidas de adaptación. El cambio climático afectará a todos cuantos están vinculados al proceso de gestión del agua, entre ellos los consumidores. Por consiguiente, todos debemos ser conscientes de los posibles impactos sobre el sistema, a fin de adoptar decisiones adecuadas y de estar preparados para desembolsar los costos consiguientes. En lo referente, por ejemplo, a las normas de evacuación de aguas de desecho, es posible que haya que revisar en su conjunto la estrategia utilizada, siempre y cuando esté basada en la capacidad de autodepuración del agua superficial, que disminuirá con el aumento de la temperatura. [GTII 3.4.4]

Países desarrollados. En los países desarrollados, el agua potable es sometida a un completo tratamiento antes de su suministro al consumidor, y el nivel de tratamiento del agua de desecho es bastante elevado. Es necesario que esos beneficios, así como la adecuada protección de las fuentes de agua, no se pierdan si llega a acontecer un cambio climático, aunque haya que incurrir en costos adicionales, por ejemplo si se imponen nuevas necesidades de tratamiento del agua. En pequeñas comunidades y áreas rurales, podría considerarse la protección de las fuentes de agua como opción más beneficiosa en términos de costo.

Países en desarrollo. Por desgracia, algunos países tal vez no tendrán los recursos económicos suficientes para hacer frente a los problemas que acarreará el cambio climático. Los países pobres necesitan ya recursos adicionales para superar los problemas de una infraestructura inadecuada, y serán por consiguiente más vulnerables a los impactos proyectados respecto a la cantidad y calidad del agua, a menos que que encuentren opciones de bajo costo y opciones de financiación asequibles.

Dado que algunas de las opciones de adaptación y mitigación identificadas son simplemente inviables, es posible que los países en desarrollo tengan que adaptarse recurriendo a prácticas no sostenibles, por ejemplo la sobreexplotación creciente de las aguas subterráneas, o la reutilización de una cantidad mayor de agua de desecho no tratada. Estas 'soluciones' son interesantes, porque podrían ponerse en práctica con facilidad a nivel individual y personal. Por consiguiente, es necesario desarrollar opciones inocuas y poco costosas que no impliquen necesariamente soluciones convencionales, particularmente para abastecer de agua a comunidades de escasos recursos en las que, en muchos casos, ni siquiera existen empresas de abastecimiento de agua propiamente dichas. Lamentablemente, son pocos los estudios disponibles al respecto. [GTII 3.4.3, 8.6.4]

En resumen, el cambio climático podría tener efectos tanto positivos como negativos sobre los servicios hídricos. Importa, pues, ser consciente de sus consecuencias a nivel local, y elaborar planes en consonancia. En el momento actual, sólo algunas empresas de distribución de agua de ciertos países, en particular Países Bajos, Reino Unido, Canadá y Estados Unidos, han empezado a considerar las implicaciones del cambio climático en el contexto del control de las crecidas y de la gestión del suministro de agua. [GTII 3.6]

4.5 Asentamientos e infraestructura

Los cambios respecto a la disponibilidad de agua, a su calidad, a las características de la precipitación y a la probabilidad y magnitud de las crecidas desempeñarán previsiblemente un importante papel en la materialización de los efectos del cambio climático sobre los asentamientos humanos y la infraestructura (Shepherd et al., 2002; Klein et al., 2003; London Climate Change Partnership, 2004; Sherbinin et al., 2006). Estos efectos variarán de unas regiones a otras. Además, dependerán en gran medida de la ubicación geográfica, del nivel de desarrollo socioeconómico, de las instituciones responsables de la asignación del agua, de la naturaleza de la base económica local, de las características de la infraestructura y de otros agentes estresantes. Entre ellos cabe señalar la polución, la degradación de los ecosistemas, el hundimiento de la tierra (debido a la pérdida de permafrost, a procesos isostáticos naturales o a actividades humanas como, por ejemplo, la utilización de aguas subterráneas), y el crecimiento demográfico (UNWWAP, 2003, 2006; Faruqui et al., 2001; UNDP, 2006). Los lugares del planeta en que más peligra el suministro de agua dulce por efecto del cambio climático son las islas pequeñas, los países áridos y semiáridos en desarrollo, las regiones que obtienen el agua dulce de ríos alimentados por la fusión de los glaciares o por el deshielo estacional, los países con una alta proporción de tierras bajas costeras, y las megalópolis costeras, particularmente en la región de Asia y el Pacífico (Alcamo and Henrichs, 2002; Ragab and Prudhomme, 2002). [GTII 6.4.2, 20.3]

Es *muy probable* que el aumento de la densidad de población en los lugares de alto riesgo, como las áreas costeras y ribereñas, agrave la vulnerabilidad a los efectos hídricos del cambio climático; en particular, a los daños ocasionados por crecidas y tempestades, y a la degradación de la calidad del agua por efecto de la intrusión salina. [GTII 6.4.2, 7.4.2.4] También es *probable* que los asentamientos cuya economía esté estrechamente vinculada a actividades sensibles al clima y dependientes del agua, como la agricultura de regadío, el turismo acuático o el esquí sobre nieve, sean particularmente vulnerables al impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos (Elsasser and Burki, 2002; Hayhoe et al., 2004). [GTII 7.4.3, 12.4.9]

La infraestructura asociada a los asentamientos abarca edificios, redes de transporte, instalaciones costeras, infraestructura de abastecimiento de agua y de agua de desecho, y redes de distribución de energía eléctrica. Entre los impactos que afectarían a la infraestructura cabe señalar los daños directos (por ejemplo, por efecto de crecidas o de inestabilidades estructurales ocasionadas por la erosión pluvial o por cambios de la capa freática) y los impactos sobre la operatividad, el costo y la adecuación de unas instalaciones no diseñadas para las condiciones climáticas que, según las proyecciones, prevalecerán en el futuro. [GTII 3.4.3, 3.5, 7.4.2.3]

4.5.1 Asentamientos

Gran número de asentamientos humanos carecen actualmente de un suministro adecuado de agua salubre. La Organización Mundial de la Salud estima que 1.100 millones de personas en todo el mundo carecen de acceso a agua potable salubre, y otros 2.400 millones no tienen acceso a unos saneamientos adecuados (WHO/UNICEF, 2000). Los hogares urbanos de escasos recursos no suelen tener acceso a la red de abastecimiento de agua, y son, por ello, particularmente vulnerables a las subidas de precio del agua potable (UN-HABITAT, 2003; UNCHS, 2003, 2006; UNDP, 2006). En Yakarta, por ejemplo, se ha sabido que algunas viviendas sin suministro regular de agua potable destinan hasta un 25% de sus ingresos al agua, mientras que en Ammán, Jordania, durante el caluroso verano de 1998 los residentes del campo de refugiados que carecían de acceso al servicio municipal de aguas potables tuvieron que pagar tasas de agua mucho más altas que otros núcleos familiares (Faruqui et al., 2001). Es *muy probable* que los impactos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua y sobre su calidad en origen planteen cada vez mayores dificultades para resolver esos problemas, particularmente en áreas en que el estrés hídrico aumentará previsiblemente, debido a la disminución de la escorrentía y al aumento de la población. [GTII 3.5.1] En las áreas semiáridas de los países en desarrollo, los asentamientos con altas tasas de crecimiento, particularmente las comunidades con pocos recursos y escasa capacidad de adaptación, son particularmente vulnerables a una menor disponibilidad de agua y, por consiguiente, al aumento de costo vinculado a la consecución de un suministro fiable (Millenium Ecosystems Assessment, 2005b). [GTII 7.4]

Tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados, el rápido aumento de la población en las ciudades costeras, que previsiblemente continuará, agravará la exposición humana a las crecidas y a los daños ocasionados por tempestades, huracanes y otros fenómenos similares en las costas. [GTII 7.4.2.4] Ese mismo desarrollo está contribuyendo en los deltas a la pérdida de humedales que podrían amortiguar los efectos de las tempestades. [GTII 6.4.1.2] Además, gran parte del aumento de población acaece en áreas costeras con relativa escasez de agua, agravando de ese modo los desequilibrios entre la demanda y la disponibilidad de agua (Small and Nicholls, 2003; Millenium Ecosystems Assessment, 2005b).

4.5.2 Infraestructura

4.5.2.1 Redes de transporte

Las crecidas causadas por la subida del nivel del mar y por el cambio de intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos (por ejemplo, tempestades, o huracanes) amenazan las redes de transporte en ciertas áreas. Podría haber crecidas de esas características en las calles o en las instalaciones de metro, y los deslizamientos de tierra y las crecidas podrían dañar puentes, carreteras y ferrocarriles. En Londres, cuyo metro es el más antiguo del mundo, las proyecciones indican que la intensificación del régimen de precipitación agravaría el riesgo de inundación del metro y de las autopistas. Ello obligaría a mejorar los sistemas de drenaje de esas redes (Arkell and Darch, 2006). Análogamente, una reciente investigación sobre el sistema de transporte de superficie en el área metropolitana de Boston predijo que el aumento de las crecidas ocasionaría un mayor número de retrasos y cancelaciones de viajes, lo cual se traduciría en una pérdida de jornadas laborales y de ventas, y en una menor productividad (Suarez et al., 2005). Estos costos, sin embargo, serían pequeños comparados con los daños que las crecidas infligirían a la infraestructura de transportes de Boston (Kirshen et al., 2006). [GTII 7.4.2.3.3] Como ejemplo de vulnerabilidad real que podría agravarse con la intensificación del régimen de precipitaciones, la empresa india Konkan Railway desembolsa cada año aproximadamente un millón de dólares en daños por deslizamientos de tierra durante la estación de lluvias (Shukla et al., 2005). [GTII 7.4.2.3.3]

4.5.2.2 Construcciones

Las inundaciones, los deslizamientos de tierra y las tempestades de gran intensidad (por ejemplo, los huracanes) entrañan un riesgo máximo de daños en los edificios, tanto en los países desarrollados como en desarrollo, debido a la presencia cada vez mayor de viviendas y otras propiedades en áreas costeras, laderas, barrancos y otros lugares de riesgo (Bigio, 2003; UN-HABITAT, 2003). Los asentamientos irregularmente instalados en áreas urbanas de países en desarrollo son particularmente vulnerables, ya que tienden a ubicarse en lugares relativamente peligrosos susceptibles a las crecidas, a los deslizamientos de tierra y a otros desastres de origen climático (Cross, 2001; UN-HABITAT, 2003). [GTII 7.4.2.4]

Otros impactos sobre los edificios consistirían en una posible aceleración de su desgaste externo, a consecuencia de la intensificación de las precipitaciones y de una mayor frecuencia de tempestades (véase, por ejemplo, Graves and Phillipson, 2000), y en un aumento de los daños estructurales ocasionados

por el agotamiento y hundimiento de la capa freática (véase, por ejemplo, Sanders and Phillipson, 2003), o por la elevación de la capa freática (Kharkina, 2004). [GTII 3.5]

Otro aspecto problemático es el futuro comportamiento de los sistemas de evacuación de agua de tempestad. En las regiones afectadas por tempestades cada vez más intensas, deberá aumentar la capacidad de esos sistemas para evitar las crecidas locales y los daños ocasionados por éstas en edificios y demás infraestructura (UK Water Industry Research, 2004). [GTII 7.6.4]

4.5.2.3 Infraestructura costera

En las tierras bajas, la infraestructura de las áreas costeras es vulnerable a los daños causados por la elevación del nivel del mar, las inundaciones, los huracanes y otras formas de tempestad. El volumen de infraestructura costera en peligro está aumentando con rapidez por efecto del continuo crecimiento de las ciudades costeras y del aumento del turismo en áreas tales como el Caribe (véase, por ejemplo, Hareau et al., 1999; Lewsey et al., 2004; Kumar, 2006). En ciertas áreas, el costo estimado de los daños ocasionados por la subida del nivel del mar suele ser importante. En Polonia, por ejemplo, el costo estimado de los daños ocasionados por un aumento del nivel del mar de un metro de aquí a 2100 ascendería a 30.000 millones de dólares, debido a su impacto sobre áreas urbanas, alcantarillado, puertos, y otros elementos de infraestructura (Zeidler, 1997). En ese mismo estudio se estima que en Vietnam, donde el aumento del nivel del mar sería de un metro, 17 millones de personas padecerían los efectos de las crecidas, y los daños ocasionados podrían alcanzar los 17.000 millones de dólares, con impactos importantes en el interior, lejos de la zona costera. [GTII 6.3, 6.4, 6.5]

4.5.2.4 Infraestructura energética

Los cambios hidrológicos afectarían directamente a la producción de las centrales hidroeléctricas, tanto de las actualmente existentes como de los posibles proyectos futuros. El grado de desarrollo hidroeléctrico presenta importantes diferencias regionales. En África, donde el potencial hidroeléctrico está escasamente aprovechado, las simulaciones de cambio climático para la central hidroeléctrica Batoka Gorge, en el río Zambeze, arrojan una disminución importante del caudal fluvial (por ejemplo, una disminución del caudal mensual medio de entre $3{,}21 \times 10^9$ m^3 y $2{,}07 \times 10^9$ m^3) y una reducción de la producción de energía eléctrica (por ejemplo, una disminución de la producción mensual media de entre 780 GWh y 613 GWh) (Harrison and Whittington, 2002). La potencia hidroeléctrica disminuiría también en otros lugares y períodos en que las proyecciones indican una disminución del caudal del río (véase, por ejemplo, Whittington and Gundry, 1998; Magadza, 2000). En otras áreas, las proyecciones indican un aumento de la generación hidroeléctrica. Por ejemplo, las estimaciones para el decenio de 2070 en base al escenario de emisiones IS92a indican que el potencial de producción de electricidad de las centrales hidroeléctricas al finalizar el siglo XX se incrementará entre un 15 y un 30% en Escandinavia y norte de Rusia, donde entre un 19% (Finlandia) y cerca de un 100% (Noruega) es de origen hidroeléctrico (Lehner et al., 2005). [GTII 3.5] Otras infraestructuras de energía, como las líneas de conducción de corriente eléctrica, las plataformas petroleras marinas o los oleoductos, podrían ser vulnerables a los daños ocasionados por las crecidas y por tempestades de mayor intensidad. [GTII 7.5] Además, los problemas de disponibilidad de agua de refrigeración (debido a su menor cantidad o a su mayor temperatura) podrían perturbar el suministro de energía, afectando adversamente a la producción de energía de las centrales eléctricas, térmicas y nucleares (EEA, 2005).

4.5.3 Adaptación

Los impactos vinculados a la alteración de la frecuencia de crecidas y sequías, o de la cantidad, calidad o estacionalidad del agua disponible podrían atenuarse mediante una inversión apropiada en infraestructura, y modificando consiguientemente la gestión del agua y el uso de la tierra. Una planificación coordinada podría ser útil, ya que existen muchos puntos de interacción entre los impactos ejercidos por el clima sobre las diferentes infraestructuras. Por ejemplo, el colapso de las defensas contra las crecidas podría traer aparejado el corte del suministro eléctrico, que a su vez dejaría sin servicio a las estaciones de bombeo de agua y a las de tratamiento de aguas de desecho.

Una mejor integración de la variabilidad climática actual en la gestión de los recursos hídricos facilitaría la adaptación al futuro cambio climático (*grado de confianza muy alto*). [GTII 3.6] Por ejemplo, la gestión del riesgo de crecidas actual mediante la interposición de áreas verdes y espacios naturales de contención en torno a los ríos que atraviesan las áreas urbanas contribuiría a paliar los efectos adversos de las escorrentías ocasionadas por unas tempestades futuras más intensas. Con todo, cualquiera de estas respuestas entraña costos no sólo económicos, sino también en términos de impacto social y, en particular, vinculados a la necesidad de solucionar los conflictos que pudieran surgir entre los diferentes grupos de interés. [GTII 3.5]

4.6 Economía: seguros, turismo, industria, transporte

4.6.1 Contexto

El clima y los recursos hídricos afectan a varios sectores económicos secundarios y terciarios, como los seguros, la industria, el turismo o el transporte. Los efectos hídricos del cambio climático sobre esos sectores podrían ser positivos o negativos, pero los extremos climáticos y otros cambios abruptos tienden a afectar a los sistemas humanos con mayor dureza que los cambios graduales, en parte porque se dispone de menos tiempo para adaptarse a ellos. [GTII 7.1.3]

Las pérdidas experimentadas a nivel mundial ponen de manifiesto el rápido aumento de los costos por efecto de fenómenos meteorológicos extremos desde los años 70. En cierto estudio se concluye que, aunque la señal predominante siga siendo un importante aumento del valor atribuido a la

exposición al riesgo, una vez normalizadas las pérdidas en términos de exposición sigue apreciándose una tendencia subyacente al alza. En determinadas regiones y para ciertos tipos de peligro, en particular el peligro de crecidas extremas de algunos grandes ríos, hay evidencia de un aumento en la frecuencia de acaecimiento. [GTII 1.3.8.5]

Como confirmación del gran impacto de la variabilidad climática sobre las pérdidas de las aseguradoras, las crecidas ocasionan un 10% de las pérdidas por aseguramiento en todo el mundo. La sequía tiene también repercusiones: datos relativos al Reino Unido indican un desfase entre el costo de los partes de siniestro por hundimiento y la (escasez de) precipitación estival. Sin embargo, en los países en desarrollo las pérdidas ocasionadas por los fenómenos extremos se cuantifican más en términos de vidas humanas que de resultados de las aseguradoras. La sequía del Sahel, por ejemplo, pese a su extrema gravedad, tuvo un impacto reducido sobre el sector financiero oficial, debido a la baja penetración de los seguros en esa región. [GTII TIE 8.2.3]

4.6.2 Costos socioeconómicos, mitigación, adaptación, vulnerabilidad, desarrollo sostenible

De todos los posibles impactos hídricos sobre el transporte, el más gravoso son las inundaciones. El costo en concepto de retrasos y de cancelaciones de viajes es relativamente pequeño en comparación con el daño ocasionado a la infraestructura y a otros tipos de bienes (Kirshen et al., 2006). En los últimos diez años, cuatro inundaciones ocasionaron daños superiores a los 10 millones de euros (13 millones de dólares) en instalaciones de metro, y hubo numerosos casos en que los daños fueron de menor cuantía (Compton et al., 2002). [GTII 7.4.2.3.3]

Suele considerarse que los sectores industriales son menos vulnerables a los impactos del cambio climático que, por ejemplo, la agricultura. Las excepciones más señaladas son las instalaciones industriales situadas en áreas sensibles al clima (por ejemplo, llanuras inundables) (Ruth et al., 2004) y las dependientes de materias primas sensibles al clima, como las fábricas de elaboración de alimentos. [GTII 7.4.2.1]

En cada país, la cobertura específica de los seguros contra riesgos vendrá determinada por los efectos de los desastres precedentes. Dada la alta concentración de pérdidas que ocasionan las crecidas catastróficas, el nivel de contratación de seguros contra crecidas con empresas privadas suele ser bajo (e incluso nulo); por ello, en varios países la Administración ha desarrollado planes de aseguramiento alternativos respaldados por el Estado (Swiss Re, 1998). [GTII 7.4.2.2.4]

En el sector financiero, los riesgos relacionados con el cambio climático son contemplados cada vez más frecuentemente en determinados sectores 'susceptibles', como las centrales hidroeléctricas, la irrigación y la agricultura, o el turismo (UNEP/GRID-Arendal, 2002). [GTII 7.4.2.2]

El cambio climático afectaría al turismo en lo que se refiere a la disponibilidad de agua, que podría cambiar en sentido positivo o negativo (Braun et al., 1999; Uyarra et al., 2005). El calentamiento climático abre la posibilidad de ampliar la extensión de medioambientes exóticos (los palmerales de la Europa occidental, por ejemplo), lo cual, aunque podría ser positivo para algunos turistas, podría ocasionar también la extensión en el espacio y la proliferación de enfermedades transmitidas por el agua y por vectores. Las sequías y la extensión de los medioambientes áridos (y de los efectos de los fenómenos meteorológicos extremos) podría desalentar el turismo, aunque no se sabe con certeza qué es lo que sería inaceptable para los turistas. [GTII 7.4.2.2.3] Las áreas que dependen de la disponibilidad de nieve (por ejemplo, para el turismo de invierno) son algunas de las más vulnerables al calentamiento global. [GTII 11.4.9, 12.4.9, 14.4.7]

El transporte de mercancías por vías navegables interiores (por ejemplo, el Rin) podría resultar más dificultoso en situaciones de crecida y de sequía (Parry, 2000). [GTII 7.4.2.2.2]

Los seguros diversifican el riesgo y coadyuvan a la adaptación, mientras que la gestión de los fondos de aseguramiento tiene implicaciones respecto a la mitigación. [GTII 18.5] En relación con la infraestructura de transporte, los costos y beneficios de la adaptación han sido evaluados en menor medida (véase, por ejemplo, Dore and Burton, 2001). [GTII 17.2.3]

5

Análisis de los aspectos regionales del cambio climático y de los recursos hídricos

5.1 África

5.1.1 Contexto

El agua es uno más de una serie de problemas cruciales, presentes y futuros, que afectan a África. El suministro de agua de origen fluvial, lacustre y pluvial se caracteriza por su desigual distribución geográfica natural y accesibilidad, y por un uso insostenible del agua. Es posible que el cambio climático ejerza presiones adicionales sobre la disponibilidad y accesibilidad del agua. En Arnell (2004) se describen las implicaciones de los escenarios IE-EE del IPCC en base a una proyección de la escorrentía fluvial para 2050 obtenida mediante el modelo climático HadCM3[20]. Estos experimentos indican una disminución significativa de la escorrentía en el África septentrional y austral, y un aumento proyectado de la escorrentía en el África oriental y en ciertas áreas del África subsahariana semiárida. Sin embargo, los resultados multimodelo (Figuras 2.8 y 2.9) muestran variaciones importantes entre modelos, cuyas conclusiones más robustas son una disminución en el África septentrional y un aumento en el África oriental. Hay una gran disparidad entre las proyecciones de precipitación para el África subsahariana: según algunos modelos, la precipitación aumentaría y, según otros, disminuiría. Los impactos proyectados deberían contemplarse en el contexto de esta amplia incertidumbre. [GTI 11.2, Tabla 11.1; GTII 9.4.1]

De aquí a 2025, la disponibilidad de agua en nueve países[21], principalmente del África oriental y austral, sería inferior a 1.000 m^3/persona/año. En doce países[22], el límite estaría entre 1.000 y 1.700 m^3/persona/año, y la población amenazada de estrés hídrico podría ascender a 460 millones de personas, principalmente en el África occidental (UNEP/GRID-Arendal, 2002).[23] Estas estimaciones están basadas únicamente en las tasas de crecimiento demográfico, sin tener en cuenta la variación de los recursos hídricos por efecto del cambio climático. Hay, por otra parte, una estimación que indica un aumento del porcentaje de población amenazada de estrés hídrico y escasez de agua en África, que pasaría de un 47% en 2000 a un 65% en 2025 (Ashton, 2002). Ello podría ocasionar conflictos en torno al agua, particularmente en regiones áridas y semiáridas. [GTII 9.2, 9.4]

En Sudáfrica, por ejemplo en la parte suroccidental de la región de El Cabo, un estudio indica que la capacidad de suministro de agua disminuirá si disminuye la precipitación o si aumenta la evaporación potencial. Para la región metropolitana del El Cabo, sus proyecciones arrojan una disminución del suministro de agua de 0,32%/año de aquí a 2020, y un aumento de la demanda hídrica de un 0,6% anual por efecto del cambio climático asociado al calentamiento mundial (New, 2002).

En relación con la cuenca del Nilo, Conway (2005) determinó que no hay indicios claros de los efectos que podría tener el cambio climático sobre el caudal del río Nilo, debido a la incertidumbre de las pautas de precipitación proyectadas para esa cuenca y a la influencia de las complejas estructuras de gestión y gobernanza hídricas. [GTII 9.4.2]

En muchas fuentes de agua terrestres se están observando ya respuestas a la variación de la precipitación, que podrían considerarse como indicadores del futuro estrés hídrico vinculado a la variabilidad climática. En la parte oriental del continente se han observado fluctuaciones interanuales del nivel de los lagos, con valores inferiores durante 1993-1997 y superiores (por ejemplo, en los lagos Tanganica, Victoria y Turkana) durante 1997-1998, estos últimos vinculados a un exceso de precipitación a finales de 1997, acoplado a perturbaciones de gran escala en el Océano Índico (Mercier et al., 2002). Hay también datos que indican una subida de la temperatura del agua en los lagos, en respuesta a unas condiciones más cálidas (véase la figura 5.1). [GTII 9.2.1.1, 1.3.2.3]

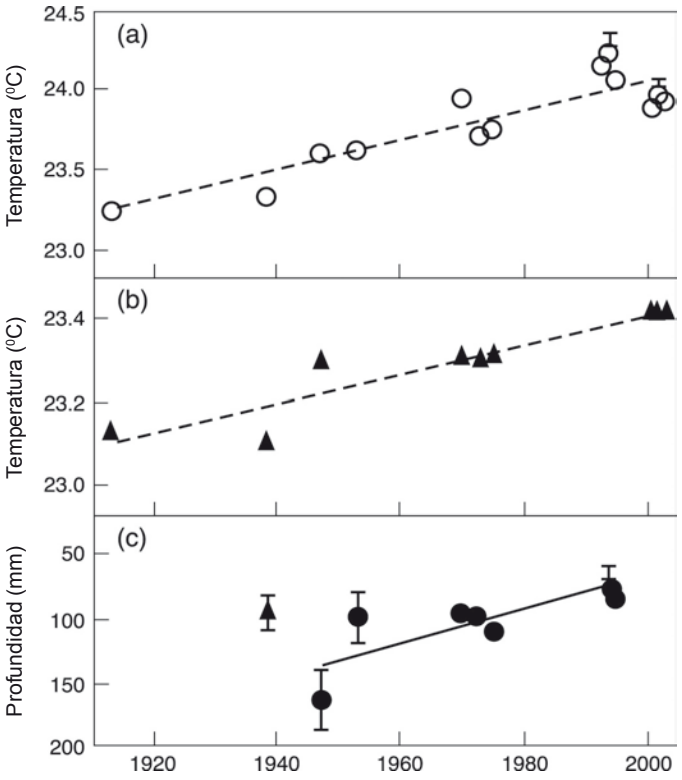


Figura 5.1: *Mediciones históricas y recientes del lago Tanganica, en el África oriental: (a) temperatura de la capa mixta superior (agua superficial); (b) temperatura del agua en profundidad (600 m); (c) temperatura de la capa mixta superior. Los triángulos representan los datos obtenidos utilizando un método diferente. Las barras de error representan las desviaciones típicas. Reproducido con autorización de Macmillan Publishers Ltd. [Nature] (O'Reilly et al., 2003), copyright 2003. [GTII, Figura 1.2]*

[20] Véanse las descripciones de los modelos en el Apéndice I.
[21] Djibouti, Cabo Verde, Kenya, Burundi, Rwanda, Malawi, Somalia, Egipto y Sudáfrica.
[22] Mauricio, Lesotho, Etiopía, Zimbabwe, Tanzanía, Burkina Faso, Mozambique, Ghana, Togo, Nigeria, Uganda y Madagascar.
[23] En la actualidad (datos de 1990), sólo cinco países de África tienen acceso a un volumen de agua inferior a 1.000 m^3/persona/año. Se trata de Rwanda, Burundi, Kenya, Cabo Verde y Djibouti.

5.1.2 Observaciones actuales

5.1.2.1 Variabilidad climática

La región del Sahel, en el África occidental, acusa una marcada variabilidad multidecenal del régimen de precipitación (véase, por ejemplo, Dai et al., 2004a), asociada a cambios en la circulación atmosférica y a cambios concomitantes de las pautas de temperatura superficial del mar tropical en las cuencas del Pacífico, del Índico y del Atlántico (por ejemplo, ENOA, OMA). Se han padecido condiciones particularmente secas desde los años 70 hasta los 90, después de un período más húmedo durante los años 50 y 60. El déficit de precipitación ha sido vinculado, principalmente, a la disminución del número de episodios de lluvia apreciables durante el período monzónico más intenso (entre julio y septiembre), y durante la primera estación lluviosa al sur de los 9°N, aproximadamente. La disminución de la precipitación y las sequías que asolaron la región del Sahel durante los tres últimos decenios del siglo XX (Figura 5.2) son algunos de los cambios climáticos más importantes a nivel mundial. La precipitación en el Sahel alcanzó un mínimo tras el episodio de El Niño de 1982/83. [GTI 3.7.4] Estudios de modelización indican que la precipitación en el Sahel ha estado más influida por las variaciones climáticas de gran escala (posiblemente vinculadas a cambios en relación con los aerosoles antropógenos) que por los cambios de uso de la tierra a nivel local. [GTI 9.5.4]

5.1.2.2 Recursos hídricos

En África, aproximadamente un 25% de la población actual padece estrés hídrico, mientras que un 69% vive en condiciones de abundancia relativa de agua (Vörösmarty et al., 2005). Esta abundancia relativa, sin embargo, no da cuenta de otros factores, como el grado de potabilidad o de accesibilidad del agua en cuestión, o la disponibilidad de saneamientos. A pesar de las importantes mejoras de la accesibilidad del agua introducidas en los años 90, en el año 2000 sólo en torno a un 62% de los africanos tenían acceso a un mejor servicio de suministro hídrico (WHO/UNICEF, 2000). [GTII 9.2.1]

Una tercera parte de la población de África vive en áreas propensas a la sequía y es vulnerable a sus efectos (World Water Forum, 2000), lo cual ha contribuido a la migración, a la alienación cultural, a la dislocación de la población y a la desaparición de culturas ancestrales. Las sequías han afectado principalmente al Sahel, al Cuerno de África y al África austral, particularmente desde finales de los años 60, con un fuerte impacto sobre la seguridad alimentaria y, en última instancia, con la aparición de hambrunas. En el África occidental se ha observado una disminución de la precipitación desde finales de los años 60, cifrada entre un 20 y un 40% durante el período 1968-1990, respecto de los 30 años transcurridos entre 1931 y 1960 (Nicholson et al., 2000; Chappell and Agnew, 2004; Dai et al., 2004a). Se ha admitido también la influencia de las variaciones decenales de ENOA en el África suroccidental, influidas a su vez, en parte, por la Oscilación del Atlántico Norte (OAN) (Nicholson and Selato, 2000). [GTII 9.2.1]

5.1.2.3 Energía

En la mayoría de los Estados de África, el suministro de electricidad se obtiene de la energía hidroeléctrica. Hay pocos estudios que examinen los impactos del cambio climático sobre el uso de energía en África (Warren et al., 2006). [GTII 9.4.2] Este continente, sin embargo, se caracteriza por una gran dependencia de la leña como una de las principales fuentes de energía en las áreas rurales, lo cual representa un 70% del consumo total de energía en ese continente. Todo impacto del cambio climático

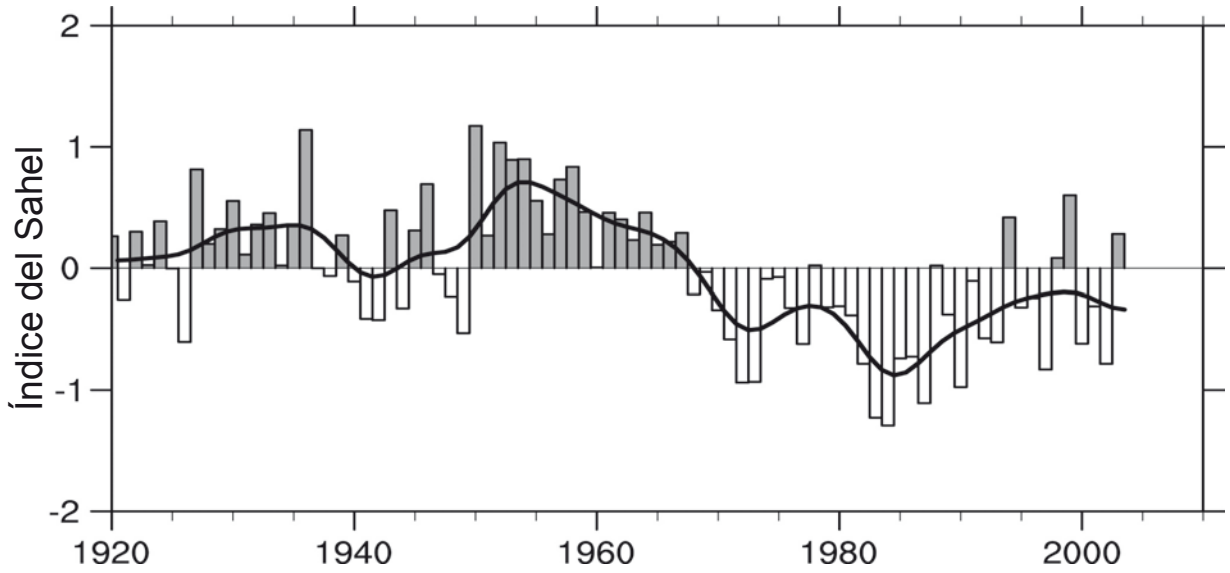


Figura 5.2: *Serie cronológica de datos de precipitación regional en el Sahel (10°N-20°N, 18°W-20°E) (entre abril y octubre) desde 1920 hasta 2003, obtenida mediante reticulación de las anomalías de estación normalizadas, subsiguientemente promediadas con ponderación zonal (adaptado de Dai et al., 2004a). Los valores positivos (barras sombreadas) indican condiciones más húmedas que las medias de largo período, mientras que los valores negativos (barras en blanco) indican condiciones más secas que la media de largo período. La curva en negro representa la variación decenal. [GTI, Figura 3.37]*

sobre la producción de biomasa repercutiría, a su vez, en la disponibilidad de energía obtenida mediante leña. El acceso a la energía está gravemente limitado en el África subsahariana, y se calcula que sólo un 51% de las poblaciones urbanas y tan sólo un 8% de las rurales tienen acceso a electricidad. A efectos comparativos, un 99% de las poblaciones urbanas y un 80% de los núcleos rurales tienen acceso a electricidad en el norte de África. Los problemas adicionales que acarrea la creciente demanda de energía en las áreas residenciales y la volatilidad de los precios del petróleo agravan aún más la problemática energética de África. [GTII 9.2.2.8]

5.1.2.4 Salud

Paludismo

En el África subsahariana, la distribución espacial, la intensidad de transmisión y la estacionalidad del paludismo acusan la influencia del clima; el desarrollo socioeconómico ha tenido tan sólo un efecto limitado sobre los esfuerzos por reducir la extensión de la enfermedad (Hay et al., 2002a; Craig et al., 2004). [GTII 8.2.8.2]

La precipitación podría ser un factor limitativo para las poblaciones de mosquitos, y hay evidencia de una disminución de la transmisión asociada a la disminución decenal de la precipitación. La evidencia de que es posible predecir brotes anómalos de paludismo inusualmente elevados o bajos a partir de la temperatura superficial del mar (Thomson et al., 2005b) y de las predicciones climáticas estacionales de agregados multimodelo refuerza la conveniencia de utilizar ordinariamente predicciones estacionales para el control del paludismo en el sur de África (DaSilva et al.. 2004). [GTII 8.2.8.2]

Los efectos del cambio climático observado sobre la distribución geográfica del paludismo y sobre su intensidad de transmisión en regiones altas siguen siendo controvertidos. El análisis de las series cronológicas de datos relativas a ciertos emplazamientos del África oriental indica que la incidencia del paludismo ha aumentado en ausencia, aparentemente, de tendencias climáticas (Hay et al., 2002a, b; Shanks et al., 2002). La renovada pujanza del paludismo se debería, supuestamente, a la resistencia del parásito a los medicamentos y a una relajación en las actividades de control del vector. La validez de esta conclusión, sin embargo, ha sido cuestionada, ya que podrían derivarse de una utilización inadecuada de los datos climáticos (Patz, 2002). Un análisis de los datos actualizados de la temperatura en esas regiones ha puesto de manifiesto una marcada tendencia al calentamiento desde finales de los años 70, acompañada de efectos del cambio climático sobre el potencial de transmisión (Pascual et al., 2006). En el África austral, la tendencia del paludismo a largo plazo no ha estado claramente vinculada al clima, aunque los cambios estacionales en cuanto al número de casos sí han estado claramente asociados a ciertas variables climáticas (Craig et al., 2004). La resistencia medicamentosa y las infecciones por VIH han estado vinculadas a las tendencias del paludismo a largo plazo en esa misma área (Craig et al., 2004). [GTII 8.2.8.2]

Otros estudios señalan la relación entre la variabilidad interanual de la temperatura y la transmisión del paludismo en las planicies de África. Un análisis de series temporales de datos sobre el paludismo en Madagascar, despojadas de tendencias lineales, puso de manifiesto que la temperatura mínima al comienzo de la estación de transmisión, es decir, en los meses en que el contacto vector-persona es máximo, determina la mayor parte de la variabilidad interanual (Bouma, 2003). En las altiplanicies de Kenya, los casos de paludismo admitidos han estado asociados a la precipitación y a unas temperaturas máximas extremadamente altas durante los 3 o 4 meses anteriores (Githeko and Ndegwa, 2001). Un análisis de la morbilidad del paludismo entre finales de los años 80 y principios de los 90 en 50 lugares de Etiopía puso de manifiesto que la epidemia estaba asociada a unas elevadas temperaturas mínimas durante los meses inmediatos anteriores (Abeku et al., 2003). Un análisis de los datos obtenidos en siete lugares de las planicies del África oriental puso de manifiesto que la variabilidad climática a corto plazo desempeña un papel más importante que la tendencia a largo plazo en el desencadenamiento de epidemias de esa enfermedad (Zhou et al., 2004, 2005), aunque el método utilizado para comprobar esa hipótesis ha sido puesto en duda (Hay et al., 2005). [GTII 8.2.8.2]

Otras enfermedades relacionadas con el agua

Aunque ciertas enfermedades infecciosas, como el cólera, están siendo erradicadas en otras partes del mundo, en África están recobrando fuerza. La mortalidad infantil por diarrea en los países de bajos ingresos, particularmente en el África subsahariana, sigue siendo elevada a pesar de las mejoras en la atención sanitaria y en el uso de la terapia de rehidratación oral (Kosek et al., 2003). Aunque los niños superen la fase aguda de la enfermedad, podrían morir después por diarreas persistentes o por desnutrición. Varios estudios ponen de manifiesto que la transmisión de enteropatógenos es mayor durante la estación de lluvias (Nchito et al., 1998; Kang et al., 2001). [GTII 8.2.5, 9.2.2.6]

5.1.2.5 Sector agrícola

El sector agrícola es un baluarte decisivo para la subsistencia local y para el sostenimiento del PIB en algunos países de África. La contribución de la agricultura al PIB varía según el país, pero las evaluaciones indican una contribución de un 21% en promedio (entre un 10% y un 70%) (Mendelsohn et al., 2000b). Aunque la contribución de la agricultura al PIB es pequeña, el sector permite la subsistencia de amplios sectores de la población, de modo que cualquier disminución de la producción repercutirá sobre la pobreza y la seguridad alimentaria. Este sector es particularmente sensible al clima y, en particular, a los períodos de variabilidad climática. En muchas partes de África, los agricultores y pastores tienen que hacer frente también a otras limitaciones y problemas extremos que afectan a los recursos naturales, como la escasa fertilidad del suelo, las plagas, las enfermedades de los cultivos, o la falta de acceso a insumos y semillas mejoradas. Estos problemas suelen agravarse en los períodos de crecida y de sequía prolongada (Mendelsohn et al., 2000a, b; Stige et al., 2006). [GTII 9.2.1.3]

5.1.2.6 Ecosistemas y biodiversidad

Los ecosistemas y su diversidad biológica contribuyen notablemente al bienestar humano en África. [GTII, Capítulo 9] La rica biodiversidad de ese continente, que se manifiesta principalmente

Recuadro 5.1: Cambios medioambientales en el monte Kilimanjaro. [Adaptación de GTII, Recuadro 9.1]

Hay evidencia de que el cambio climático está modificando los ecosistemas naturales de montaña del Kilimanjaro. Por ejemplo, la sequedad de las condiciones climáticas ha dado lugar a un aumento de la frecuencia e intensidad de los incendios en sus laderas, ocasionando una retracción del límite forestal superior de varios centenares de metros durante el siglo XX (Figura 5.3, Tabla 5.1). La disminución resultante (150 km^2) de la capa de bosque nuboso desde 1976 ha tenido un impacto importante en la captación de niebla, así como en el almacenamiento temporal de lluvia y, por consiguiente, en el balance hídrico de esta montaña (Hemp, 2005).

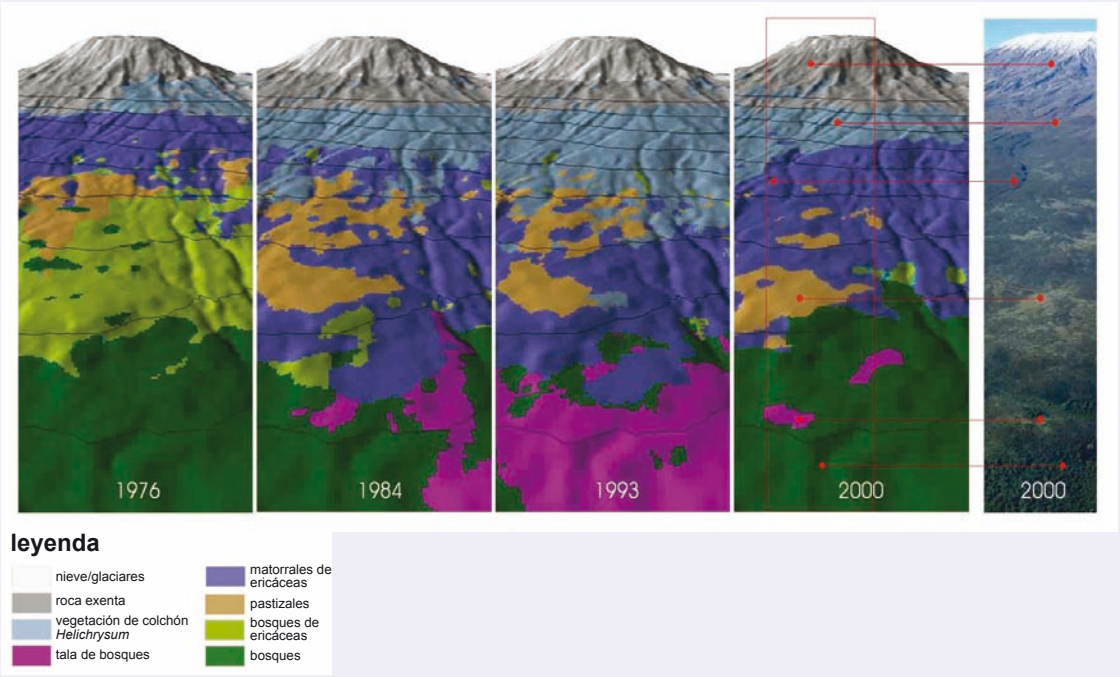


Figura 5.3: *Cambios de la cubierta del suelo inducidos por interacciones complejas entre el uso de la tierra y el clima en el Kilimanjaro (Hemp, 2005). Reproducción autorizada por Blackewll Publishing Ltd .*

Tabla 5.1: *Cambios de la cubierta del suelo en las regiones superiores del Kilimanjaro (Hemp, 2005).*

Tipo de vegetación	Superficie en 1976 (km^2)	Superficie en 2000 (km^2)	Cambio (%)
Bosques montanos	1066	974	-9
Bosques subalpinos de ericáceas	187	32	-83
Matorrales de ericáceas	202	257	+27
Vegetación de colchón de Helichrysum	69	218	+216
Pastizales	90	44	-51

en el exterior de las áreas oficialmente protegidas, está amenazada por la variabilidad climática, el cambio y otros estreses (véase, por ejemplo, el Recuadro 5.1). El desarrollo socioeconómico de África está limitado por el cambio climático, la pérdida de hábitat, la plantación abusiva de determinadas especies, la proliferación de especies foráneas, y actividades tales como la caza o la deforestación, que amenazan socavar la integridad de los ecosistemas del continente, ricos pero frágiles (UNEP/GRID-Arendal, 2002). Así, por ejemplo, la mitad aproximadamente de las áreas subhúmedas y semiáridas de la región meridional africana presentan un riesgo de desertificación entre moderado y alto. En el África occidental, la disminución de la precipitación desde los años 70 hasta los 90 ha ocasionado un desplazamiento hacia el sur de entre 25 y 35 km de las zonas ecológicas del Sahel, Sudán y Guinea durante la segunda mitad del siglo XX (González, 2001). Ello ha ocasionado la pérdida de pastizales y acacias y de flora/fauna, y el desplazamiento de las dunas de arena del Sahel, como se está ya observando (ECF and Potsdam Institute, 2004). [GTII 9.2.1.4]

5.1.3 Cambios proyectados

5.1.3.1 Recursos hídricos

El aumento de población en África acarrearía previsiblemente condiciones de estrés hídrico antes de 2025, es decir menos de

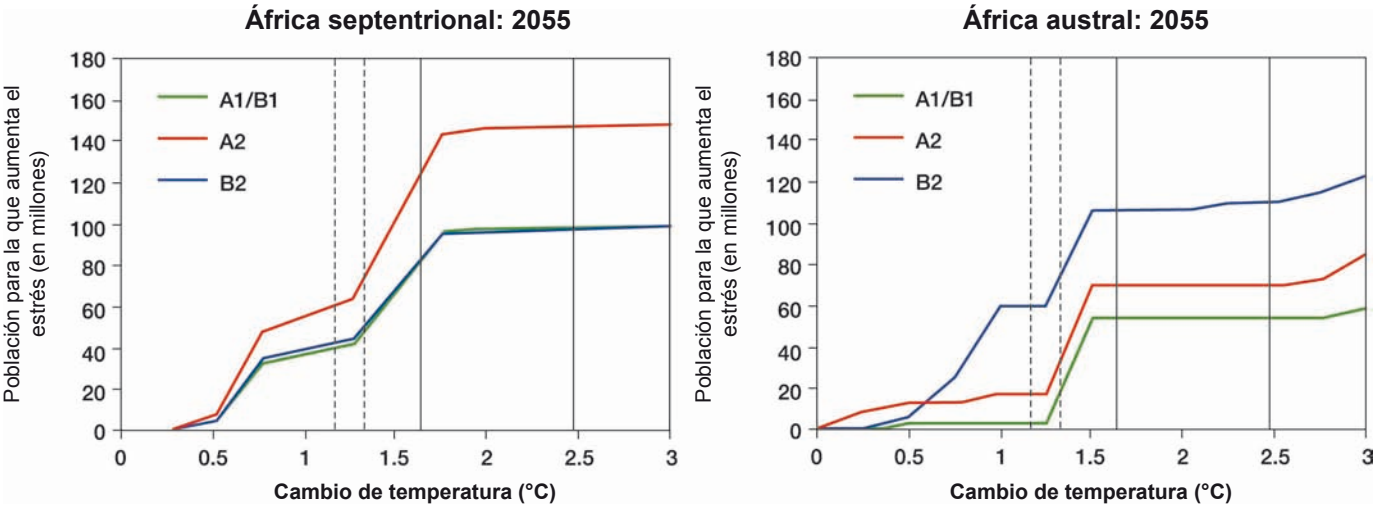


Figura 5.4: *Número de personas (en millones) residentes en cuencas hidrográficas expuestas a un aumento del estrés hídrico, con referencia a 1961-1990 (Arnell, 2006b). Las cuencas hidrográficas con estrés hídrico tienen una escorrentía inferior a 1.000 m³/persona/año; los habitantes están expuestos a un aumento del estrés hídrico cuando la escorrentía disminuye significativamente por efecto del cambio climático. Estos escenarios han sido obtenidos de HadCM3; las líneas roja, verde y azul representan diferentes proyecciones de población; obsérvese que los cambios hidrológicos previstos varían considerablemente de un modelo climático a otro en algunas regiones. Los saltos de la función se producen cuando hay un aumento del número de cuencas hidrográficas que padecen una notable disminución de la escorrentía. [GTII, Figura 9.3]*

dos decenios después de la publicación del presente informe, debido principalmente al aumento de la demanda hídrica. [GTII 9.4.1] El cambio climático agravaría esa situación. Ciertas evaluaciones indican que la población africana amenazada de un aumento del estrés hídrico ascendería, para el conjunto de escenarios IE-EE, a 75-250 y 350-600 millones de personas de aquí a 2020 y 2050, respectivamente (Arnell, 2004). Sin embargo, el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos no es uniforme a todo lo ancho del continente. Un análisis de seis modelos climáticos (Arnell, 2004) arroja un aumento *probable* del número de personas que padecerían estrés hídrico de aquí a 2055 en el África septentrional y austral (Figura 5.4). En cambio, en el África occidental y oriental es *probable* que la disminución, y no el aumento, del estrés hídrico sea el efecto padecido por un mayor número de personas (Arnell, 2006a). [GTII 3.2, Figura 3.2, Figura 3.4, 9.4.1, Figura 9.3]

El agua subterránea es casi siempre la fuente principal de agua potable en África, particularmente en las áreas rurales que dependen de la excavación o perforación de pozos poco costosos. Su recarga disminuiría con la precipitación y con la escorrentía, lo que ocasionaría un aumento del estrés hídrico en áreas en que las aguas subterráneas contribuyen a satisfacer la demanda hídrica durante la estación seca para fines agrícolas y usos domésticos. [GTII 3.4.2, Figura 3.5]

Hay un estudio del impacto de un aumento de temperatura de 1°C en una cuenca de la región del Magreb en el que se proyecta un déficit de escorrentía del 10% aproximadamente (Agoumi, 2003), suponiendo que el nivel de la precipitación permanezca constante. [GTII 9.4.1, 3.2, 3.4.2]

5.1.3.2 Energía

Aunque no abundan los estudios sobre la energía en África, cierto estudio sobre la generación de energía hidroeléctrica en la cuenca del Zambeze, sumado a las proyecciones de escorrentía, indica que la generación de energía hidroeléctrica resultará negativamente afectada por el cambio climático, particularmente en las cuencas hidrográficas situadas en regiones subhúmedas (Riebsame et al., 1995; Salewicz, 1995). [GTII TIE 10.2.11, Tabla 10.1]

5.1.3.3 Salud

Un número considerable de estudios vinculan el cambio climático a los problemas de salud en el continente. Por ejemplo, los resultados del proyecto de Atlas de Riesgo de Paludismo en África (MARA/ARMA) indican cambios en la distribución de las áreas climáticas favorables al paludismo de aquí a 2020, 2050 y 2080 (Thomas et al., 2004). De aquí a 2050, prolongándose hasta 2080, una gran parte del Sahel occidental y gran parte del centro-sur de África se revela como *probablemente* inadecuada para la transmisión del paludismo. Otras evaluaciones (por ejemplo, Hartmann et al., 2002), que utilizan dieciséis escenarios de cambio climático, indican que, de aquí a 2100, los cambios de temperatura y precipitación podrían alterar la distribución geográfica del paludismo en Zimbabwe, de tal modo que devendrían adecuadas para la transmisión áreas de alta densidad de población que anteriormente no lo eran. [GTII 9.4.3]

Son relativamente escasos los estudios sobre los posibles cambios futuros de la salud animal por efecto de la variabilidad y el cambio climáticos. Cabe esperar cambios en la distribución, extensión, prevalencia, incidencia y estacionalidad de las enfermedades. Sin embargo, hay poca certeza en cuanto a la magnitud del cambio.

En regiones sometidas a un aumento de las crecidas, podrían aumentar las epidemias de fiebre del valle del Rift asociadas a inundaciones, como la que se manifestó en el África oriental durante el episodio de El Niño de 1997/98 (Sección 3.2.1.2). Las proyecciones indican un aumento del número de estaciones muy húmedas en el África oriental. Por último, es *probable* que el estrés térmico y la sequía tengan un impacto negativo adicional sobre la salud animal y la producción de lácteos (que ya ha sido observado en Estados Unidos; véase Warren et al., 2006). [GTI, Tabla 11.1, 11.2.3; GTII 9.4.3, 5.4.3.1]

5.1.3.4 Agricultura

Se ha estudiado el impacto del cambio climático sobre los períodos de crecimiento y sobre los sistemas agrícolas, y sus posibles implicaciones respecto a los medios de subsistencia (véase, por ejemplo, Thornton et al., 2006). Un estudio reciente, basado en tres escenarios, indica una *probable* caída, de hasta un 90%, en los ingresos netos obtenidos de los cultivos de aquí a 2100, que afectará en mayor medida a las pequeñas explotaciones. Es posible, sin embargo, que la adaptación atenúe esos efectos negativos (Benhin, 2006). [GTII 9.4.4]

En el Recuadro 5.2 se ha incluido un estudio concreto sobre el cambio climático, la disponibilidad de agua y la agricultura en Egipto.

Los cambios climáticos y la variabilidad del clima no serían, sin embargo, enteramente negativos para la agricultura. En determinadas áreas, como las regiones circundantes a las planicies de Etiopía, los períodos de crecimiento podrían prolongarse por efecto del cambio climático. El aumento de las temperaturas, sumado a los cambios de la precipitación, podría prolongar el período de crecimiento, por ejemplo en ciertas áreas de las planicies (Thornton et al., 2006). En las zonas de planicie de los montes Kenya y Kilimanjaro, por ejemplo, la disminución de las heladas permitiría cultivar variedades de cultivo más templadas (manzanas, peras, cebada, trigo, etc.) (Parry et al., 2004). [GTII 9.4.4]

Recuadro 5.2: El clima, la disponibilidad de agua y la agricultura en Egipto. [GTII, Recuadro 9.2]

Egipto es uno de los países de África que podrían ser vulnerables al estrés hídrico ocasionado por el cambio climático. Se ha estimado que el volumen de agua utilizada en 2000 ascendió a 70 km^3 aproximadamente, que es ya excesivo para los recursos disponibles (Gueye et al., 2005). Uno de los problemas más importantes consiste en reducir la diferencia, que aumenta rápidamente, entre la limitada disponibilidad de agua y la creciente demanda de los diversos sectores económicos. La tasa de utilización de agua en Egipto ha alcanzado ya su valor máximo, por lo que el cambio climático agravará aún más esta vulnerabilidad.

La agricultura consume un 85% aproximadamente de los recursos hídricos totales anuales y desempeña un papel importante en la economía nacional de Egipto, a la que aporta un 20% aproximadamente del PIB. Más de un 70% de la zona cultivada depende de sistemas de riego superficial de bajo rendimiento, que acarrean problemas tales como pérdidas hídricas, disminución de la productividad agrícola, saturación hídrica, o salinidad. (El-Gindy et al., 2001). Además, las prácticas agrícolas no sostenibles y la gestión inadecuada del riego afectan a la calidad de los recursos hídricos del país. La menor calidad del agua de riego tiene a su vez efectos negativos sobre los suelos de regadío y los cultivos.

En Egipto, los organismos institucionales de gestión del agua están trabajando para conseguir de aquí a 2017, mediante el Plan Nacional de Mejoras, los objetivos siguientes (EPIQ, 2002; ICID, 2005):

- mejor cobertura de los saneamientos hídricos en áreas urbanas y rurales,
- gestión de las aguas de desecho,
- optimización del uso de los recursos hídricos mediante una mayor eficiencia de riego y una reutilización del agua de drenaje de la agricultura.

Sin embargo, el cambio climático viene acompañado de toda una serie de amenazas graves:

- La elevación del nivel del mar podría tener un impacto sobre el Delta del Nilo y sus habitantes, y sobre otras áreas costeras (Wahab, 2005)
- Es *probable* que el aumento de la temperatura recorte la productividad de la mayor parte de los cultivos e incremente sus necesidades de agua, induciendo con ello una disminución directa de la eficiencia del uso de destinada a los cultivos (Abou-Hadid, 2006; Eid et al., 2006).
- Es probable que sobrevenga un aumento general de la demanda de riego (Attaher et al., 2006).
- Habrá también un alto grado de incertidumbre acerca del caudal del Nilo.
- En base a los escenarios IE-EE, es *probable* que Egipto padezca un aumento del estrés hídrico, acompañado de una disminución de la precipitación y de un volumen de población de entre 115 y 179 millones de habitantes de aquí a 2050, que agravaría el estrés hídrico en todos los sectores.
- La actual expansión de las áreas de riego reducirá la capacidad de Egipto para hacer frente a las fluctuaciones de caudal futuras (Conway, 2005).

Las pesquerías son otra fuente de ingresos importante que genera empleo y aporta proteínas. En regiones costeras con grandes albuferas o sistemas lacustres, la variación del caudal de agua dulce y el aumento de la intrusión de agua salada en las albuferas afectarían a especies fundamentales para la pesca continental y la acuicultura (Cury and Shannon, 2004). [GTII 9.4.4]

Se ha estudiado el impacto del cambio climático sobre la ganadería en África (Seo and Mendelsohn, 2006). Una disminución de un 14% en la precipitación reduciría *probablemente* en un 9% (en torno a 5.000 millones de dólares) los ingresos de las grandes explotaciones pecuarias, debido tanto a la reducción de la cabaña como a los ingresos netos por animal. [GTII 9.4.4]

5.1.3.5 Biodiversidad

La disminución de la humedad del suelo ocasionada por los cambios de la precipitación podría afectar a los sistemas naturales en diversas formas. Las proyecciones indican abundantes extinciones de especies, tanto vegetales como animales. El cambio climático podría afectar a más de 5.000 especies animales, principalmente por pérdida de hábitats adecuados. De aquí a 2050, el bioma de Fynbos (ecosistema de Sudáfrica con predominancia de ericáceas, que es uno de los lugares conceptuados por la UICN como biológicamente ricos) perdería un 51-61% de su extensión debido a la disminución de la precipitación invernal. El rico bioma Karoo, que contiene 2.800 especies vegetales cuyo riesgo de extinción ha aumentado, se extendería hacia el sureste, y se extinguiría aproximadamente un 2% de sus proteáceas. Hay una estrecha relación entre estas plantas y las aves especializadas en esas especies como fuente de alimentación. Numerosas proyecciones indican que algunas especies de mamíferos, como las cebras o los nyalas, que han evidenciado ser vulnerables a la variación de la disponibilidad de alimentos inducida por la sequía, sufrirán pérdidas. En algunas áreas de ordenación de la fauna silvestre, como los Parques Nacionales Kruger y Hwange, las especies dependen ya, para su abastecimiento de agua, de fuentes de agua suplementaria obtenida de pozos perforados (Recuadro 5.3). [GTII 4.4, 9.4.5, Tabla 9.1]

Recuadro 5.3: Extinciones proyectadas respecto al Parque Nacional Kruger (Sudáfrica) [GTII, Recuadro 4.1]

Un aumento de la temperatura media mundial de 2,5 a 3,0°C por encima de los niveles de 1990 implicaría que en el Parque Nacional Kruger de Sudáfrica:

- un 24-59% de los mamíferos,
- un 28-40% de las aves,
- un 13-70% de las mariposas,
- un 18-80% de otros invertebrados, y
- un 21-45% de los reptiles estarían en peligro de extinción.

En total, podría desaparecer un 66% de las especies animales.

Muchas especies de aves migran desde Europa y desde la región paleoártica. Algunas especies utilizan el sur del Sahel como escala antes de atravesar el desierto del Sáhara. En esa región, la escasez de alimentos ocasionada por la sequía dificultaría la migración de esas aves. Como ya se ha señalado, los modelos de la precipitación en el Sahel son equívocos. [GTII 9.3.1] De materializarse los escenarios húmedos, la biodiversidad de la región subsahariana/saheliana no estaría en peligro inminente de acusar los efectos del estrés hídrico. Por otra parte, el escenario más seco ocasionaría, en conjunto, extinciones masivas, debido particularmente a una mayor competición entre los sistemas naturales y las necesidades humanas [GTII 9.4.5]

Respecto a las aves rapaces del África austral, resultados de simulaciones basados en la precipitación como factor medioambiental clave indican una notable disminución de su ámbito geográfico a medida que éste se vuelve más seco. [GTII 4.4.3] En conjunto, estarían amenazadas un 25-40% aproximadamente de las especies animales subsaharianas presentes en espacios protegidos [GTII 9.4.5]

5.1.4 Adaptación y vulnerabilidad

Estudios recientes sobre el continente africano subrayan la vulnerabilidad de los grupos locales que dependen principalmente de recursos naturales para su subsistencia, e indican que su base de recursos -sometida ya a un grave estrés y degradada por la explotación- experimentará previsiblemente un mayor impacto del cambio climático (Leary et al.,. 2006). [GTII 17.1]

El cambio y la variabilidad climáticos podrían ejercer una presión adicional sobre la disponibilidad, la accesibilidad y la demanda de agua en África. [GTII 9.4.1] Se estima que en torno a un 25% de la población de África (200 millones de personas) padece actualmente estrés hídrico, y que un mayor número de países tendrán que afrontar un nivel de riesgo más elevado (véase la Sección 5.1.3.1). [GTII 9.RE] Por otra parte, se ha considerado la posibilidad de que, incluso en ausencia de cambio climático, varios países, particularmente en el África septentrional, alcancen el umbral de sus recursos hídricos terrestres rentables antes de 2025. [GTII 9.4.1] Una frecuente sucesión de desastres naturales, como sequías o crecidas, ha limitado considerablemente el desarrollo agrícola de África, que depende en gran medida de la precipitación, lo cual acarrea una inseguridad alimentaria que viene a sumarse a toda una serie de problemas macroestructurales y microestructurales. [GTII 9.5.2]

El fenómeno ENOA ejerce una importante influencia sobre la precipitación de lluvia en África a escalas interanuales, y podría influir en la variabilidad climática futura. [GTI 3.7.4, 3.6.4, 11.2] Hay, sin embargo, varios obstáculos que dificultan una adaptación efectiva a las variaciones de ENOA, entre ellos: las incertidumbres espaciales y temporales asociadas a la predicción del clima regional, la escasa sensibilización de los decisores acerca de los impactos de El Niño a nivel local y regional, la limitada capacidad nacional de observación del

clima y de elaboración de predicciones meteorológicas, y la falta de coordinación en la formulación de respuestas (Glantz, 2001). [GTII 17.2.2]

En lo que se refiere a los impactos de la variabilidad climática y de la variación de las aguas subterráneas, hay poca información disponible, a pesar de que muchos países (especialmente en el África septentrional) dependen de esas fuentes de agua. [GTII 9.2.1]

En evaluaciones anteriores del impacto hídrico no se contemplan adecuadamente ni los múltiples usos del agua en el futuro ni el estrés hídrico previsible (véase, por ejemplo, Agoumi, 2003; Conway, 2005), de modo que es necesario investigar más a fondo en materia de hidrología y drenajes, y acerca del cambio climático. En países que comparten cuencas hidrográficas, es también necesario considerar la accesibilidad futura, en las áreas rurales, del agua obtenida de corrientes superficiales de bajo orden (véase, por ejemplo, de Wit and Stankiewicz, 2006). [GTII 9.4.1]

La capacidad adaptativa y la adaptación en lo referente a los recursos hídricos se consideran muy importantes para el continente africano. Históricamente, la migración ocasionada por las sequías y crecidas ha estado considerada como una de las opciones de adaptación. Se ha sabido también que la migración constituye una fuente de ingresos para tales migrantes, que trabajan en régimen estacional. Otras prácticas que contribuyen a la adaptación son: las técnicas, tanto clásicas como modernas, de captación de agua, la conservación y almacenamiento de agua, o la plantación de cultivos precoces resistentes a la sequía. Se ha señalado que el aprovechamiento de los conocimientos tradicionales en materia de captación y utilización de agua es una de las necesidades de adaptación más importantes (Osman-Elasha et al., 2006), y se ha indicado la necesidad de incorporarlos a las políticas de cambio climático, a fin de asegurar el desarrollo de estrategias efectivas de adaptación que sean eficaces en costo, participativas y sostenibles. [GTII 9.5.1, Tabla 17.1]

Existe muy poca información acerca del costo que acarrearían los impactos del cambio climático y la adaptación a éste en relación con los recursos hídricos de África. Sin embargo, una evaluación inicial de los costos de adaptación en la cuenca del río Berg, en Sudáfrica, pone de manifiesto que el costo de la no adaptación al cambio climático podría ser muy superior al de la incorporación de soluciones flexibles y eficientes entre las opciones de gestión (véase Stern 2007). [GTII 9.5.2]

5.2 Asia

5.2.1 Contexto

Asia es una región en que la distribución del agua es desigual y en que grandes extensiones padecen estrés hídrico. De los cuarenta y tres países de ese continente, veinte poseen un volumen de recursos hídricos renovables superior a 3.000 m^3 anuales por habitante; once poseen entre 1.000 y 3.000 m^3; y otros seis, menos de 1.000 m^3 (no se dispone de datos sobre los seis países restantes) (FAO, 2004a, b, c). [GTII, Tabla 10.1] Entre el oeste de China y Mongolia y el oeste de Asia hay grandes extensiones de tierras áridas y semiáridas. [GTII 10.2] Incluso en áreas húmedas y subhúmedas, la escasez de agua y el estrés hídrico representan un freno al desarrollo sostenible. Por otra parte, Asia tiene una población muy numerosa en rápido crecimiento, bajos niveles de desarrollo, y escasa capacidad para la resolución de problemas. En ese continente, el cambio climático agravaría la escasez de agua y un gran número de estreses de orden socioeconómico. [GTII 10.2]

5.2.2 Impactos observados del cambio climático sobre el agua

5.2.2.1 Recursos de agua dulce

Durante los últimos decenios se ha observado la variabilidad interestacional, interanual y espacial de la precipitación en el conjunto de Asia. Se ha observado una tendencia decreciente de la precipitación media anual en Rusia, en el nordeste y norte de China, en las franjas costeras y las llanuras áridas de Pakistán, en partes del nordeste de India, Indonesia, Filipinas y ciertas áreas de Japón. La precipitación media anual tiende a aumentar en el oeste de China, cuenca del Changjiang (río Yang-Tsé) y costa sudoriental de China, Península Arábiga, Bangladesh, y costa occidental de Filipinas. Según se ha sabido, en el Asia sudoriental los fenómenos meteorológicos extremos asociados a El Niño han sido más frecuentes e intensos en los últimos 20 años (Trenberth and Hoar, 1997; Aldhous, 2004). Es importante señalar que los monzones presentan una importante variabilidad interdecenal tanto en India como en el Asia oriental [GTI 3.3.2, 3.7.1; GTII 10.2.2, 10.2.3]

En términos generales, la frecuencia de lluvias más intensas ha aumentado en muchas partes de Asia, ocasionando crecidas graves, deslizamientos de tierras y ríos de lodo y detritus, en tanto que el número de días de lluvia y la cantidad total anual de precipitación han disminuido (Zhai et al., 1999; Khan et al., 2000; Shrestha et al., 2000; Izrael and Anokhin, 2001; Mirza, 2002; Kajiwara et al., 2003; Lal, 2003; Min et al., 2003; Ruosteenoja et al., 2003; Zhai and Pan, 2003; Gruza and Rankova, 2004; Zhai, 2004). Sin embargo, algunos informes señalan que las lluvias extremas tenderán a ser menos frecuentes en algunos países (Manton et al., 2001; Kanai et al., 2004). [GTII 10.2.3]

La mayor frecuencia e intensidad de las sequías en muchas partes de África se atribuye principalmente a la subida de las temperaturas, particularmente durante los meses de verano, que suelen ser más secos, y durante los episodios de ENOA (Webster et al., 1998; Duong, 2000; PAGASA, 2001; Lal 2002, 2003; Batima, 2003; Gruza and Rankova, 2004; Natsagdorj et al., 2005). [GTI, Recuadro 3.6; GTII 10.2.3]

La rápida descongelación del permafrost y la disminución de espesor de los suelos helados [GTI 4.7.2], ocasionados principalmente por el calentamiento, constituyen una amenaza para muchas ciudades y asentamientos humanos, y han incrementado la frecuencia de deslizamientos de tierra y

la degeneración de ciertos ecosistemas forestales, así como la elevación del nivel del agua en los lagos de la región de permafrost de Asia (Osterkamp et al., 2000; Guo et al., 2001; Izrael and Anokhin, 2001; Jorgenson et al., 2001; Izrael et al., 2002; Fedorov and Konstantinov, 2003; Gavriliev and Efremov, 2003; Melnikov and Revson, 2003; Nelson, 2003; Tumerbaatar, 2003; ACIA, 2005). [GTII 10.2.4.2]

En términos promedios, los glaciares de Asia se están fundiendo a una velocidad constante, como mínimo desde los años 60 (Figura 2.6). [GTI 4.5.2] Sin embargo, ciertos glaciares podrían no ajustarse a esa pauta, y algunos de hecho están avanzando y/o creciendo, por ejemplo en el Karakorum central, debido probablemente al aumento de la precipitación (Hewitt, 2005). [GTI 4.5.3] La fusión que están experimentando los glaciares ha incrementado la escorrentía glacial y la frecuencia de desbordamiento de lagos glaciales, ocasionando flujos de lodo y avalanchas (Bhadra, 2002; WWF, 2005). [GTII 10.2.4.2]

En la Figura 5.5 puede apreciarse el retroceso (desde 1780) del glaciar Gangotri, cuna del Ganges, situado en Uttarakhand (India). Aunque ese retroceso ha sido vinculado al cambio climático antropógeno, no se han realizado estudios que hagan explícitamente esa atribución. Cabe señalar que la lengua de este glaciar es más bien llana y está profusamente cubierta de detritus. Es difícil relacionar la retracción de una lengua de esas características con una señal climática específica, ya que la cubierta de detritus retarda cualquier señal. Las lenguas llanas tienden a colapsarse súbitamente, con un cambio repentino de su extensión, después de adelgazar durante decenios con cambios superficiales relativamente escasos. [GTII 10.6.2]

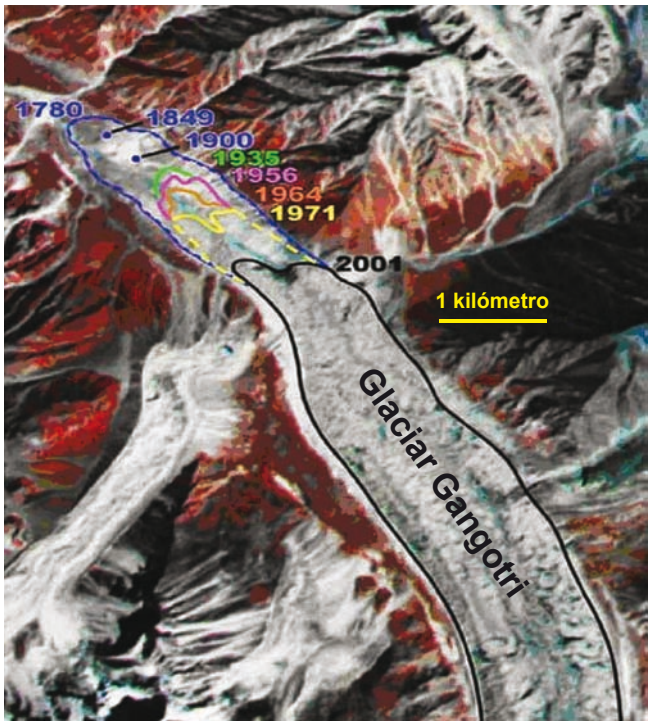


Figura 5.5: *Imagen satelital compuesta, en la que se puede apreciar la retracción experimentada por el frente del glaciar Gangotri (cuna del Ganges, en Uttarakhand, India) desde 1780 (cortesía del centro de datos NASA EROS, 9 de septiembre de 2001). [GTII, Figura 10.6]*

En partes de China, las subidas de temperatura y las disminuciones de precipitación, junto con el aumento del uso de agua, ocasionado una escasez de agua que ha originado la desecación de lagos y ríos. En India, Pakistán, Nepal y Bangladesh, la escasez de agua ha sido atribuida a factores tales como una rápida urbanización e industrialización, el crecimiento de la población o un uso ineficaz del agua, todo ello agravado por el cambio climático y por sus efectos adversos sobre la demanda, el suministro y la calidad del agua. En los países situados en la cuenca de los ríos Brahmaputra-Ganges-Meghna e Indus, la escasez de agua es también consecuencia del almacenamiento de agua, corriente arriba, por los habitantes ribereños. En áreas áridas y semiáridas del centro y este de Asia, el cambio y variabilidad climáticos siguen poniendo en apuros la capacidad de los países para abastecer la creciente demanda de agua de los países (Abu-Taleb, 2000; Ragab and Prudhomme, 2002; Bou-Zeid and El-Fadel, 2002; UNEP/GRID-Arendal, 2002). Según ciertos informes, la disminución de la precipitación y la subida de la temperatura que suele traer aparejadas el fenómeno ENOA agravan la escasez de agua, particularmente en aquellas áreas de Asia en que los recursos hídricos están ya sometidos a estrés por la creciente demanda de agua y el uso ineficaz de ésta (Manton et al., 2001). [GTII 10.2.4.2]

5.2.2.2 Agricultura

La producción de arroz, maíz y trigo ha disminuido durante los últimos decenios en muchas partes de Asia, debido al aumento del estrés hídrico, consecuencia en parte del aumento de temperatura, de la mayor frecuencia de El Niño y de la disminución del número de días de lluvia (Wijeratne, 1996; Agarwal et al., 2000; Jin et al, 2001; Fischer et al., 2002a; Tao et al., 2003a, 2004). [GTII 10.2.4.1]

5.2.2.3 Biodiversidad

La disminución gradual de la precipitación durante el período de crecimiento herbario ha causado el aumento de aridez registrado en los últimos años en el centro y oeste de Asia, aminorando el crecimiento de los pastizales y agravando la aridez del suelo (Bou-Zeid and El-Fadel, 2002). El agravamiento de la aridez del suelo favorece la reflexión de la radiación solar, con lo que aumenta la evaporación del suelo, que se reseca, contribuyendo así a una degradación más rápida de los pastizales (Zhang et al., 2003). [GTII 10.2.4.4]

En la mayor parte de los deltas de Pakistán, Bangladesh, India y China, la menor precipitación y la sequía han ocasionado la desecación de humedales y una grave degradación de los ecosistemas. Las sequías recurrentes acaecidas entre 1999 y 2001, la construcción de reservorios corriente arriba y el uso inadecuado del agua subterránea han desecado el humedal Momoge de la llanura Songnen, en el nordeste de China (Pan et al., 2003). [GTII 10.2.4.4]

5.2.3 Proyección del impacto del cambio climático sobre el agua, y principales vulnerabilidades

5.2.3.1 Recursos de agua dulce

El cambio climático alteraría la estacionalidad y el caudal fluvial de los sistemas hidrográficos. En algunas partes de Rusia, el cambio climático podría alterar notablemente la variabilidad de la escorrentía fluvial, incrementando así la frecuencia de episodios de baja escorrentía en las regiones de cultivo del suroeste (Peterson et al., 2002). La disponibilidad de agua superficial de grandes ríos como el Éufrates o el Tigris podría resultar afectada por la alteración del caudal fluvial. En Líbano, los recursos hídricos utilizables disminuirían en un 15%, en términos netos anuales, por efecto de un aumento promedio de 1,2°C estimado mediante un MCG para un clima con duplicación de CO_2, mientras que el caudal de los ríos aumentaría en invierno y disminuiría en primavera (Bou-Zeid and El-Fadel, 2002). El caudal mensual máximo del río Mekong aumentaría en un 35-41% en la cuenca, y en un 16-19% en el delta, tomando como referencia los niveles de 1961-1990, correspondiendo el valor inferior al período 2010-2038 y el valor superior al período 2070-2099. En cambio, se estima que el caudal mensual mínimo disminuiría en un 17-24% en las cuencas y en un 26-29% en los deltas (Hoanh et al., 2004) [GTII, Recuadro 5.3], lo que indica que podría aumentar el riesgo de crecidas durante la temporada húmeda y que habría más posibilidades de escasez hídrica en la estación seca [GTII 10.4.2.1]

Las crecidas podrían extender el hábitat de las pesquerías de agua salobre, aunque podrían afectar también gravemente a la industria acuícola y a su infraestructura, particularmente en los grandes deltas densamente poblados. La disminución de los caudales durante la estación seca podría frenar la incorporación de ciertas especies. En algunas áreas del Asia central, los aumentos regionales de temperatura se traducirían en una mayor probabilidad de episodios tales como flujos de lodo o avalanchas, que podrían afectar negativamente a los asentamientos humanos. (Iafiazova, 1997). [GTII 10.4.2.1]

La intrusión de agua salada en los estuarios debido a la disminución del caudal de los ríos y a la elevación del nivel del mar podría avanzar entre 10 y 20 km hacia el interior (Shen et al., 2003; Yin et al., 2003; Thanh et al., 2004). El aumento de la temperatura del agua y de la eutrofización en los estuarios del Zhujiang y del Changjiang han dado lugar a un horizonte deficiente en oxígeno en los fondos y a una mayor frecuencia e intensidad de 'mareas rojas' (Hu et al., 2001). En el estuario del Zhujiang, un aumento del nivel del agua del mar de 0,4-1,0 m podría extender la intrusión de agua salada en 1-3 km hacia el interior (Huang and Xie, 2000). La mayor frecuencia e intensidad de sequías en el área de captación acrecentaría la gravedad y frecuencia de la intrusión de agua salada en el estuario (Xu, 2003; Thanh et al., 2004; Huang et al., 2005), con el consiguiente deterioro de la calidad del agua superficial y subterránea [GTII 10.4.2.1, 10.4.3.2]

La intensificación del deshielo de la nieve y de los glaciares, así como el ascenso de los contornos de la nieve, serían desfavorables para la agricultura corriente abajo en varios países del sur y centro de Asia. El volumen y ritmo del deshielo primaveral se aceleraría en el noroeste de China y en la Mongolia occidental, y podría adelantarse el comienzo de la descongelación, todo lo cual incrementaría algunos recursos hídricos y podría ocasionar crecidas en primavera aunque, para finales de este siglo, habría escasez de agua para el ganado (Batima et al., 2004, 2005). [GTII 10.4.2, 10.6]

A medio plazo, la fusión acelerada de la nieve y de los glaciares por efecto del cambio climático ocasionaría crecidas. En muchos casos, éstas están causadas por la elevación del nivel fluvial cuando el hielo a la deriva obtura los canales. [GTII 10.4.2, 10.6]

La extrapolación lineal de los cambios observados indica que, en el noroeste de China, el aumento proyectado de la temperatura del aire en superficie reducirá la superficie de los glaciares en un 27% y el área de suelo congelado en un 10-15%, acrecentará las crecidas y el flujo de detritus, y agravará el déficit hídrico de aquí a 2050, en comparación con el período 1961-1990 (Qin, 2002). Asimismo, la duración de la capa de nieve estacional en áreas alpinas (meseta del Tíbet, Xinjiang y Mongolia Interior) se acortaría, reduciendo así su volumen y ocasionando graves sequías en primavera. Es *probable* una reducción de la escorrentía por habitante de entre un 20% y un 40% en las provincias de Ningxia, Xinjiang y Qinghai de aquí al final del siglo XXI (Tao et al., 2005). Y, sin embargo, es *probable* que crezca la presión sobre los recursos hídricos, debido al aumento de la población y al desarrollo socioeconómico. Según Higashi et al. (2006), entre 2050 y 2300 el riesgo de crecidas en Tokyo (Japón) en base al escenario A1B del IE-EE será *probablemente* entre 1,1 y 1,2 veces superior al actual. [GTII 10.4.2.3]

En India, la disponibilidad bruta de agua por habitante disminuiría por efecto del crecimiento demográfico, pasando de 1.820 m^3/año aproximadamente en 2001 a 1.140 m^3/año en 2050 (Gupta and Deshpande, 2004). Otro estudio indica que India padecerá estrés hídrico antes de 2025, año en que la disponibilidad de agua será previsiblemente inferior a 1.000 m^3 por habitante (CWC, 2001). Estos cambios se deben a factores climáticos y demográficos. Se desconoce la contribución relativa de esos factores. El descenso de la precipitación invernal prevista para el subcontinente indio acarrearía una disminución del volumen almacenado y un aumento del estrés hídrico durante el período de monzones suaves. Las lluvias torrenciales de pocos días de duración, que intensifican la frecuencia de crecida durante los monzones, podrían reducir asimismo el potencial de recarga del agua subterránea. En un futuro previsible, la expansión de las áreas sometidas a estrés hídrico grave será uno de los problemas medioambientales más acuciantes en el sur y sureste de Asia, ya que es probable que el número de personas que padecen estrés hídrico grave aumente considerablemente en términos absolutos. Se estima que, en base a la horquilla completa de escenarios del IE-EE, entre 120 y 1.200 millones, y entre 185 y 981 millones de personas, padecerán un estrés hídrico más

acusado de aquí a los decenios de 2020 y 2050, respectivamente (Arnell, 2004). Según las proyecciones, el caudal anual del Río Rojo disminuiría en un 13-19%, y en un 16-24% en el río Mekong de aquí al final del siglo XXI, lo que contribuiría a agravar el estrés hídrico (ADB, 1994). [GTII 10.4.2]

5.2.3.2 Energía

Los cambios de la escorrentía podrían tener efectos importantes sobre la producción de energía en países con centrales hidroeléctricas, como Tayikistán, que es el tercer productor mundial de energía hidroeléctrica (World Bank, 2002). [GTII 10.4.2]

5.2.3.3 Agricultura

En las regiones áridas y semiáridas de Asia, se estima que la demanda de riego agrícola se incrementará como mínimo en un 10% para un aumento de temperatura de 1°C (Fischer et al., 2002a; Liu, 2002). Según un estudio de Tao et al. (2003b), los cultivos de secano de las llanuras del norte y nordeste de China podrían padecer problemas hídricos en los próximos decenios, debido al aumento de la demanda hídrica y al déficit de humedad del suelo, asociado a una disminución de la precipitación. Cabe observar, sin embargo, que más de dos tercios de los modelos agregados en que se basan las Figuras 2.8 y 2.10 apuntan a un aumento de la precipitación y de la escorrentía para esa región. En la China septentrional, el riego con aguas superficiales y subterráneas satisfaría tan sólo un 70% de las necesidades de agua destinada a la producción agrícola, debido a los efectos del cambio climático y al aumento de la demanda (Liu et al., 2001, Qin, 2002). [GTII 10.4.1] Es *probable* que la mayor variabilidad de las características hidrológicas continúe afectando al suministro de cereales y a la seguridad alimentaria en muchas naciones de Asia [GTII 10.4.1.2]

5.2.4 Adaptación y vulnerabilidad

En la actualidad, los países de Asia presentan diversas vulnerabilidades relacionadas con el agua. Algunos de ellos, que en la actualidad no afrontan grandes riesgos, podrían en el futuro padecer estrés hídrico, al que tendrían que hacer frente con distintos niveles de capacidad de adaptación. Las áreas costeras, especialmente las regiones densamente pobladas de los grandes deltas del sur, este y sureste de Asia, serían las más amenazadas por un aumento de las crecidas fluviales y marinas. En el sur y este de Asia, la interacción entre los impactos del cambio climático y el rápido crecimiento demográfico y económico, junto con la migración de las áreas rurales a las urbanas, afectaría a su desarrollo [GTII 10.2.4, 10.4, 10.6]

La vulnerabilidad de una sociedad está influida por su vía de desarrollo, por su grado de exposición física, por la distribución de sus recursos, por los estreses padecidos anteriormente y por las instituciones sociales y gubernamentales. Todas las sociedades tienen capacidad intrínseca para hacer frente a determinadas variaciones climáticas y, sin embargo, la capacidad de adaptación suele estar distribuida de manera irregular, tanto entre unos y otros países como en el seno de cada sociedad. Los más desfavorecidos y los marginados han sido siempre los más expuestos, y son los más vulnerables a los impactos del cambio climático. Análisis recientes en relación con Asia indican que los marginados y los grupos cuya subsistencia depende de recursos primarios serían particularmente vulnerables a los efectos del cambio climático si su base de recursos naturales padeciera un estrés grave y se degradara por sobreexplotación, o si sus sistemas de gobernanza no fueran capaces de ofrecer una respuesta eficaz (Leary et al., 2006). [GTII 17.1]. Aumenta la evidencia de que está teniendo lugar una adaptación en respuesta al cambio climático observado y previsto. El cambio climático ha sido un elemento tenido en cuenta, por ejemplo, en el diseño de proyectos de infraestructura tales como las defensas costeras de las Maldivas, o la prevención del desbordamiento de lagos glaciales en Nepal (véase el Recuadro 5.4). [GTII 17.2, 17.5, 16.5]

En algunas partes de Asia, la transformación de tierras de cultivo en bosques (pastizales), la recuperación y restablecimiento de la vegetación, la mejora de las variedades arbóreas y herbáceas, y la selección y cultivo de nuevas variedades resistentes a la sequía, podrían ser medidas efectivas para prevenir la escasez hídrica ocasionada por el cambio climático. Se podría recurrir a planes de ahorro de agua de riego para evitar la escasez en regiones que padecen ya estrés hídrico (Wang, 2003). En el Asia septentrional, es *probable* que el tratamiento y reutilización de aguas de desecho a nivel municipal (Frolov et al., 2004) y una mayor eficiencia en la utilización del agua destinada al riego y a otros fines (Alcamo et al., 2004) contribuya a evitar la escasez hídrica. [GTII 10.5.2]

Son muchas las medidas de adaptación que podrían aplicarse en diversas partes de Asia para minimizar los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, varias de ellas encaminadas a subsanar a la ineficiencia actual en el uso de agua:

- Modernización de los planes de riego y de la gestión de la demanda hídrica, a fin de optimizar la eficiencia física y económica en la utilización de los recursos hídricos y del agua reciclada en los países que padecen estrés hídrico;
- Políticas de inversión pública que mejoren el acceso a los recursos hídricos disponibles, fomenten la gestión integrada del agua y el respeto por el medio ambiente, y promuevan mejores prácticas para una utilización racional del agua en la agricultura.
- Utilización del agua para satisfacer la demanda de agua no potable. Tras su tratamiento, el agua podría utilizarse también para crear o ampliar humedales y hábitats ribereños. [GTII 10.5.2]

En la práctica, la adaptación y la capacidad de adaptación continuarán estando limitadas, particularmente en los países asiáticos en desarrollo, por diversos factores ecológicos, socieconómicos, técnicos, institucionales y políticos. El reciclado de agua es una forma sostenible de adaptación al cambio climático que podría ser rentable a largo plazo. Sin embargo, el tratamiento del agua de desecho para su reutilización, practicado actualmente en Singapur, y la instalación de sistemas de abastecimiento podrían ser inicialmente más onerosos que otras alternativas de

Recuadro 5.4: El Proyecto de Reducción de Riesgos del lago Tsho Rolpa, en Nepal, como ejemplo de adaptación anticipada. [GTII, Recuadro 17.1]

El Tsho Rolpa es un lago glacial de Nepal situado a una altura de 4.580 m aproximadamente. La reducción del glaciar ha ocasionado el aumento de tamaño del lago, cuya extensión ha aumentado desde 0,23 km^2 en 1957/58 hasta 1,65 km^2 en 1997 (Figura 5.6). Los 90-100 millones de m^3 de agua que contenía el lago por aquel entonces estaban únicamente retenidos por una presa de morrena, situación peligrosa que requería una actuación urgente para aminorar el riesgo de crecida por desbordamiento del lago glacial.

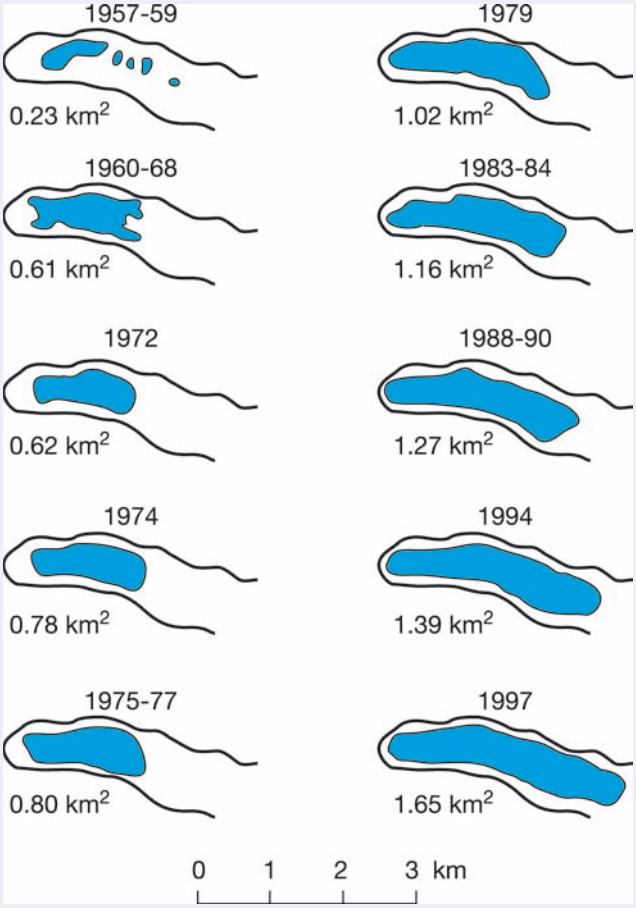


Figura 5.6: *Evolución del área ocupada por el lago Tsho Rolpa.*

De romperse la presa, podría desbordarse no menos de una tercera parte del agua. Aparte de otras consideraciones, esto entrañaría un riesgo de la mayor importancia para la central hidroeléctrica de Khimti, que se hallaba en construcción corriente abajo. El Gobierno de Nepal, consciente del problema, puso en marcha en 1998, con la ayuda de donantes internacionales, un proyecto para rebajar el nivel del lago. Un grupo de expertos recomendó que, para reducir el riesgo de desbordamiento, se redujera el nivel en tres metros mediante la apertura de un canal en la morrena. Se construyó una compuerta para permitir la descarga controlada del agua. Entre tanto, se creó un sistema de alerta temprana en diecinueve pueblos corriente abajo, en prevención de un desbordamiento del lago glacial Tsho Rolpa si los trabajos efectuados no hubieran sido suficientes. Los habitantes de los pueblos circundantes participaron activamente en el diseño del sistema realizando periódicamente simulacros de emergencia. El proyecto llegó a término en 2002, tras cuatro años de construcción y con un costo de 3,2 millones de dólares. Es evidente que la reducción del riesgo de desbordamiento en los lagos glaciales entraña costos importantes y requiere una larga dedicación, ya que para prevenir totalmente el desbordamiento del lago glacial habría que seguir drenándolo de manera que descienda su nivel.

El caso del lago Tsho Rolpa debe contemplarse en un contexto más amplio. La frecuencia de desbordamiento en lagos glaciales de los Himalayas de Nepal, Bhutan y Tíbet ha aumentado, pasando de 0,38 episodios/año en los años 50 a 0,54 episodios/año en los 90. [GTII 1.3.1.1]

Fuente: Mool et al. (2001), OCDE (2003), Shrestha and Shrestha (2004).

suministro de agua, como la importación, o la utilización de agua subterránea. No obstante, podrían ser opciones de adaptación importantes en muchos países de Asia. Para paliar el agotamiento del suministro de agua vinculado a la disminución de la precipitación y al aumento de la temperatura, podrían aplicarse medidas de racionalización del consumo y de reducción de fugas. Sería también eficaz aplicar soluciones comerciales para reducir el malgasto de agua y amortiguar los efectos adversos del cambio climático sobre los recursos hídricos. En ríos tales como el Mekong, en que se prevé un aumento del caudal durante la estación húmeda y una disminución durante la estación seca, la planificación de intervenciones de gestión hídrica como, por ejemplo, la construcción de presas y depósitos, podría reducir marginalmente el caudal de la estación húmeda e incrementar considerablemente el de la estación seca. [GTII 10.5.2, 10.5.7]

5.3 Australia y Nueva Zelandia

5.3.1 Contexto

Aunque Australia y Nueva Zelandia son muy diferentes tanto hidrológica como geológicamente, están experimentando ya los impactos del reciente cambio climático sobre el suministro de agua por efecto de la variabilidad natural y de la actividad humana. El dinamizante regional más importante de la variabilidad climática natural es el ciclo El Niño-Oscilación Austral (Sección 2.1.7). Desde 2002, prácticamente todos los Estados orientales de Australia más su región suroccidental padecen sequía. Esta sequía es como mínimo comparable a las denominadas 'Sequías de la Federación' de 1895 y 1902, y ha suscitado un amplio debate en torno al cambio climático y a su impacto sobre los recursos hídricos y la gestión sostenible del agua. [GTII 11.2.1, 11.2.4]

El aumento de la demanda hídrica ha sometido a estrés la capacidad de suministro con destino a regadíos, ciudades, industrias y cursos medioambientales. El aumento de la demanda en Nueva Zelandia desde los años 80 se ha debido a la intensificación agrícola (Woods and Howard-Williams, 2004). La superficie de regadío de Nueva Zelandia ha aumentado en aproximadamente un 55% por decenio desde los años 60 (Lincoln Environmental, 2000). Desde 1985 hasta 1996, la demanda hídrica de Australia aumentó en un 65% (NLWRA, 2001). Las principales fuentes de estrés medioambiental en ese país son: la salinidad de las áreas áridas, la alteración del caudal de los ríos, la asignación excesiva y el uso ineficiente de los recursos hídricos, la roturación, la intensificación de la agricultura, y la fragmentación de los ecosistemas (SOE, 2001; Cullen, 2002). En el contexto del cambio climático proyectado, el suministro de agua es uno de los sectores más vulnerables de Australia, y se convertirá previsiblemente en un grave problema en algunas áreas de Nueva Zelandia. [GTII 11. RE, 11.2.4, 11.7]

5.3.2 Cambios observados

El suroeste de la Australia occidental, en que predomina la precipitación invernal, ha experimentado una disminución sustancial de la precipitación en el período mayo-julio desde mediados del siglo XX. Los efectos de esa disminución sobre la escorrentía natural han sido graves, como evidencia la disminución en un 50% del aflujo anual a los reservorios de agua de la ciudad de Perth (Figura 5.7). Los recursos locales de

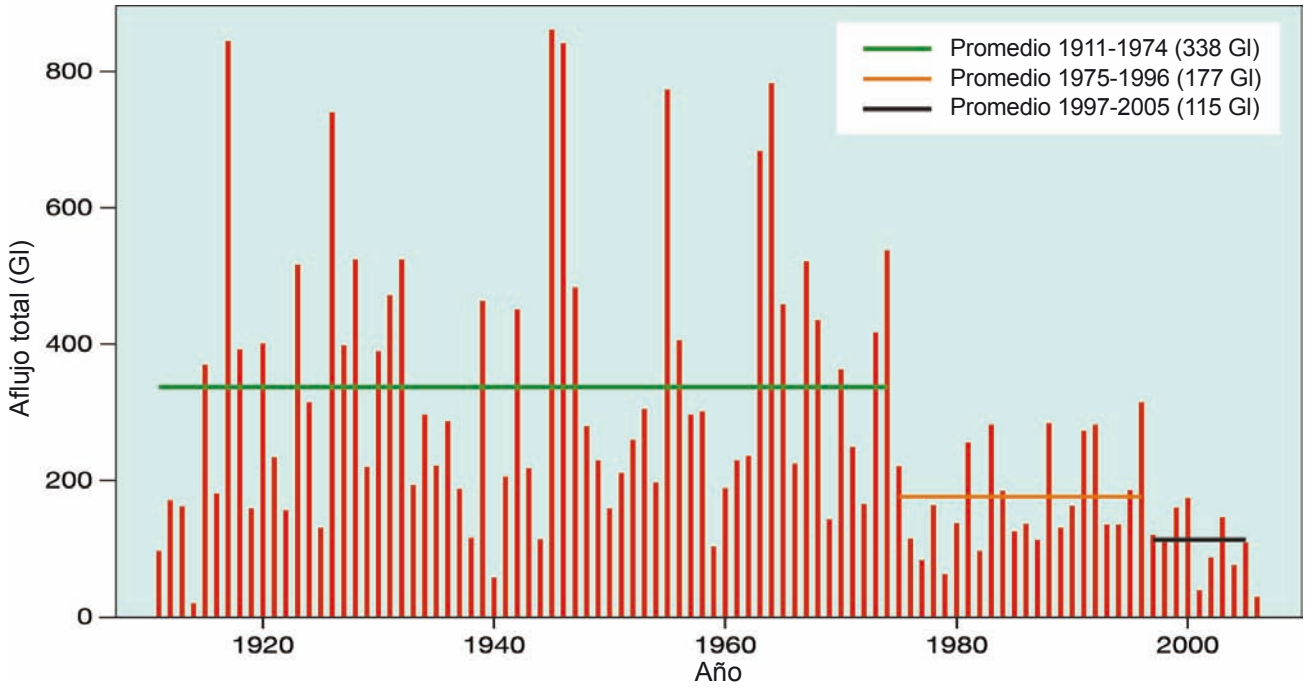


Figura 5.7: *Caudal de aflujo anual recibido por el Servicio de abastecimiento de agua potable de Perth entre 1911 y 2006. Las líneas horizontales representan los promedios. Fuente: http://www.watercorporation.com.au/D/dams_streamflow.cfm (cortesía de Water Corporation of Western Australia). [GTII, Figura 11.3]*

agua subterránea y los humedales han experimentado presiones similares. Ello ha venido acompañado de un incremento de un 20% del consumo doméstico en 20 años y de un crecimiento de la población de un 1,7% anual (IOCI, 2002). Aunque no se disponía de estudios de atribución explícita cuando se publicó el 4IE, las simulaciones climáticas pusieron de manifiesto que al menos parte de la desecación observada estaba relacionada con la intensificación del efecto invernadero (IOCI, 2002). En los últimos años se ha padecido una intensa sequía multianual en el este y en otras partes del sur de Australia. Por ejemplo, el aflujo total recibido por el río Murray durante los cinco años anteriores a 2006 exhibió la secuencia más baja jamás registrada [GTII 11.6]

5.3.3 Cambios proyectados

5.3.3.1 Agua

Es *muy probable* que los actuales problemas de seguridad hídrica se agraven de aquí a 2030 en el sur y este de Australia, y en partes del este de Nueva Zelandia alejadas de ríos importantes. [GTII 11.RE] La cuenca del Murray-Darling es la mayor cuenca hidrográfica de Australia, y representa aproximadamente un 70% de los cultivos de regadío y pastizales (MDBC, 2006). Basándose en los escenarios de emisiones Al y B1 del IE-EE y en una amplia diversidad de MCG, las proyecciones indican que el caudal fluvial anual en la cuenca disminuiría en un 10-25% de aquí a 2050 y en un 16-48% de aquí a 2100, con cambios de salinidad de entre un -8 y un +19%, y de entre un -25 y un +72%, respectivamente (Beare and Heaney, 2002). [GTII, Tabla 11.5] La escorrentía disminuiría entre un 0 y un 45% en 29 cuencas de captación del lago Victoria (Jones and Durack, 2005). En base al escenario A2, las previsiones indican una disminución de un 6-8% de la escorrentía anual en la mayor parte de Australia Occidental, y una disminución de un 14% en el suroeste de Australia durante el período 2021-2050 respecto del período 1961-1990 (Chiew et al., 2003). Cierto estudio de evaluación de riesgos relativo a la ciudad de Melbourne y basado en diez modelos climáticos (en base a los escenarios Bl, A1B y A1F del IE-EE) apunta a una disminución del flujo fluvial promedio de un 3-11% de aquí a 2020 y de un 7-35% de aquí a 2050; sin embargo, la planificación de actuaciones tanto desde el punto de vista de la demanda como del suministro podría aliviar la escasez de agua hasta 2020 (Howe et al., 2005). Es poco lo que se sabe respecto al futuro impacto del cambio climático sobre las aguas subterráneas de Australia. [GTII 11.4.1]

En Nueva Zelandia, es *muy probable* que la escorrentía de los ríos de South Island aumente en verano y disminuya proporcionalmente en invierno (Woods and Howard-Williams, 2004). Es también *muy probable* que ello permita suministrar más agua a las centrales hidroeléctricas durante el período de demanda invernal máxima, y que reduzca la dependencia de los lagos respecto al almacenamiento hídrico, reservando cierta capacidad de generación para el invierno siguiente. Sin embargo, es *probable* que las industrias que dependen del riego (por ejemplo, el sector lácteo, la producción de cereales o la horticultura) experimenten el efecto negativo de una menor disponibilidad de agua en primavera y verano, en que la demanda es máxima. Es *muy probable* que la frecuencia de sequía aumente en las áreas orientales, con pérdidas potenciales de producción agrícola en las tierras de secano (Mullan et al., 2005). Es *virtualmente cierto* que los efectos del cambio climático sobre la frecuencia de crecida y sequía estén modulados por las fases de ENOA y de la OPI (McKerchar and Henderson, 2003). El acuífero subterráneo de la ciudad de Auckland tiene capacidad suficiente para dar cabida a la recarga en todos los escenarios examinados (Namjou et al., 2006). Es *muy improbable* que los caudales de base de los principales arroyos y manantiales se vean amenazados, a menos que se acumulen muchos años de sequía sucesivos. [GTII 11.4.1.1]

5.3.3.2 Energía

En Australia y Nueva Zelandia el cambio climático podría afectar a la producción de energía en las regiones en que la disminución del suministro del agua por efecto del cambio climático afecte a la disponibilidad de agua para alimentar las turbinas hidroeléctricas y el agua de refrigeración en las centrales térmicas. En Nueva Zelandia, es *muy probable* que el aumento de velocidad del viento del oeste potencie la producción de energía eólica y el rebose de la precipitación hacia las principales cuencas hídricas de South Island, así como las lluvias invernales en la cuenca de captación del Waikato (Ministry for the Environment, 2004). Es *virtualmente cierto* que el calentamiento incrementará el deshielo de nieve, la proporción lluvia/nieve, y el caudal fluvial en invierno y al comienzo de la primavera. Es *muy probable* que ello beneficie a la generación de energía hidroeléctrica en los períodos de demanda máxima de electricidad para calefacción [GTII 11.4.10]

5.3.3.3 Salud

Es *probable* que sobrevengan alteraciones del alcance geográfico y de la estacionalidad de algunas enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos, por ejemplo la enfermedad del río Ross, el dengue o el paludismo. Es *probable* que una menor frecuencia de precipitaciones más intensas afecte a la reproducción de los mosquitos y acentúe la variabilidad de las tasas anuales de enfermedad del río Ross, particularmente en áreas templadas y semiáridas (Woodruff et al., 2002, 2006). El dengue es una amenaza de primer orden en Australia; el clima de la parte más septentrional es ya propicio para *Aedes aegypti* (principal mosquito transmisor del virus del dengue), y ha habido brotes de dengue de frecuencia e intensidad creciente en las regiones más septentrionales de Australia durante el último decenio. Es *improbable* que el paludismo se asiente en ese país, a menos que la sanidad pública se deteriore gravemente (McMichael et al., 2003). [GTII 11.4.11]

La eutrofización es un problema importante en relación con la calidad del agua (Davis, 1997; SOE, 2001). Es *probable* que las floraciones de algas tóxicas sean más frecuentes y duraderas por efecto del cambio climático. Tales floraciones podrían amenazar la salud humana, tanto si el agua está destinada a usos recreativos como de consumo, y podrían ser letales para los peces y el ganado (Falconer, 1997). Hay estrategias simples de gestión adaptativa que no afectan a los recursos, como la

limpieza por descarga, y que podrían reducir sustancialmente su aparición y duración en masas de aguas ricas en nutrientes térmicamente estratificadas (Viney et al., 2003). [GTII 11.4.1]

5.3.3.4 Agricultura

Es *muy probable* que sobrevengan grandes cambios en la distribución geográfica de la agricultura y de sus servicios. Es *probable* que el cultivo de tierras marginales en regiones más secas resulte insostenible debido a la escasez de agua, a los nuevos peligros que amenazan la seguridad biológica, a la degradación del medio ambiente y a los disturbios sociales. [GTII 11.7] Es *probable* que los cultivos y otras actividades agrícolas dependientes del riego se vean amenazados por la reducción de la disponibilidad de agua de riego. En Nueva Zelandia, el acortamiento del período de crecimiento del maíz aminora la necesidad de agua de regadío, con lo cual aumenta la sincronización entre el desarrollo y las condiciones climáticas estacionales (Sorensen et al., 2000). Es *probable* que la distribución de cultivos vitícolas en ambos países se modifique atendiendo a su mayor o menor conveniencia respecto de los pastos o la silvicultura, cuyo rendimiento es mayor, y a la disponibilidad y costo del agua de riego. (Hood et al., 2002; Miller and Veltman, 2004; Jenkins, 2006). [GTII 11.4.3]

5.3.3.5 Biodiversidad

De aquí a 2020, es *probable* que el impacto sobre la estructura, función y composición de especies de numerosos ecosistemas naturales sea importante, y es *virtualmente cierto* que agravará tensiones ya existentes, como la presencia de especies invasivas o la pérdida de hábitat (por ejemplo, para las aves migratorias), con lo que aumentaría la probabilidad de extinción de especies, se degradarían gran número de sistemas naturales, y disminuirían los servicios ecosistémicos destinados al suministro de agua. El impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos interactuará también con otros agentes estresantes, como las especies invasoras o la fragmentación del hábitat. Es *muy probable* que la intrusión de agua salada por efecto de la elevación del nivel del mar, la disminución del caudal fluvial y el aumento de la frecuencia de sequía alteren la composición de especies de los hábitats de agua dulce, con el consiguiente impacto sobre las pesquerías en los estuarios y en la costa (Bunn and Arthington, 2002; Hall and Burns, 2002; Herron et al., 2002; Schallenberg et al., 2003). [GTII 11.RE, 11.4.2]

Tabla 5.2: *Ejemplos de estrategias gubernamentales de adaptación para hacer frente a la escasez de agua en Australia. [GTII, Tabla 11.2] Obsérvese que las cifras de las inversiones corresponden a las fechas de publicación de la Cuarta Evaluación en 2007, y que no recogen las modificaciones posteriores.*

Gobierno	Estrategia	Inversión	Fuente
Australia	Indemnizaciones por sequía para las comunidades rurales	700.000 millones de dólares entre 2001 y 2006	DAFF, 2006b
Australia	Iniciativa Nacional del Agua, con apoyo del Fondo Australiano para el Agua	1.500 millones de dólares entre 2004 y 2009	DAFF, 2006a
Australia	Acuerdo sobre la cuenca hidrográfica del Murray-Darling	4.000 millones de dólares entre 2004 y 2009	DPMC, 2004
Victoria	Planta de tratamiento en el este de Melbourne para el suministro de agua reciclada	225 millones de dólares de aquí a 2012	Melbourne Water, 2006
Victoria	Nuevo acueducto entre Bendigo y Ballarat, reciclado de agua, interconexión entre pantanos, reducción de las pérdidas de los canales, medidas de conservación	153 millones de dólares de aquí a 2015	Premier of Victoria, 2006
Victoria	Acueducto de Wimmera Mallee para sustituir los canales de riego al aire libre	376 millones de dólares de aquí a 2010	Vic DSE, 2006
Nueva Gales del Sur (NSW)	El Fondo para el ahorro de agua en NSW subvenciona proyectos para el ahorro y reciclado de agua en Sydney	98 millones de dólares para la tercera fase y más de 25 millones de dólares para otros 68 proyectos	DEUS, 2006
Queensland (Qld)	Plan hídrico 2005-2010 para mejorar la eficiencia de uso y la calidad del agua, el reciclado, la preparación frente a sequías, y un nuevo sistema de precios del agua	Incluye 182 millones de dólares destinados a infraestructura hídrica en el sureste de Qld, y 302 millones de dólares para otros programas de infraestructura	Gobierno de Queensland , 2005
Australia del Sur	El Proyecto de impermeabilización de Adelaide constituye un plan rector para la gestión, conservación y desarrollo de los recursos hídricos de Adelaide hasta 2025	N/A	Gobierno de Australia del Sur, 2005
Australia Occidental (WA)	Estrategia Estatal del Agua (2003) y Plan Estatal del Agua (en proyecto). La Corporación Hídrica de Australia Occidental duplicó el suministro entre 1996 y 2006	500 millones de dólares invertidos por la Corporación Hídrica de Australia Occidental entre 1996 y 2006, más 290 millones de dólares para la planta desalinizadora de Perth	Gobierno de Australia Occidental, 2003, 2006; Corporación Hídrica, 2006

5.3.4 Adaptación y vulnerabilidad

La adaptación planificada puede atenuar en gran medida la vulnerabilidad, y la incorporación de los riesgos vinculados al cambio climático, desde el punto de vista tanto de la oferta como de la demanda, ofrecería oportunidades (Allen Consulting Group, 2005). En grandes ciudades, como Perth, Brisbane, Sydney, Melbourne, Adelaide, Canberra u Auckland, el problema de la presión demográfica, la sequía actual del sur y este de Australia y el impacto del cambio climático están induciendo a los planificadores a considerar diversas opciones de adaptación. Aunque se han introducido ya ciertas adaptaciones en respuesta al cambio climático observado (por ejemplo, la desalinización de agua del mar, el reciclado de agua, o las actuales restricciones de agua) (véase la Tabla 5.2) [GTII, Tabla 11.2.2, 11.6], ambos países han adoptado importantes medidas para crear capacidad de adaptación, apoyando en mayor medida la investigación y el conocimiento, profundizando en la evaluación de los riesgos de cambio climático para uso de los decisores, incorporando el cambio climático en las políticas y en los planes, fomentando la sensibilización sobre estos temas, y abordando con mayor eficacia las cuestiones climáticas. Sin embargo, sigue habiendo obstáculos de orden medioambiental, económico, informativo, social, político y psicológico que dificultan la puesta en práctica de las medidas de adaptación [GTII 11.5]

En las cuencas urbanas podría utilizarse agua de lluvia y reciclada para incrementar el suministro, aunque los esquemas institucionales y los sistemas técnicos de abastecimiento de agua existentes limitan su puesta en práctica. Además, la comunidad es renuente a la utilización de agua reciclada para el consumo humano (por ejemplo, en ciudades tales como Toowoomba, Queensland, o Goulburn, Nueva Gales del Sur). Otra respuesta de adaptación, activamente asumida mediante políticas de incentivos y subvenciones, es la instalación de depósitos de recogida de agua de lluvia. Para las actividades rurales, será necesario flexibilizar los sistemas de asignación mediante la ampliación de los mercados de agua, que gracias a la oferta y a la demanda podrían mejorar la eficiencia del uso de agua (Beare and Heaney, 2002). Se están haciendo progresos importantes a este respecto. En el marco de la Iniciativa Hídrica Nacional, los Estados, los territorios y el Gobierno de Australia se han comprometido a aplicar las prácticas de tarificación del agua más adecuadas y a establecer mecanismos institucionales que permitan una atribución de costos hídricos coherente. [GTII 11.5]

Tanto en Australia como en Nueva Zelandia, el impacto del cambio climático, sumado a otras tendencias no climáticas, tiene serias implicaciones respecto a la sostenibilidad. En algunas cuencas hidrográficas, en que el aumento de la demanda hídrica de áreas urbanas y rurales ha sobrepasado ya unos niveles de suministro sostenibles, es *probable* que las estrategias de adaptación, tanto actuales como propuestas [GTII 11.2.5], permitan ganar algo de tiempo. De continuar las tasas de desarrollo costero, es *probable* que se necesite una planificación y reglamentación más ajustadas para que el desarrollo siga siendo sostenible. [GTII 11.7]

5.4 Europa

5.4.1 Contexto

En Europa abunda el agua, y hay gran número de ríos permanentes, muchos de los cuales fluyen desde el centro del continente hacia la periferia. Hay también grandes extensiones de relieve bajo. Los principales tipos de clima en Europa son: marítimo, de transición, continental, polar y mediterráneo; los principales tipos de vegetación son: tundra, taigá de coníferas (bosque boreal), bosque mixto caducifolio, estepa, y flora mediterránea. Una proporción relativamente grande del continente es terreno agrícola en explotación; aproximadamente un tercio de su superficie está clasificada como roturable, y los cereales son el cultivo predominante. [GTII TIE 13.1.2.1]

La sensibilidad de Europa al cambio climático presenta un gradiente norte-sur bien definido, y son muchos los estudios que indican que la Europa meridional será la más afectada (EEA, 2004). Según las proyecciones, el clima de la Europa meridional, que es ya cálido y semiárido, se calentaría y secaría aún más, amenazando así sus vías navegables, sus centrales hidroeléctricas, y su producción agrícola y maderera. La precipitación estival disminuiría en la Europa central y oriental, agravando con ello el estrés hídrico. Los países septentrionales son también vulnerables al cambio climático, aunque en las etapas iniciales del calentamiento podrían beneficiarse en cierta medida, ya que aumentaría el rendimiento de sus cultivos y el crecimiento de sus bosques. [GTII 12.2.3, RRP]

Las principales presiones medioambientales tienen relación con la diversidad biológica, el paisaje, el suelo y la degradación de la tierra, la degradación forestal, los fenómenos naturales peligrosos, la gestión del agua y los entornos recreativos. Los ecosistemas de Europa están gestionados o semigestionados en su mayor parte, y suelen estar fragmentados y en condiciones de estrés por efecto de la polución y de otros efectos humanos [GTII TIE 13.1.2.1]

5.4.2 Cambios observados

Durante el periodo 1946-1999, la precipitación invernal media aumentó en la mayor parte de la Europa atlántica y septentrional (Klein Tank et al., 2002), dato que debería interpretarse, en parte, en el contexto de los cambios invernales de la ONA (Scaife et al., 2005). En el área del Mediterráneo, la tendencia de la precipitación anual durante el período 1950-2000 fue negativa (Norrant and Douguédroit, 2006). Se ha observado un aumento de la precipitación media por día húmedo en la mayor parte del continente, inclusive en ciertas áreas cuya sequedad está aumentando (Frich et al., 2002; Klein Tank et al., 2002; Alexander et al., 2006). Como consecuencia de estos y de otros cambios de los regímenes hidrológico y térmico (cf. Auer et al., 2007), se han podido documentar efectos observados en otros sectores, algunos de los cuales se indican en la Tabla 5.3. [GTI, Capítulo 3; GTI 12.2.1]

Tabla 5.3: *Atribución de los cambios recientes experimentados por los ecosistemas naturales y gestionados a las recientes tendencias de la temperatura y de la precipitación. [Selección obtenida de GTII, Tabla 12.1]*

Región	Cambio observado	Referencia
Ecosistemas terrestres		
Montañas finoescandinavas y subárticas	Desaparición de algunos tipos de humedal (ciénagas balsa) en Laponia; aumento de la riqueza y frecuencia de especies en el margen altitudinal de la flora	Klanderud and Birks, 2003; Luoto et al., 2004
Agricultura		
Partes de la Europa septentrional	Aumento del estrés sobre los cultivos durante los veranos más cálidos y secos; mayor riesgo de granizo para los cultivos	Viner et al., 2006
Criosfera		
Rusia	Disminución del espesor y extensión superficial del permafrost y daños en la infraestructura	Frauenfeld et al., 2004; Mazhitova et al., 2004
Alpes	Disminución de la cubierta de nieve estacional (a elevaciones menores)	Laternser and Schneebeli, 2003; Martin and Etchevers, 2005
Europa	Disminución del volumen y superficie de los glaciares (excepto algunos de Noruega)	Hoelzle et al., 2003

5.4.3 Cambios proyectados

5.4.3.1 Agua

En términos generales y para todos los escenarios, la precipitación anual media aumentaría en el norte de Europa y disminuiría hacia el sur. Sin embargo, el cambio de la precipitación varía considerablemente de una a otra estación y de una a otra región, debido a los cambios de la circulación en gran escala y de la carga de vapor de agua. Según Räisänen et al. (2004), la precipitación estival disminuiría sustancialmente (hasta un 70% en ciertas áreas, en base al escenario A2 del IE-EE) en la Europa central y meridional, y en menor medida hasta el centro de Escandinavia. Giorgi et al. (2004) identificaron un aumento de la circulación anticiclónica estival sobre el Atlántico nororiental, que induce un frente de altas presiones sobre la Europa occidental y una depresión sobre la oriental. Esta estructura bloqueante desvía las tempestades hacia el norte, ocasionando una disminución sustancial y generalizada de la precipitación (hasta un 30-45%) en la cuenca mediterránea y en la Europa occidental y central. [GTI, Tabla 11.1; GTII 12.3.1.1]

El cambio climático tendría múltiples efectos sobre los recursos hídricos (Tabla 5.3). La escorrentía anual aumentaría en la Europa atlántica y septentrional (Werritty, 2001; Andréasson et al., 2004), y disminuiría en la Europa central, mediterránea y oriental (Chang et al., 2002; Etchevers et al., 2002; Menzel and Bürger, 2002; Iglesias et al., 2005). La escorrentía promedia anual en la Europa septentrional (por encima de los 47°N) aumentaría en aproximadamente un 5-15% hasta los años 2020 y en un 9-22% hasta los años 2070, ateniéndose a los escenarios A2 y B2 y a los escenarios climáticos de dos modelos diferentes (Alcamo et al., 2007). Al mismo tiempo, en la Europa meridional (al sur de los 47°N), la escorrentía disminuiría en un 0-23% hasta el decenio de 2020 y en un 6-36% hasta el decenio de 2070 (en base a los mismos supuestos). Es *probable* que disminuya la recarga de las aguas subterráneas en la Europa central y oriental (Eitzinger et al., 2003), y que esa disminución sea mayor en los valles (Krüger et al., 2002) y en las tierras bajas, por ejemplo en las estepas de Hungría: (Somlyódy, 2002). [GTII 12.4.1, Figura 12.1]

La estacionalidad de los caudales aumentará, con flujos más caudalosos en la estación de valores máximos, y menores en la estación de valores mínimos o durante períodos de sequía prolongados (Arnell 2003, 2004). [GTII, 3.4.1] Ciertos estudios señalan un aumento de los caudales invernales y una disminución de los estivales en el Rin (Middelkoop and Kwadijk, 2001) y en los ríos de Eslovaquia (Szolgay et al., 2004), el Volga, y la Europa central y oriental (Oltchev et al., 2002). Inicialmente, el retroceso de los glaciares ocasionaría un aumento del caudal fluvial estival en los Alpes. Con la retracción de los glaciares, sin embargo, el caudal estival disminuiría (Hock et al., 2005) hasta en un 50% (Zierl and Bugmann, 2005). Los caudales estivales mínimos disminuirían en un 50% en la Europa central (Eckhardt and Ulbrich, 2003), y hasta en un 80% en algunos ríos de la Europa meridional (Santos et al., 2002). [GTII 12.4.1]

Las regiones más propensas a un mayor riesgo de sequía son las mediterráneas, y partes de la Europa central y oriental, en que se prevé un mayor aumento de la demanda de agua de riego (Döll, 2002; Donevska and Dodeva, 2004). Ello obligará a desarrollar planes para conseguir un uso sostenible de la tierra. Es *probable* que la necesidad de riego cobre gran importancia en países (por ejemplo, Irlanda) en que prácticamente no existe hoy en día (Holden et al., 2003). Es *probable* que las áreas que padecen estrés hídrico grave (es decir, una proporción extracción/disponibilidad superior al 40%) aumenten en extensión por efecto tanto del cambio climático como de una mayor extracción de agua, y que ello intensifique la competencia por los recursos hídricos disponibles (Alcamo et al., 2003b; Schröter et al., 2005). [GTII 12.4.1]

Riesgos futuros de crecida y de sequía (véase la Tabla 5.4). El riesgo de crecida aumentaría en todo el continente. La región más propensa a una mayor frecuencia de crecidas es la Europa

Tabla 5.4: *Impacto del cambio climático sobre la frecuencia de sequías y crecidas en Europa para diversos intervalos de tiempo y diversos escenarios basados en los modelos ECHAM4 y HadCM3. [GTII, Tabla 12.2]*

Intervalo de tiempo	Disponibilidad hídrica y sequías	Crecidas
Años 2020	Aumento de hasta un 15% de la escorrentía anual en la Europa septentrional, y disminución de hasta un 23% en la Europa meridional[a]	Aumento del riesgo de crecidas invernales en la Europa septentrional, y de crecidas repentinas en el conjunto de Europa
	Disminución del flujo estival[d]	Riesgo de que las crecidas de deshielo se desplacen de la primavera al verano[c]
Años 2050	Disminución de hasta un 20-30% de la escorrentía anual en la Europa sudoriental[b]	
Años 2070	Aumento de hasta un 30% de la escorrentía anual en el norte y disminución de hasta un 36% en el sur[a]	Se proyecta que las crecidas que actualmente sobrevienen cada 100 años lo hagan con mayor frecuencia en el norte y nordeste de Europa (Suecia, Finlandia y norte de Rusia), Irlanda, Europa central y oriental (Polonia y ríos alpinos), partes atlánticas de la Europa meridional (España y Portugal), y con menor frecuencia en grandes extensiones de la Europa meridional[c]
	Disminución de hasta en un 80% del flujo estival mínimo[b, d]	
	Disminución del riesgo de sequía en la Europa septentrional, aumento del riesgo de sequía en la Europa occidental y meridional. De aquí al decenio de 2070 se prevé que las sequías que actualmente sobrevienen cada 100 años se repitan, por término medio, cada 10 años (o menos) en partes de España y Portugal, región occidental de Francia, cuenca del Vístula en Polonia, y Turquía occidental[c]	

[a] Alcamo et al., 2007; [b] Arnell, 2004, [c] Lehner et al., 2006, [d] Santos et al., 2002.

oriental, seguida de la Europa septentrional, costa atlántica y Europa central, mientras que en la Europa meridional y sudoriental aumentaría notablemente la frecuencia de sequías. En ciertas regiones aumentarían tanto el riesgo de crecida como el de sequía [GTII Tabla 12.4]

Christensen and Christensen (2003), Giorgi et al. (2004), Kjellström (2004), y Kundzewicz et al. (2006) han constatado un aumento sustancial de la intensidad de los episodios de precitación diaria. Este aumento afectaría incluso a las áreas en que disminuye la precipitación media, como la Europa central o el Mediterráneo. El impacto de este cambio sobre la región del Mediterráneo durante los veranos no es evidente, debido al fuerte componente de lluvia convectiva y a su gran variabilidad espacial (Llasat, 2001). [GTII 12.3.1.2]

El efecto conjunto de la subida de temperaturas y de la disminución de la precipitación estival incrementará la frecuencia de olas de calor y de sequía. Schar et al. (2004) concluyen que el clima estival europeo experimentaría un marcado aumento de la variabilidad interanual y, consiguientemente, aumentaría la incidencia de olas de calor y sequías. El Mediterráneo, e incluso gran parte de la Europa oriental, podría experimentar un aumento en cuanto a períodos secos a finales del siglo XXI (Polemio and Casarano, 2004). Según Good et al. (2006), el período seco anual máximo podría aumentar en hasta un 50%, particularmente en Francia y en la Europa central. Sin embargo, hay evidencia reciente (Lenderink et al., 2007) de que algunas de esas proyecciones de sequías y olas de calor podrían estar ligeramente sobreestimadas, debido a la parametrización de la humedad del suelo en los modelos climáticos regionales. La disminución de la precipitación estival en la Europa meridional, sumada a un aumento de temperatura que intensificara la demanda evaporativa, conduciría inevitablemente a una disminución estival de la humedad del suelo (cf. Douville et al., 2002) y acarrearía sequías más frecuentes e intensas. [GTII 3.4.3, 12.3.1]

Ciertos estudios indican una disminución de los valores máximos de crecida por deshielo de aquí al decenio de 2080 en partes del Reino Unido (Kay et al., 2006b), aunque los efectos del cambio climático sobre el régimen de crecidas podrían ser tanto positivos como negativos, evidenciando así la incertidumbre que subsiste sobre los impactos del cambio climático (Reynard et al., 2004). Palmer and Räisänen (2002) han analizado mediante modelos las diferencias entre la precipitación invernal obtenida en una sesión de control y la de un agregado de modelos basados en un aumento transitorio del CO_2, calculadas en torno al punto de duplicación de CO_2. En Europa, los resultados indicaban un aumento considerable del riesgo de inviernos muy húmedos. La probabilidad de que la precipitación invernal boreal total exceda de la normal en más de dos desviaciones típicas aumentaba considerablemente (entre un 500 y un 700%) en grandes extensiones de Europa, con *probables* consecuencias respecto al riesgo de crecidas invernales. [GTII 3.4.3]

5.4.3.2 Energía

La energía hidroeléctrica es una de las principales fuentes de energía renovable en Europa (un 19,8% de la electricidad generada). De aquí al decenio de 2070, cabe esperar que el potencial de generación de energía hidroeléctrica en toda Europa disminuya en un 6%, lo que equivaldría a una disminución de un 20-50% en torno al Mediterráneo, un aumento de 15-30% en la Europa septentrional y oriental, y una pauta estable en la Europa occidental y central (Lehner et al., 2005). La producción de biocombustibles está determinada en gran medida por el suministro de humedad y por la duración del período de crecimiento (Olesen and Bindi, 2002). [GTII 12.4.8.1]

5.4.3.3 Salud

Es *probable*, asimismo, que el cambio climático afecte a la calidad y cantidad de agua en Europa y, por consiguiente, al riesgo de contaminación de los suministros de agua públicos y privados (Miettinen et al., 2001; Hunter, 2003; Elpiner, 2004; Kovats and Tirado, 2006). Tanto la precipitación extrema como la sequía intensa podrían acrecer la carga microbiana total del agua dulce y tener implicaciones respecto a los brotes de enfermedades y el control de la calidad del agua (Howe et al., 2002; Kistemann et al., 2002; Opopol et al., 2003; Knight et al., 2004; Schijven and de Roda Husman, 2005). [GTII 12.4.11]

5.4.3.4 Agricultura

Según las proyecciones, el aumento de fenómenos meteorológicos extremos (por ejemplo, episodios de alta temperatura o de sequía) (Meehl and Tebaldi, 2004; Schär et al., 2004; Beniston et al., 2007) intensificaría la variabilidad de la producción agrícola (Jones et al., 2003b) y reduciría la producción promedia (Trnka et al., 2004). En la región mediterránea de Europa, en particular, es probable que la mayor frecuencia de extremos climáticos durante las fases de desarrollo de determinados cultivos (por ejemplo, episodios de estrés térmico durante el período de floración, o días de lluvia durante las fechas de siembra), sumada a una mayor intensidad de precipitación y a una mayor duración de los períodos secos, aminore el rendimiento de los cultivos estivales (por ejemplo, el girasol). [GTII 12.4.7.1]

5.4.3.5 Biodiversidad

Las proyecciones apuntan a la desaparición de numerosos sistemas, como las áreas de permafrost árticas, o los ecosistemas acuáticos efímeros del Mediterráneo. [GTII 12.4.3]

Es *probable* que la pérdida de permafrost en la región ártica (ACIA, 2004) ocasione la disminución de ciertos tipos de humedales en la actual zona de permafrost (Ivanov and Maximov, 2003). Una de las consecuencias del calentamiento podría ser un mayor riesgo de floración de algas y un mayor crecimiento de cianobacterias tóxicas en los lagos (Moss et al., 2003; Straile et al., 2003; Briers et al., 2004; Eisenreich, 2005). El aumento de la precipitación y la disminución de las heladas podrían favorecer la pérdida de nutrientes en campos cultivados, con el consiguiente aumento de la carga de nutrientes en lagos y humedales (Bouraoui et al., 2004; Kaste et al., 2004; Eisenreich, 2005), en los cuales se intensificaría la eutrofización (Jeppesen et al., 2003). El aumento de las temperaturas hará disminuir también los niveles de saturación del oxígeno disuelto, y acrecentará el riesgo de agotamiento del oxígeno (Sand-Jensen and Pedersen 2005). [GTII 12.4.5]

Es *probable* que el aumento de las temperaturas enriquezca la diversidad de especies en ecosistemas de agua dulce del norte de Europa, que disminuiría en partes de la Europa suroccidental (Gutiérrez Teira, 2003). [GTII 12.4.6]

5.4.4 Adaptación y vulnerabilidad

El cambio climático planteará dos importantes problemas de gestión hídrica en Europa: el aumento del estrés hídrico, principalmente en la Europa sudoriental, y el riesgo de crecidas en la mayor parte del continente. Las opciones de adaptación para hacer frente a esos problemas están bien documentadas (IPCC, 2001b). Es *probable* que la construcción de reservorios en tierras altas y de diques en áreas bajas siga siendo la principal medida estructural de protección contra las crecidas (Hooijer et al., 2004). Sin embargo, hay otras opciones de adaptación planificadas que están adquiriendo predicamento: ampliación de llanuras inundables (Helms et al., 2002), reservorios de emergencia frente a crecidas (Somlyódy, 2002), áreas de reserva para aguas de crecida (Silander et al., 2006), o sistemas de predicción y alerta frente a crecidas, particularmente crecidas repentinas. Los reservorios polivalentes sirven como medida de adaptación tanto frente a las crecidas como frente a las sequías. [GTII 12.5.1]

Para adaptarse al aumento de estrés hídrico, las estrategias planificadas más comunes siguen siendo las medidas adoptadas desde el punto de vista del suministro; por ejemplo, el represamiento para formar reservorios en los ríos (Santos et al., 2002; Iglesias et al., 2005). Sin embargo, las normas medioambientales (Barreira, 2004) y los elevados costos de inversión (Schröter et al., 2005) están dificultando cada vez más la construcción de nuevos reservorios en Europa. Otras soluciones orientadas al suministro, como la reutilización de aguas de desecho o la desalinización, están siendo más ampliamente contempladas, aunque su popularización tropieza con los problemas sanitarios que conlleva la utilización de aguas de desecho (Geres, 2004) y con el elevado costo energético de la desalinización (Iglesias et al., 2005), respectivamente. Son también viables algunas estrategias planificadas desde el punto de vista de la demanda (AEMA, 2002), como la de conservación de agua para usos domésticos, industriales y agrícolas, la reducción de las pérdidas en los sistemas municipales de abastecimiento de agua y en los sistemas de riego (Donevska and Dodeva, 2004; Geres, 2004), o el control de los precios del agua (Iglesias et al., 2005). La demanda de agua de riego podría reducirse mediante la introducción de cultivos más adecuados al cambio climático. Un ejemplo europeo, único en su género, de metodología de adaptación al estrés hídrico es la incorporación, en los planes de gestión hídrica integrada, de estrategias de adaptación al cambio climático a nivel regional y a nivel de cuenca (Kabat et al., 2002; Cosgrove et al., 2004, Kashyap, 2004), junto con el diseño de estrategias nacionales adaptadas a las estructuras de gobernanza existentes (Donevska and Dodeva, 2004). [GTII 12.5.1]

En algunos países y regiones (por ejemplo, Países Bajos, Reino Unido y Alemania) se están desarrollando procedimientos de adaptación y prácticas de gestión de riesgos respecto al sector hídrico que contemplan la incertidumbre de los cambios hidrológicos proyectados [GTII 3.RE, 3.2, 3.6]

5.5 América Latina

5.5.1 Contexto

El continuo crecimiento demográfico tiene consecuencias respecto a la demanda de alimentos. Dado que en la mayoría

de países de América Latina las economías dependen de la productividad agrícola, la variación regional del rendimiento de los cultivos es un problema muy importante. Debido a su configuración geográfica, América Latina exhibe una gran diversidad climática. La región contiene también extensas áreas áridas y semiáridas. Su espectro climático abarca desde climas fríos, en las altas elevaciones heladas, hasta climas templados y tropicales. En conjunto, los glaciares han disminuido durante los últimos decenios, y algunos glaciares muy pequeños ya han desaparecido.

El Amazonas, el Paraná-Río de la Plata y el Orinoco transportan conjuntamente al Océano Atlántico más de un 30% del agua dulce renovable del mundo. Sin embargo, esos recursos hídricos están deficientemente distribuidos, y hay extensas áreas cuya disponibilidad de agua es muy limitada (Mata et al., 2001). La disponibilidad y calidad del agua experimentan estrés en los lugares de baja precipitación o alta temperatura. Las sequías, vinculadas estadísticamente a los episodios de ENOA, ocasionan restricciones rigurosas de los recursos hídricos en numerosas áreas de América Latina.

5.5.2 Cambios observados

5.5.2.1 Agua

En los tres últimos decenios, América Latina ha estado sometida a los impactos siguientes en relación con el clima, algunos de ellos vinculados a los episodios de ENOA.

- Aumento de la frecuencia de extremos climáticos tales como crecidas, sequías o deslizamientos de tierra (por ejemplo, las intensas precipitaciones de Venezuela (1999 y 2005); la inundación de la Pampa argentina (2000 y 2002), la sequía del Amazonas (2005), las destructivas tempestades de granizo de Bolivia (2002) y de Buenos Aires (2006), el ciclón Catarina en el Atlántico Sur (2004), o la estación de huracanes de 2005, sin precedentes en la región del Caribe). La frecuencia de desastres relacionados con el clima aumentó en un factor de 2,4 entre 1970-1999 y 2000-2005, continuando así la tendencia observada durante los años 90. Sólo se ha cuantificado económicamente un 19% de los fenómenos acaecidos entre 2000 y 2005, que representan unas pérdidas de casi 20.000 millones de dólares (Nagy et al., 2006). [GTII 13.2.2].
- Estrés respecto a la disponibilidad del agua: diversas sequías relacionadas con La Niña restringieron gravemente el abastecimiento de agua y la demanda de agua de riego en la parte central y occidental de Argentina y en el centro de Chile. Sequías relacionadas con El Niño hicieron disminuir el caudal del río Cauca, en Colombia. [GTII 13.2.2]
- Se han observado aumentos de la precipitación en el sur de Brasil, Paraguay, Uruguay, nordeste de Argentina (Pampas), y partes de Bolivia, noroeste de Perú, Ecuador y noroeste de México. El aumento de la precipitación incrementó en un 10% la frecuencia de crecida en el río Amazonas a la altura de Obidos, y en un 50% el caudal de los ríos de Uruguay, del Paraná y del Paraguay, así como las crecidas en la cuenca del Mamore, en la Amazonia boliviana. Se ha observado también en la región un aumento en cuanto a episodios de precipitación intensa y días secos. Recíprocamente, se ha observado una tendencia decreciente de la precipitación en Chile, suroeste de Argentina, nordeste de Brasil, sur de Perú y oeste de América Central (por ejemplo, en Nicaragua). [GTII 13.2.4.1]
- Un aumento del nivel del mar de 2-3 mm/año durante los últimos 10-20 años en el sureste de América del Sur. [GTII 13.2.4.1]
- En el área tropical andina de Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia la superficie de los glaciares ha disminuido en magnitud similar a la del cambio mundial experimentado desde el final de la Pequeña Era Glacial (véase la Figura 5.9). Los glaciares más pequeños han sido los más afectados (véase el Recuadro 5.5). La razón de estos cambios, a diferencia de los experimentados en latitudes medias y altas, está vinculada a una combinación compleja y espacialmente variable de altas temperaturas y de cambios en el contenido de humedad de la atmósfera. [GTI 4.5.3]

En la Tabla 5.5 y en la Figura 5.8 se encontrarán más detalles sobre las tendencias observadas respecto a las variables hidrológicas.

5.5.2.2 Energía

La energía hidroeléctrica es la principal fuente de energía en la mayor parte de los países de América Latina, y es vulnerable a las persistentes anomalías de precipitación en gran escala observadas en Argentina, Colombia, Brasil, Chile, Perú, Uruguay y Venezuela por efecto de El Niño y de La Niña. El aumento de la demanda de energía y la intensificación de la sequía provocaron conjuntamente un colapso virtual de la energía hidroeléctrica en la mayor parte de Brasil en 2001, y contribuyeron a la disminución del PIB (Kane, 2002). El retroceso de los glaciares está afectando también a la generación de energía hidroeléctrica, como se ha observado en las ciudades de La Paz y Lima. [GTII 13.2.2, 13.2.4]

5.5.2.3 Salud

Existen vínculos entre los fenómenos extremos relacionados con el clima y la salud en América Latina. Las sequías favorecen la aparición de epidemias en Colombia y Guyana, y las crecidas ocasionan epidemias en la región costera septentrional seca de Perú (Gagnon et al., 2002). Las variaciones anuales del dengue y de la fiebre hemorrágica del dengue en Honduras y Nicaragua parecen estar relacionadas con la fluctuación de la densidad de vectores ocasionada por el clima (temperatura, humedad, radiación solar y precipitación) (Patz et al., 2005). Las crecidas desencadenaron brotes de *leptospirosis* en Brasil, particularmente en áreas de alta densidad de población sin drenaje adecuado (Ko et al., 1999; Kupek et al., 2000). La distribución de la *esquistosomiasis* está probablemente vinculada a factores climáticos. Por lo que se refiere a las enfermedades transmitidas por roedores, hay evidencia suficiente de que su aumento se produce durante o a continuación de episodios de precipitación intensa e inundaciones, debido a la alteración de las pautas de contacto entre seres humanos, patógenos y roedores. En ciertas áreas

Tabla 5.5: *Tendencias recientes de las variables hidrológicas. [GTII, Tabla 13.1, Tabla 13.2, Tabla 13.3]*

Tendencias actuales de la precipitación (GTII, Tabla 13.2)		
Precipitación (cambio indicado en %, excepto cuando se indique lo contrario)	**Período**	**Cambio**
Amazonia - norte/sur (Marengo, 2004)	1949–1999	-11 a -17 / -23 a +18
Amazonia boliviana (Ronchail et al., 2005)	desde 1970	+15
Argentina - centro y nordeste (Penalba and Vargas, 2004)	1900–2000	+1 DT a +2 DT
Uruguay (Bidegain et al., 2005)	1961–2002	+ 20
Chile - centro (Camilloni, 2005)	últimos 50 años	-50
Colombia (Pabón, 2003)	1961–1990	-4 a +6
Fenómenos hidrológicos extremos destacables y sus impactos, 2004-2006 (GTII, Tabla 13.1)		
Lluvias intensas Sep. 2005	Colombia: 70 muertos, 86 heridos, 6 desaparecidos y 140.000 víctimas de las crecidas (NOAA, 2005).	
Lluvias intensas Feb. 2005	Venezuela: precipitación intensa (principalmente en la costa central y en las montañas de los Andes), fuertes crecidas y deslizamientos de tierra. Pérdidas de 52 millones de dólares ; 63 muertos y 175.000 heridos (UCV, 2005; DNPC, 2005/2006).	
Sequías 2004–2006	Argentina – Chaco: pérdidas estimadas en 360 millones de dólares, 120.000 reses perdidas,10.000 evacuados en 2004 (SRA, 2005). Asimismo en Bolivia y Paraguay: 2004/05. Brasil - Amazonia: una grave sequía afectó a la Amazonia central y suroccidental, probablemente asociada a las altas temperaturas de la superficie del mar en el Atlántico Norte tropical (http://www.cptec.inpe.br/). Brasil - Río Grande do Sul: disminución de la producción de soja en un 65%, y de maíz en un 56% (http://www.ibge.gov.br/home/, en inglés: http://www.ibge.gov.br/english/).	
Tendencias de retracción de los glaciares (GTII, Tabla 13.3)		
Glaciares/período	*Cambios/impactos*	
Perú[a,b] Últimos 35 años	Disminución de un 22% de la superficie total de los glaciares (véase la Figura 5.9), disminución de un 12% del agua dulce en el área costera (en la que vive un 60% de la población del país). Pérdida de agua estimada, próxima a 7.000 x 10^6 m^3	
Perú[c] Últimos 30 años	Disminución de un 80% de la superficie de los glaciares muy pequeños; pérdida de 188 x 10^6 m^3 de reservas de agua durante los últimos 50 años.	
Colombia[d] 1990–2000	Disminución de un 82% de los glaciares; de seguir la actual tendencia climática, los glaciares de Colombia desaparecerían por completo antes de 100 años.	
Ecuador[e] 1956–1998	Se ha producido una disminución gradual de la longitud de los glaciares; disminución del suministro de agua de riego y del suministro de agua limpia para la ciudad de Quito.	
Bolivia[f] Desde mediados de los 90	Las proyecciones de la reducción de los glaciares de Bolivia arrojan efectos adversos respecto al suministro de agua y a la generación de energía hidroeléctrica en la ciudad de La Paz. Véase asimismo el Recuadro 5.5.	

[a] Vásquez, 2004; [b] Mark and Seltzer, 2003; [c] NC-Perú, 2001; [d] NC-Colombia, 2001; [e] NC-Ecuador, 2000; [f] Francou et al., 2003.

costeras del golfo de México, el aumento de la temperatura superficial del mar y de la precipitación ha sido asociado a una intensificación de los ciclos de transmisión del dengue (Hurtado-Díaz et al., 2006). [GTII 13.2.2, 8.2.8.3]

5.5.2.4 Agricultura

Debido al aumento de precipitación y humedad que conlleva El Niño, se han observado en Perú diversas micosis del maíz, de las patatas, del trigo y de los frijoles. Se han conocido impactos positivos en la región de la Pampa argentina, donde el aumento de la precipitación ha mejorado el rendimiento de los cultivos en cerca de un 38% en el caso de la soja, en un 18% en el caso del maíz, en un 13% en el caso del trigo, y en un 12% en el caso del girasol. Análogamente, la productividad de los pastizales ha aumentado en un 7% en Argentina y Uruguay. [GTII 13.2.2, 13.2.4]

5.5.2.5 Biodiversidad

Son pocos los estudios que evalúan los efectos del cambio climático sobre la diversidad biológica, y en todos ellos es difícil diferenciar los efectos debidos al cambio climático de los inducidos por otros factores. Los bosques tropicales de América Latina, particularmente en la Amazonia, son crecientemente susceptibles a los incendios causados por un incremento de las sequías relacionadas con El Niño y por los cambios de uso de la tierra (deforestación, tala selectiva y fragmentación forestal). [GTII 13.2.2]

En relación con la biodiversidad, se ha observado que la población de sapos y ranas de los bosques nubosos ha resultado afectada tras una serie de años de escasa precipitación. En América Central y del Sur, se ha establecido una relación entre el aumento de la temperatura y la extinción de especies de ranas

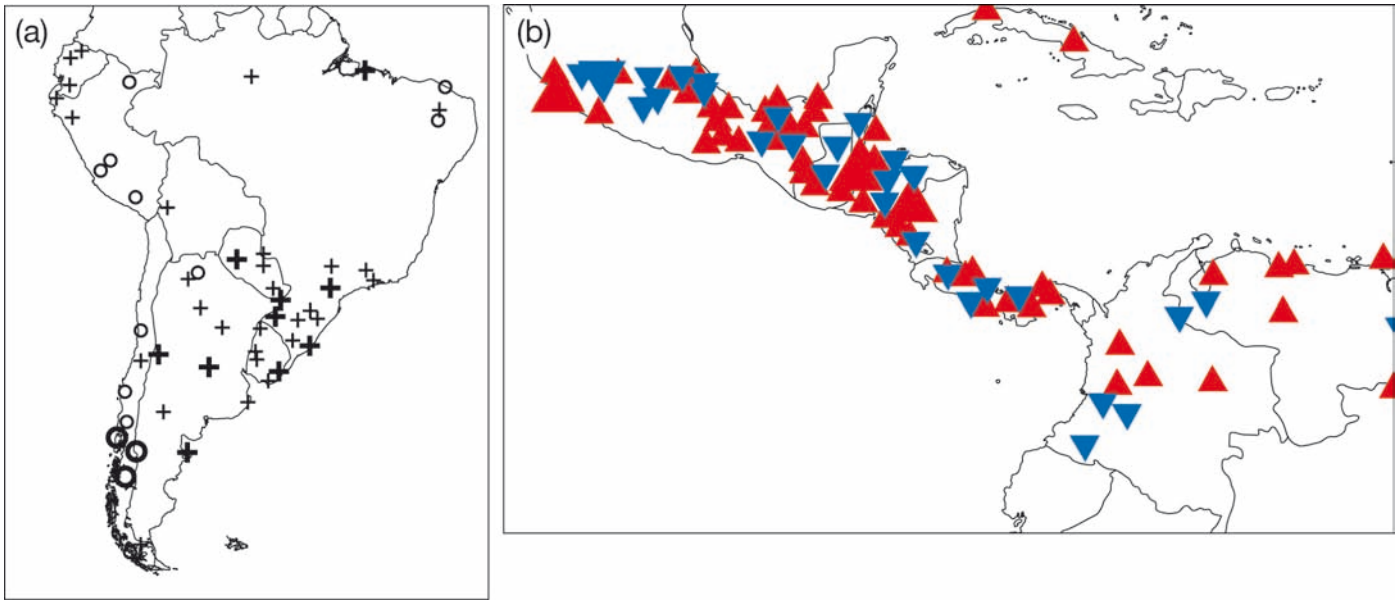


Figura 5.8: *Tendencia de la precipitación anual en (a) América del Sur (1960-2000). Los aumentos se han denotado mediante un signo +, y las disminuciones mediante un círculo; los valores en negrilla indican valores apreciables para P ≤ 0,05 (reproducción de Haylock et al. (2006), con autorización de la American Meteorological Society). (b) América Central y norte de América del Sur (1961-2003). Los triángulos grandes en rojo representan tendencias positivas significativas; los triángulos pequeños en rojo representan tendencias positivas no apreciables; los triángulos grandes en azul denotan tendencias negativas apreciables; y los triángulos pequeños en azul representan tendencias negativas no apreciables (reproducción de Aguilar et al. (2005), con autorización de la American Geophysical Union. [GTII, Figura 13.1]*

a causa de cierta enfermedad de la piel (*Batrachochytrium dendrobatidis*). Un estudio basado en datos relativos al periodo 1977-2001 revela que la cubierta de coral de los arrecifes del Caribe disminuyó en promedio un 17% a lo largo de un año tras el paso de un huracán, sin evidencia de recuperación durante, como mínimo, los ocho años siguientes al impacto. [GTII 13.2.2]

5.5.3 Cambios proyectados

5.5.3.1 Agua y clima

Con un *grado de confianza medio*, el calentamiento medio de América Latina de aquí a 2100 se situaría, con arreglo a diversos modelos climáticos, entre 1°C y 4°C para el escenario de emisiones B2, y entre 2°C y 6°C para el escenario A2. La mayoría de proyecciones mediante modelos MCG indican la existencia de anomalías (positivas o negativas) de la precipitación en la región tropical, y otras de menor magnitud en la parte extratropical de América del Sur. Además, en América Central aumentaría la frecuencia de estaciones extremadamente secas respecto de la totalidad de estaciones. Más allá de estos resultados, hay escasa concordancia entre modelos en cuanto a la variación de la frecuencia de estaciones con precipitación extrema. Con respecto a la precipitación extrema diaria, un estudio basado en dos MCGAO indica un aumento del número de días húmedos en partes del sureste de América del Sur y en la Amazonia central, y extremos menos acentuados de precipitación diaria en la costa del nordeste de Brasil. [GTI, Tabla 11.1, 11.6; GTII 13.RE, 13.3.1]

El número de habitantes de cuencas que padecen ya estrés hídrico (es decir, suministros inferiores a 1.000 m^3/habitante/año) ha sido estimado en 22,2 millones (en 1995) en ausencia de cambio climático. En base a los escenarios IE-EE, se estima que este número aumentará hasta alcanzar una cifra comprendida entre 12 y 81 millones en el decenio de 2020, y entre 79 y 178 millones en el decenio de 2050 (Arnell, 2004). En tales estimaciones no se ha tenido en cuenta el número de personas que huyen del estrés hídrico, indicado en la Tabla 5.6. Las vulnerabilidades actualmente observadas en muchas regiones de América Latina se acentuarán debido al efecto negativo conjunto de una mayor demanda de agua de consumo y riego, como consecuencia de una tasa de crecimiento demográfico más alta y de una mayor sequedad en numerosas cuencas. Por consiguiente, aun teniendo en cuenta el número de personas que padecerán un menor estrés hídrico, sigue aumentando en términos netos el número de personas que padecerán estrés hídrico [GTII 13.4.3]

5.5.3.2 Energía

Una mayor retracción de los glaciares repercutiría en la generación de energía hidroeléctrica en países como Colombia o Perú (UNMSM, 2004). Algunos glaciares tropicales pequeños han desaparecido ya, mientras que otros lo harán *probablemente* en los próximos decenios, lo cual podría repercutir en la generación de energía hidroeléctrica (Ramírez et al., 2001). [GTI 4.5.3; GTII 13.2.4]

5.5.3.3 Salud

En torno a 262 millones de personas, es decir, un 31% de la población de América Latina, viven en áreas con riesgo de

Recuadro 5.5: Cambios en los glaciares de América del Sur. [GTII, Recuadro 1.1]

Se ha observado una retracción general de los glaciares en los Andes tropicales; al igual que en otras cordilleras, los glaciares más pequeños han sido los más afectados [GTI 4.5.3]; muchos de ellos desaparecieron ya durante el siglo pasado. En cordilleras extensamente cubiertas de glaciares, como la Cordillera Blanca de Perú o la Cordillera Real de Bolivia, la superficie total de los glaciares se ha reducido en un tercio aproximadamente respecto de la ocupada durante la Pequeña Era Glacial (Figura 5.9).

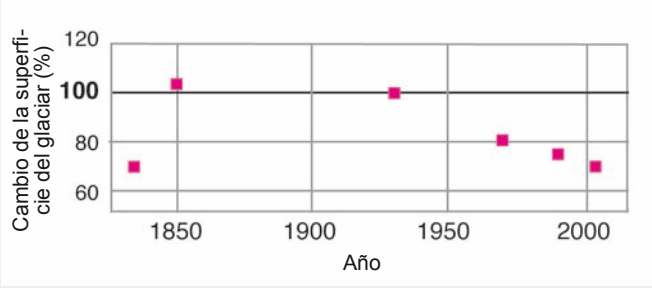


Figura 5.9: *Extensión (%) de la superficie total de los glaciares de la Cordillera Blanca tropical, en Perú, respecto de la ocupada en 1925 (=100) (Georges, 2004). En 1990, los glaciares ocupaban en la Cordillera Blanca una superficie de 620 km². [Reproducción de GTI, Figura 4.16]*

El glaciar Chacaltaya de Bolivia (16°S) es un ejemplo típico de pequeño glaciar que se está desintegrando y que probablemente desaparecerá. En 1940 ocupaba 0,22 km², reducidos actualmente (2005) a menos de 0,01 km2 (Figura 5.10) (Ramírez et al., 2001; Francou et al., 2003; Berger et al., 2005). En el período 1992-2005, el glaciar perdió un 90% de su superficie y un 97% de su volumen de hielo (Berger et al., 2005). La extrapolación lineal de estas cantidades indica que podría desaparecer por completo antes de 2010 (Coudrain et al., 2005). Aunque en los trópicos el balance másico de los glaciares es muy susceptible a los cambios de precipitación y de humedad [GTI 4.5.3], la reducción del Chacaltaya concuerda con un ascenso aproximado de 50 m/decenio de la isoterma de 0°C en los Andes tropicales desde los años 80 (Vuille et al., 2003).

En este glaciar, cuya altitud media sobre el nivel del mar es de 5.260 m, se encontraba situada hasta hace pocos años la estación de esquí más alta del mundo. La continua retracción del glaciar durante los años 90 ha hecho que desaparezca prácticamente, con lo que Bolivia ha perdido su única estación de esquí (Figura 5.10).

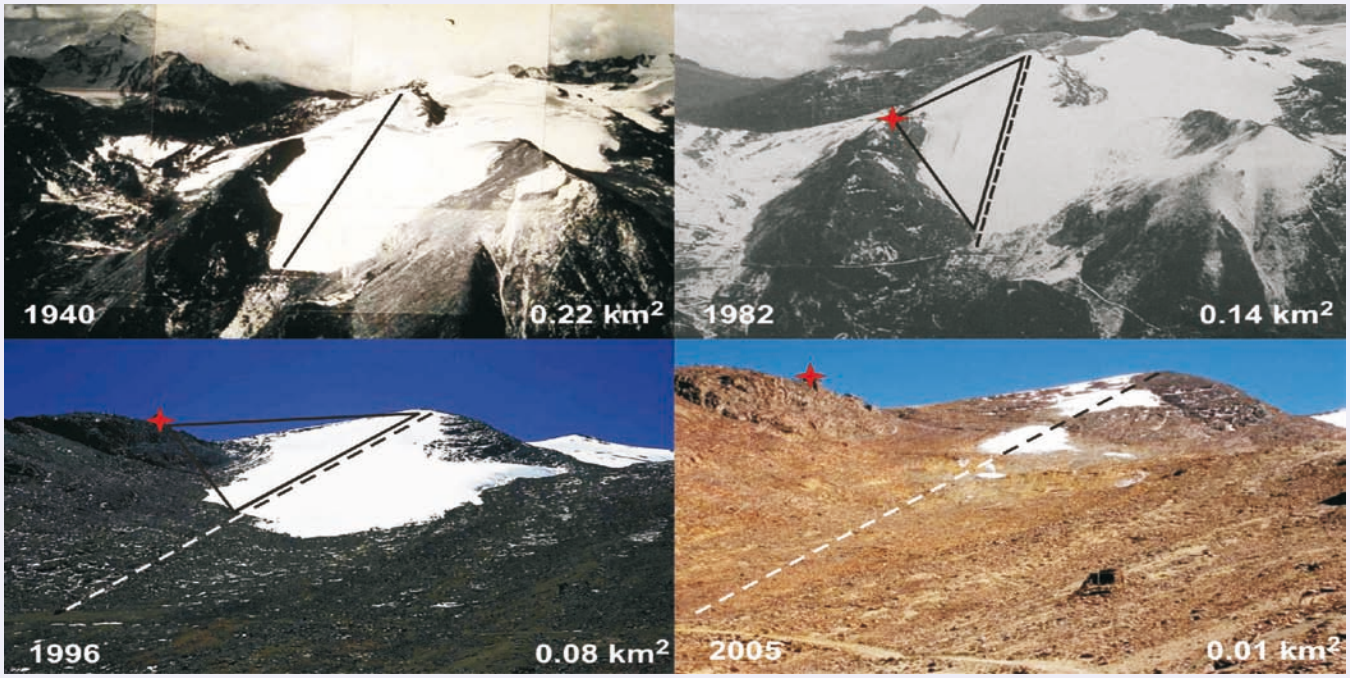


Figura 5.10: *Extensión superficial del glaciar Chacaltaya, en Bolivia, desde 1940 hasta 2005. En 2005, el glaciar se había escindido en tres pequeños cuerpos independientes. La posición del refugio de esquí, que no existía en 1940, está indicada mediante una cruz roja. El telesilla tenía una longitud de 800 m en 1940, y de 600 aproximadamente en 1996 (representada mediante una línea continua en la imagen de 1940, y mediante una línea de trazos en las demás fotos) y era instalada normalmente durante la estación de precipitación. A partir de 2004, la práctica del esquí era imposible. Autoría de las fotos: Francou and Vincent (2006), y Jordan (1991). [GTII, Figura 1.1]*

Tabla 5.6: *Aumento del número de personas (en millones) que viven en cuencas sometidas a estrés hídrico en América Latina, en base al MCG HadCM3 (Arnell, 2004). [GTII, Tabla 13.6]*

Escenario y MCG	1995	2025		2055	
		Sin cambio climático	Con cambio climático	Sin cambio climático	Con cambio climático
A1	22,2	35,7	21,0	54,0	60,0
A2	22,2	55,9	37,0–66,0	149,3	60,0–150,0
B1	22,2	35,7	22,0	54,0	74,0
B2	22,2	47,3	7,0–77,0	59,4	62,0

paludismo, (es decir, en regiones tropicales y subtropicales) (PAHO, 2003). Algunas proyecciones basadas en escenarios de emisión IE-EE y en escenarios socioeconómicos indican que se acortará la estación de transmisión palúdica en numerosas áreas en las que disminuirían las precipitaciones, como el Amazonas o América Central. Los resultados indican que el número de personas en peligro es más elevado en áreas próximas al límite austral del área de distribución de la enfermedad en América del Sur (van Lieshout et al., 2004). Nicaragua y Bolivia han predicho un aumento de la incidencia del paludismo de aquí a 2010, y han constatado variaciones estacionales (Aparicio, 2000; NC-Nicaragua, 2001). El crecimiento del paludismo y de la población amenazada podría afectar al costo de los servicios sanitarios, en particular el destinado a tratamientos y a servicios de seguridad social. [GTII 13.4.5]

Otros modelos proyectan un aumento sustancial del número de personas amenazadas de dengue, debido a la variación de los límites geográficos de la transmisión en México, Brasil, Perú y Ecuador (Hales et al., 2002). Algunos modelos indican cambios en la distribución espacial (dispersión) del vector de la *leishmaniosis* cutánea en Perú, Brasil, Paraguay, Uruguay, Argentina y Bolivia (Aparicio, 2000; Peterson and Shaw, 2003), así como en la distribución mensual del vector del dengue (Peterson et al., 2005). [GTII 13.4.5]

5.5.3.4 Agricultura

En la región de América Latina se han realizado varios estudios de cultivos comerciales mediante modelos de simulación de cultivos en condiciones de cambio climático. En base al escenario de emisiones A2 del IE-EE, el número de personas amenazadas de hambre aumentaría en un millón de aquí a 2020, se mantendría sin cambios hasta 2050, y disminuiría en 4 millones hasta 2080. [GTII, Tabla 13.5, 13.4.2]

5.5.3.5 Biodiversidad

Debido a una compleja serie de alteraciones como, por ejemplo, la modificación de la precipitación y de la escorrentía, sobrevendría una sustitución de bosques tropicales por sabanas en el área oriental de la Amazonia y en los bosques tropicales del centro y sur de México, y una sustitución de vegetación semiárida por vegetación árida en partes del nordeste del Brasil y en la mayor parte del centro y norte de México, debido a los efectos sinérgicos de los cambios de uso de la tierra y del cambio climático. De aquí al decenio de 2050, es *muy probable* que la desertificación y la salinización afecten a un 50% de las tierras de uso agrícola en algunas áreas. [GTII 13.RE, 13.4.1, 13.4.2]

5.5.4 Adaptación y vulnerabilidad

5.5.4.1 La adaptación en el pasado y en la actualidad

La ausencia de estrategias de adaptación adecuadas para hacer frente a los fenómenos peligrosos y a los riesgos de crecida y sequía en los países de América Latina se debe al bajo nivel de su producto interior bruto (PIB), al aumento de la población asentada en áreas vulnerables (propensas a inundaciones, deslizamientos de tierra y sequías), y a la falta de marcos políticos, institucionales y tecnológicos adecuados (Solanes and Jouravlev, 2006). Sin embargo, algunas comunidades y ciudades se han organizado, y participan activamente en la prevención de desastres (Fay et al., 2003b). En las áreas propensas a crecidas, se ha alentado a un gran número de habitantes de escasos recursos a trasladarse a lugares más seguros. Con la ayuda de préstamos del BIRD y del BID se han construido nuevas viviendas, como ha sucedido en los reasentamientos de la cuenca del río Paraná, en Argentina, tras la crecida de 1992 (IRDB, 2000). En algunos casos, el cambio de las condiciones medioambientales que afectan a la economía típica de la Pampa determinó la introducción de nuevas actividades productivas en forma de acuicultura, utilizando para ello especies autóctonas, como el pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) (La Nación, 2002). Otro ejemplo, relacionado en este caso con la capacidad de adaptación de los seres humanos al estrés hídrico, es el de los programas de 'autoorganización' encaminados a mejorar los servicios de distribución de agua en las comunidades de muy escasos recursos. El Grupo sobre agua y saneamientos de Business Partners for Development ha estado trabajando en cuatro planes centrados en América Latina respecto a Cartagena (Colombia), La Paz, y El Alto (Bolivia), y a algunos de los distritos menos prósperos del Gran Buenos Aires (Argentina) (The Water Page, 2001; Water 21, 2002). Un aspecto importante del desarrollo sostenible en los trópicos semiáridos son los sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia. En Brasil, concretamente, existe un proyecto conjunto de red de ONG, Articulaçao no Semiárido (ASA), denominado proyecto P1MC, que contempla la instalación de un millón de aljibes por la sociedad civil de manera descentralizada. El plan aspira a suministrar agua potable a un millón de hogares rurales en áreas de sequía pertinaz de los trópicos semiáridos de Brasil (TSAB). En su primera fase, ASA y el Ministerio de Medio Ambiente de Brasil construyeron 1.400 aljibes, y hay otros 21.000 planificados para finales de 2004 (Gnadlinger, 2003). En Argentina, en el marco del programa nacional de agua salubre para las comunidades rurales de las regiones áridas de la provincia de Santiago del Estero, se instalaron entre 2000 y 2002 diez sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia (Basán Nickisch, 2002). [GTII 13.2.5]

Recuadro 5.6: Capacidad de adaptación de las comunidades precolombinas en las tierras altas de América del Sur. [GTII, Recuadro 13.2]

La subsistencia de las civilizaciones indígenas de las Américas dependía de los recursos cultivados por aquéllas en las condiciones climáticas prevalentes en sus asentamientos. En las tierras altas de la actual América Latina, una de las limitaciones más críticas que afectan al desarrollo era, y sigue siendo, la irregular distribución del agua. Esta situación está vinculada a la peculiaridad de los procesos y fenómenos atmosféricos extremos, a la rápida escorrentía en los valles profundos, y a las condiciones cambiantes del suelo. El deshielo de los glaciares era y sigue siendo una fuente fiable de agua durante las estaciones secas. Sin embargo, las corrientes fluyen hacia los valles a lo largo de cauces de extensión limitada, y aportan agua a ciertos lugares únicamente. Dada la marcada estacionalidad de la precipitación, la escorrentía de los glaciares es la fuente de agua fiable más importante durante la estación seca. Por ello, las comunidades precolombinas emprendieron diversas iniciativas de adaptación para satisfacer sus necesidades. Hoy en día, la dificultad de conseguir un equilibrio entre la disponibilidad y la demanda de agua es prácticamente idéntica, aunque a una escala posiblemente diferente.

A pesar de sus limitaciones, desde el territorio actual de México hasta el norte de Chile y Argentina las civilizaciones precolombinas desarrollaron la tecnología necesaria para adaptarse a las condiciones medioambientales locales, basándose en sus conocimientos técnicos para resolver ciertos problemas hidráulicos y prever las variaciones climáticas y los períodos de lluvias estacionales. En términos puramente técnicos, cabe señalar la utilización de agua de lluvia captada para los cultivos, su filtrado y almacenamiento, y la construcción de canales de riego superficiales y subterráneos, con dispositivos para medir la cantidad de agua almacenada (Figura 5.11) (Treacy, 1994; Wright and Valencia Zegarra, 2000; Caran and Nelly, 2006). Además de ello, consiguieron interconectar cuencas fluviales del Pacífico y del Atlántico en el valle de Cumbe y en Cajamarca (Burger, 1992).

Figura 5.11: *Sistema de captación de agua para acueductos subterráneos y para recargar las capas freáticas en Nazca (costa del sur de Perú).*

Además, desarrollaron otras técnicas para predecir las variaciones climáticas y los períodos de lluvia estacionales, para organizar su calendario de siembra y para programar sus rendimientos (Orlove et al., 2000). Tales actividades permitieron la subsistencia de comunidades que, en el apogeo de la civilización Inca, llegaron a sumar 10 millones de personas en lo que actualmente es Perú y Ecuador.

Su capacidad tecnológica les permitió además rectificar cursos fluviales, como el del río Urubamba, así como construir puentes, colgantes en unos casos y con apoyos cimentados en el lecho fluvial en otros. Además, utilizaban agua corriente procedente de fuentes geotérmicas para fines recreativos y de culto, como puede verse actualmente en el 'Baño del Inca' y en las ruinas del jardín musical de Tampumacchay, cerca de Cuzco (Cortázar, 1968). Los sacerdotes de la cultura Chavin utilizaban agua corriente conducida por tuberías perforadas en la estructura de los templos para producir sonidos semejantes a rugidos de jaguar, que era una de sus divinidades (Burger, 1992). Utilizaban también el agua para cortar bloques de piedra destinados a la construcción. Como se puede observar en Ollantaytambo, de camino al Machu Picchu, las piedras eran cortadas en formas geométricas regulares dejando caer agua en intersticios hábilmente practicados y dejándola congelar durante la noche del altiplano, a temperaturas bajo cero. Adquirieron asimismo la capacidad de predecir variaciones climáticas, como las de El Niño (Canziani and Mata, 2004), lo que les permitió organizar a su conveniencia la producción de alimentos. En resumidas cuentas, desarrollaron técnicas originales para adaptarse a las condiciones locales adversas y para configurar vías de desarrollo sostenible.

En la época actual, habida cuenta de las variaciones caprichosas del tiempo y del clima, agravadas por el creciente efecto invernadero y por la retracción de los glaciares (Carey, 2005; Bradley et al., 2006), sería muy conveniente reexaminar y actualizar estas medidas de adaptación. La educación y formación de los miembros de las comunidades actuales en el conocimiento y habilidades técnicas de sus antepasados podría representar un gran paso adelante. Los procedimientos de la CEPAL para la gestión del desarrollo sostenible (Dourojeanni, 2000), a la hora de la gestionar las condiciones climáticas extremas des las tierras altas, remiten a las estrategias de riego precolombinas.

5.5.4.2 *Adaptación: prácticas, opciones y limitaciones*

Las políticas de gestión hídrica en América Latina han de ser oportunas, y deberían considerarse como un elemento central de los criterios de adaptación. Ello potenciaría la capacidad de la región para mejorar la gestión de su disponibilidad hídrica. En un 60% aproximadamente de la región de América Latina, la adaptación a un clima más seco requerirá cuantiosas inversiones en sistemas de distribución de agua. La gestión de los trasvases entre cuencas ha sido la solución adoptada en numerosas áreas (por ejemplo, en la cuenca del Yacambú, en Venezuela, o en la cuenca del Alto Piura y del Mantaro, en Perú). Durante los períodos de estrés hídrico se recomienda aplicar prácticas de conservación del agua, reciclarla, y optimizar su uso (COHIFE, 2003) (véase el Recuadro 5.6). [GTII 13.5]

Los problemas que afectan a los servicios de educación y sanidad pública constituyen un obstáculo primordial para la adaptación, por ejemplo ante fenómenos extremos (crecidas y sequías), principalmente en áreas rurales depauperadas (Villagrán de León et al., 2003). [GTII 13.5]

5.6 América del Norte

5.6.1 Contexto y cambio observado

El cambio climático limitará aún más los recursos hídricos de América del Norte, de por sí sobreexplotados, con el consiguiente aumento de la competencia entre los usos agrícola, municipal, industrial y ecológico (*grado de confianza muy alto*). Algunos de los principales impactos sociológicos y ecológicos previstos en esa región tienen su origen en el cambio de la hidrología superficial y subterránea. En la Tabla 5.7 se resumen los cambios observados en América del Norte durante el siglo pasado, que ponen de manifiesto la amplia diversidad de efectos del calentamiento climático sobre los recursos hídricos. [GTII 14.RE]

Durante los próximos decenios, y a medida que se acelere la rapidez del calentamiento, será posible prever, en la mayoría de las regiones de América del Norte, la variación de la distribución temporal y espacial y de la calidad del agua dulce disponible para los asentamientos humanos y para los usuarios agrícolas e industriales. Aunque algunos de los cambios anteriormente señalados respecto a los recursos hídricos son válidos para gran parte de América del Norte, las tendencias del siglo XX apuntan a un alto grado de variabilidad regional de los impactos del cambio climático sobre la escorrentía, los flujos fluviales y la recarga de las aguas subterráneas. La diversidad de niveles de riqueza y de características geográficas contribuye asimismo a una distribución desigual de los impactos, vulnerabilidades y capacidades de adaptación *probables*, tanto en Canadá como en Estados Unidos [GTII 14.RE, 14.1]

5.6.2 Cambios proyectados, y sus consecuencias

5.6.2.1 *Recursos de agua dulce*

La escorrentía anual futura en las cuencas de captación de América del Norte, calculada mediante simulaciones, varía de una región a otra y de un modelo de circulación general (MCG) y escenario de emisiones a otro. La precipitación anual media disminuiría en el suroeste de Estados Unidos, pero aumentaría en la mayor parte de resto de América del Norte de aquí a 2100. [GTI 11.5.3.2; GTII 14.3.1] El aumento de la precipitación en Canadá se situaría entre +20% respecto de la media anual y +30% respecto de la estación invernal, con arreglo al escenario A1B. Algunos estudios indican aumentos generalizados de la precipitación extrema [GTI 11.5.3.3; GTII 14.3.1], pero también sequías asociadas a una mayor variabilidad temporal de la precipitación. En general, los cambios de la precipitación extrema serían mayores que los de la precipitación media. [GTI 10.3.6.1; GTII 14.3.1]

Tabla 5.7: *Cambios observados en los recursos hídricos de América del Norte durante el siglo pasado (↑ = aumento, ↓ = disminución).*

Variación del recurso hídrico	Ejemplos del 4IE
Adelanto del flujo fluvial máximo en 1-4 semanas debido a la anticipación del deshielo ocasionada por el calentamiento	Regiones del oeste de Estados Unidos, de Nueva Inglaterra y de Canadá [GTII 1.3, 14.2]
↓ Porcentaje de precipitación en forma de nieve	Canadá occidental y praderas, oeste de Estados Unidos: [GTII 14.2, GTI 4.2]
↓ Duración y extensión de la capa de nieve	La mayor parte de América del Norte [GTI 4.2]
↑ Precipitación anual	La mayor parte de América del Norte [GTI 3.3]
↓ Equivalente de agua de nieve de las montañas	Oeste de América del Norte [GTI 4.2]
↓ Precipitación anual	Región central de las Montañas Rocosas, suroeste de Estados Unidos, praderas de Canadá, y región oriental ártica [GTII 14.2]
↑ Frecuencia de episodios de precipitación intensa	La mayor parte de Estados Unidos [GTII 14.2]
↓ Escorrentía y flujo fluvial	Cuencas fluviales de los ríos Colorado y Columbia [GTII 14.2]
Descongelación generalizada del permafrost	La mayor parte del norte de Canadá y Alaska [GTII 14.4, 15.7]
↑ Temperatura del agua de los lagos (0,1-1,5°C)	La mayor parte de América del Norte [GTII 1.3]
↑ Flujo fluvial	La mayor parte del este de Estados Unidos [GTII 14.2]
Retracción de los glaciares	Montañas occidentales de Estados Unidos, Alaska y Canadá [GTI 4.RE, 4.5]
↓ Cubierta de hielo	Grandes Lagos, golfo de San Lorenzo [GTII 4.4, 14.2]
Salinización del agua superficial de la costa	Florida, Louisiana [WGII 6.4]
↑ Períodos de sequía	Oeste de EE.UU, sur de Canadá [GTII 14.2]

Es *muy probable* que el calentamiento y las variaciones en cuanto al tipo, distribución temporal y cantidad de precipitación adelanten el deshielo y reduzcan notablemente el banco de nieve en las montañas occidentales de aquí a mediados del siglo XXI. Respecto a las cuencas fluviales en que predomina el deshielo, las proyecciones indican una anticipación de la escorrentía de deshielo, un aumento de los caudales durante el invierno y en los comienzos de la primavera (que agravará las posibilidades de inundación), y una disminución sustancial de los caudales estivales. [GTII 14.4] En consecuencia, los sistemas hídricos sobreexplotados del oeste de Estados Unidos y Canadá que dependen de la captación de la escorrentía de deshielo podrían ser particularmente vulnerables, al igual que los sistemas que dependen de la escorrentía de los glaciares. [GTII 14.2, 15.2]

Respecto a la Columbia Británica se proyectan impactos tales como un aumento de la precipitación invernal, un agravamiento de las crecidas primaverales en la costa y en el interior, o un aumento de las sequías estivales en el sur, tanto a lo largo de la costa como en el interior, que podrían reducir el caudal fluvial en esas áreas y afectar tanto a la supervivencia de los peces como al suministro de agua en verano, en que la demanda es máxima. En los Grandes Lagos, los efectos asociados a la disminución del nivel del agua agravarían *probablemente* los problemas de calidad del agua, la navegación, las actividades recreativas, la generación de energía hidroeléctrica, los transvases, y las relacionales entre países. [GTII 14.2, 14.4] Numerosos estudios de evaluación, aunque no todos, apuntan a una disminución de los suministros netos a nivel de cuenca y del nivel del agua en los Grandes Lagos y en el río San Lorenzo. [GTII 14.RE, 14.2]

Con el cambio climático, la disponibilidad de agua subterránea resultará *probablemente* afectada por tres factores clave: la *extracción* (en función del desarrollo, de la demanda y de la disponibilidad de otras fuentes), la *evotranspiración* (que aumenta con la temperatura), y la *recarga* (determinada por la temperatura, por la distribución temporal y el volumen de la precipitación, y por las interacciones del agua en la superficie). Las simulaciones indican que el caudal de base de las aguas subterráneas y el nivel de los acuíferos están en función de la temperatura, de la precipitación y del volumen extraído, disminuyendo en los escenarios más secos o en los que el volumen extraído es mayor, y aumentando en los más húmedos. En algunos casos, hay un desplazamiento de los caudales de base, que aumentarían en invierno y disminuirían en primavera y a comienzos del verano. [GTII 14.4.1] El aumento de la evotranspiración y del volumen de agua subterránea extraída en regiones semiáridas y áridas de América del Norte podría ocasionar la salinización de acuíferos poco profundos. [GTII 3.4] Además, es *probable* que el cambio climático incremente el número de casos de intrusión de agua salada en acuíferos costeros, debido al aumento del nivel del mar. [GTII 3.4.2]

5.6.2.2 Energía

Es sabido que la producción hidroeléctrica depende estrechamente de la escorrentía total, de su distribución en el tiempo y del nivel de los reservorios. Durante los años 90, por ejemplo, el nivel de los Grandes Lagos descendió por efecto de una prolongada sequía, y en 1999 la producción hidroeléctrica se redujo significativamente tanto en el Niágara como en Sault St. Marie (CCME, 2003). [GTII 4.2] Suponiendo un calentamiento de 2-3°C en la cuenca hidrográfica del río Columbia y en las áreas abastecidas por British Columbia Hydro, es *probable* que el suministro de energía hidroeléctrica aumente, incluso en las condiciones de demanda máxima invernal de agua más desfavorables (*grado de confianza alto*). Análogamente, es probable que en el río Colorado la producción de energía hidroeléctrica disminuya apreciablemente (Christensen et al., 2004), al igual que en los Grandes Lagos (Moulton and Cuthbert, 2000; Lofgren et al., 2002; Mirza, 2004). El descenso del nivel del agua en los Grandes Lagos podría ocasionar cuantiosas pérdidas económicas (437-660 millones de dólares canadienses/año), mientras que su subida generaría pequeñas ganancias (28-42 millones de dólares canadienses/año) (Buttle et al., 2004; Ouranos, 2004). Es *probable* que la producción hidroeléctrica del norte de Quebec se beneficie de un aumento de la precipitación y de unas mejores condiciones hídricas, aunque también es *probable* que las centrales hidroeléctricas del sur de Quebec resulten afectadas por el descenso de nivel del agua. Las consecuencias de un cambio en la distribución estacional de los flujos y en la distribución temporal de la formación de hielo son inciertas (Ouranos, 2004). [GTII 3.5, 14.4.8]

Los recursos solares podrían resultar afectados por los cambios futuros de la nubosidad, que incrementarían ligeramente el potencial de energía solar en América del Norte en latitudes inferiores a 60°N (según numerosos modelos y en base al escenario de emisiones A1B, para el período 2080-2099 respecto de 1980-1999). [GTI, Figura 10.10] Sin embargo, las proyecciones de Pan et al. (2004) indican lo contrario, es decir, que el aumento de la nubosidad reduciría en un 0-20% el potencial de producción fotovoltáica (utilizando los modelos HadCM2 y RegCM2[24] y en base a un escenario idealizado de aumento de CO_2). [GTII 14.4.8] El potencial de la bioenergía es sensible al clima, debido a los impactos directos sobre el crecimiento de los cultivos y sobre la disponibilidad de agua de riego. Los cultivos bioenergéticos competirían con éxito por la superficie agrícola si su precio alcanzase 33 USD/10^6 g, es decir, aproximadamente 1,83 USD/10^9 julios (Walsh et al., 2003). Si aumentasen el calentamiento y la precipitación, el cultivo bioenergético de *Panicum virgatum* podría competir eficazmente con los cultivos tradicionales en el centro de Estados Unidos (según el modelo RegCM2, basado en una duplicación de la concentración de CO_2) (Brown et al., 2000). [GTII 14.4.8]

5.6.2.3 Salud

Las enfermedades transmitidas por el agua, considerando todas las causas posibles, son claramente estacionales en América del Norte, se concentran en la cuencas de captación más importantes y están asociadas a precipitaciones intensas (en Estados Unidos: Curriero et al., 2001), o a precipitaciones extremas y

[24] Véanse en el Apéndice I las descripciones de los modelos.

temperaturas más elevadas (en Canadá: Thomas et al., 2006). Los episodios de fuerte escorrentía por efecto de precipitaciones intensas podrían contaminar el agua destinada a usos recreativos e incrementar el riesgo de enfermedades humanas (Schuster et al., 2005), debido a un aumento del contenido bacteriano. Esta asociación suele ser más acentuada en playas próximas a ríos (Dwight et al., 2002). Es *muy probable* que las enfermedades transmitidas por el agua y la degradación de la calidad de ésta aumenten con la intensidad de precipitación. Las enfermedades de origen alimentario guardan también cierta relación con la tendencia de la temperatura. En Alberta, la temperatura ambiente mantiene una estrecha relación no lineal con la aparición de enteropatógenos (Fleury et al., 2006). [GTII 14.RE, 14.2.5]

Es *probable* que aumente la actividad atmosférica en términos de ciclones tropicales intensos. [GTI RRP] Las crecidas repentinas ocasionadas por tempestades son ya un problema en las costas del Golfo de México y en la costa suratlántica de América del Norte. El número de defunciones causadas por el huracán Katrina en 2005 se estimó en 1.800 [GTII 6.4.2], algunas de ellas, al igual que numerosos casos de enfermedad diarreica, por efecto de la contaminación del suministro de agua (CDC, 2005; Manuel, 2006). [GTII 8.2.2; véase también la Sección 4.5 en lo referente a las crecidas fluviales]

5.6.2.4 Agricultura

Las investigaciones efectuadas después del Tercer Informe de Evaluación del IPCC respaldan la conclusión de que es *probable* que un cambio climático moderado mejore el rendimiento de la agricultura de regadío en América del Norte, aunque en menor medida y con mayor variabilidad espacial que en estimaciones anteriores (*grado de confianza alto*) (Reilly, 2002). Sin embargo, en muchos cultivos que se encuentran ya cerca de su umbral climático el rendimiento y/o la calidad disminuirían, incluso si el calentamiento fuese moderado (*grado de confianza medio*) (Hayhoe et al., 2004; White et al., 2006). [GTII 14.4.4]

La vulnerabilidad de la agricultura de América del Norte al cambio climático es multidimensional, y está determinada por la interacción entre las condiciones preexistentes, por las tensiones indirectas derivadas del cambio climático (por ejemplo, una distinta pauta de competición de las plagas, o un cambio en la disponibilidad de agua) y por la capacidad del sector para hacer frente a múltiples factores interrelacionados, entre ellos la competencia económica de otras regiones y la mejora de las variedades cultivadas y de la gestión agrícola (Parson et al., 2003). La disponibilidad de agua es el principal factor limitador de la agricultura en el sureste de Arizona, aunque los agricultores de esa región consideran que ciertas tecnologías y modalidades de adaptación, como el aseguramiento de los cultivos, han atenuado últimamente su vulnerabilidad (Vásquez-León et al., 2003). Las áreas con escasa dotación financiera y escasos recursos (por ejemplo, las llanuras del norte de Estados Unidos) son particularmente vulnerables al cambio climático (Antle et al., 2004). Las prácticas de uso de la tierra no sostenibles tenderán a acentuar la vulnerabilidad de la agricultura al cambio climático en las Grandes Llanuras de Estados Unidos (Polsky and Easterling, 2001). [GTII 14.4.4; véase asimismo la Sección 4.2.2] Es *probable* que los sistemas de acuífero subterráneo sobreexplotados del suroeste de Estados Unidos padezcan un estrés adicional, debido a una disminución de la recarga por efecto del cambio climático (*grado de confianza alto*), con el consiguiente impacto sobre la productividad agrícola. [GTII 14.4.1]

Es *probable* que la disminución de la cubierta de nieve y el aumento de la lluvia invernal sobre los suelos exentos prolonguen y agraven la estación erosiva, aumentando así las posibilidades de impacto sobre la calidad del agua en extensiones agrícolas. Las prácticas de gestión del suelo (por ejemplo, el aprovechamiento de los residuos de los cultivos, o el laboreo sin roturación) en la franja cerealera de América del Norte podrían no ofrecer protección suficiente frente a la erosión causada por una eventual precipitación intensa, con su consiguiente escorrentía (Hatfield and Pruger, 2004; Nearing et al., 2004). [GTII 14.4.1]

5.6.2.5 Biodiversidad

Los cambios de precipitación, de humedad del suelo, de nivel del agua superficial y de flujo fluvial proyectados para América del Norte podrían afectar a una amplia diversidad de especies y biomas en los próximos decenios.

La disminución del nivel del agua de lagos y estanques, por ejemplo, podría ocasionar fallos reproductivos en especies de anfibios y peces, y la diferente respuesta de las diversas especies podría alterar la composición de la comunidad acuática y los flujos de nutrientes. Los cambios de la distribución de precipitación y de los regímenes de sequía podrían favorecer otros tipos de perturbación en los ecosistemas, en particular incendios (Smith et al., 2000) e invasión de especies (Zavaleta and Hulvey, 2004). [GTII 14.4.2] En tierra firme, la sustitución de marismas herbáceas de agua dulce por manglares, más resistentes a la sal, como viene sucedidendo por ejemplo en la región de los Everglades, al sureste de Florida, desde los años 40, ha sido atribuida a los efectos conjuntos de la elevación del nivel del mar y de la gestión del agua, y ha ocasionado una disminución del nivel freático (Ross et al., 2000). [GTII 1.3.3.2] Los cambios de la escorrentía de agua dulce hacia la costa podrían alterar la salinidad, la turbidez y otros aspectos de la calidad del agua que determinan la productividad y distribución de las comunidades vegetal y animal. [GTII 6.4]

En latitudes altas, varios modelos han simulado un aumento de la productividad ecosistémica primaria neta en América del Norte como resultado de la expansión de los bosques hacia la tundra y de unos períodos de crecimiento más prolongados (Berthelot et al., 2002), básicamente en función de la existencia o no de un aumento de la precipitación suficiente que compense el aumento de la evapotranspiración en un clima más cálido. El crecimiento forestal parece estar acelerándose lentamente en regiones en que el crecimiento de los árboles ha estado históricamente limitado por las bajas temperaturas y por unos cortos períodos de crecimiento. El crecimiento, sin embargo, está siendo más lento en áreas que padecen sequía. El crecimiento radial de la picea glauca en las laderas meridionales secas de la

Alaska oriental ha disminuido en los últimos 90 años, debido al aumento del estrés hídrico (Barber et al., 2000). En la parte continental de Estados Unidos, experimentos mediante modelos (Bachelet et al., 2001) parecen indicar que la superficie de los ecosistemas limitados por la sequía aumentará en un 11% si la temperatura aumenta en 1°C. [GTII 14.4] En la región de humedales bacheados de las praderas de América del Norte, la sequía se agravaría si la temperatura regional aumentase en 3°C, y la precipitación variaría en distinto grado, ocasionando así grandes pérdidas de humedales y una disminución de las poblaciones de aves acuáticas que crían en ellos (Johnson et al., 2005). [GTII 4.4.10]

La sostenibilidad ecológica de los peces y la productividad de las pesquerías están estrechamente vinculadas al suministro de agua y a su temperatura. Es *probable* que las pesquerías de aguas frías resulten negativamente afectadas por el cambio climático, que las pesquerías de aguas cálidas mejoren en términos generales, y que en las pesquerías de aguas templadas los resultados sean de distinto signo, con ganancias en el norte de sus caladeros y pérdidas en la parte sur de su ámbito geográfico. Es *probable* que los salmónidos, que prefieren aguas frías y limpias, sean los que acusen los efectos más negativos (Gallagher and Wood, 2003). Es también *probable* que las pesquerías árticas de agua dulce sean las más afectadas, ya que serán las que experimenten un mayor calentamiento (Wrona et al., 2005). En el Lago Erie, la reproducción larvaria de la lucioperca americana que desova en los ríos dependerá de los cambios de temperatura y caudal, aunque es *probable* que disminuya la población de las especies que desovan en lagos, debido al aumento de temperatura y a la disminución del nivel de las aguas lacustres (Jones et al., 2006). El ámbito geográfico de las especies de aguas cálidas tenderá a desplazarse hacia el norte o hacia altitudes más elevadas (Clark et al., 2001; Mohseni et al., 2003) en respuesta a los cambios de temperatura del agua. [GTII 14.4]

5.6.2.6 Impactos del cambio climático en grandes cuencas de América del Norte: estudios específicos

En los Recuadros 5.7 y 5.8 se describen dos casos ilustrativos del impacto potencial y de los problemas de gestión que trae aparejados el cambio climático en un medio ambiente 'escaso en agua' y en otro 'abundante en agua', respectivamente, en el oeste de América del Norte: las cuencas del Colorado y del Columbia.

5.6.3 Adaptación

Pese a la gran capacidad de adaptación de América del Norte a los aspectos del cambio climático relacionados con el agua,

Recuadro 5.7: La sequía y el cambio climático en la cuenca del río Colorado.

El río Colorado satisface gran parte de las necesidades hídricas de siete de los Estados Unidos, de dos Estados mexicanos y de treinta y cuatro tribus americanas nativas (Pulwarty et al., 2005). Ello representa una población de 25 millones de habitantes que, según las proyecciones, alcanzaría los 38 millones de aquí a 2020. En los últimos 100 años, el porcentaje total de superficie afectada por sequías climáticas graves o extremas en Estados Unidos ha sido de un 14% anual en promedio, con un máximo de 65% en 1934.

La expansión de la población y de las actividades económicas hacia el oeste, y las respuestas concomitantes a los episodios de sequía, han dado lugar a adaptaciones estructurales importantes, entre ellas los cientos de depósitos, proyectos de riego e instalaciones de extracción de aguas subterráneas, desarrolladas en entornos semiáridos. Está ampliamente documentado que la asignación de las aguas del río Colorado a los Estados de la cuenca tuvo lugar durante el período más húmedo de un intervalo de 400 años (entre 1905 y 1925). Recientemente, el oeste de Estados Unidos ha padecido una sequía sostenida, el 30-40% de la región está sometida a una sequía severa desde 1999, y el río Colorado ha tenido, entre 2000 y 2004, el caudal quinquenal más bajo nunca registrado. Además, los Estados del suroeste de Estados Unidos están experimentando uno de los crecimientos más rápidos del país y generando una demanda social, económica y medioambiental de recursos hídricos, con los consiguientes conflictos legales (Pulwarty et al., 2005).

Una pequeña porción de la cuenca del río Colorado (un 15%, aproximadamente) aporta la mayor parte (85%) de su caudal. Las estimaciones muestran que, con el aumento del calentamiento climático y de la evaporación, la disminución de la escorrentía alcanzaría el 30% durante el siglo XXI (Milly et al., 2005). En esas condiciones, y teniendo en cuenta las extracciones previstas, sólo podrían satisfacerse las necesidades estipuladas en el Pacto del Río Colorado durante un 60-75% del tiempo de aquí a 2025 (Christensen et al., 2004). Ciertos estudios estiman que, de aquí a 2050, las condiciones de humedad promedias [en cursiva] en el suroeste de Estados Unidos podrían igualar a las observadas en los años 50. Tales cambios se deberían a la subida de las temperaturas (por el aumento de la sublimación y de la evaporación, y por la disminución de la humedad del suelo), aunque el nivel de precipitación permaneciera razonablemente constante). Algunos investigadores aducen que, debido al modelo escogido, esas evaluaciones podrían subestimar de hecho las disminuciones futuras.

La mayoría de los escenarios de flujo del río Colorado en Lees Ferry (que separa la cuenca superior de la inferior) indican que, dentro de 20 años, la descarga podría ser insuficiente para cubrir la demanda actual de recursos hídricos. La experiencia reciente sugiere que las condiciones son ya 'críticas' en esa cuenca (Pulwarty et al., 2005). La variabilidad y el cambio climático, sumados a una presión creciente por efecto del desarrollo, ocasionarán sequías de magnitud desconocida para las instituciones de la región, y agravarán los conflictos entre los usuarios del agua.

Recuadro 5.8: Problemas añadidos por efecto del cambio climático en la gestión de la cuenca del río Columbia. [GTII, Recuadro 14.2]

La gestión actual del agua en la cuenca hidrográfica del río Columbia consistiría en alcanzar un equilibrio entre las demandas, complejas y frecuentemente compitientes, que suscitan la energía hidroeléctrica, la navegación, el control de las crecidas, el riego, los usos municipales, y el mantenimiento de varias poblaciones de especies amenazadas o en peligro (por ejemplo, el salmón). Las necesidades actuales y proyectadas que se derivan de esos usos comprometen un suministro mayor del existente. La gestión del agua en esa cuenca se desenvuelve en un marco institucional complejo (Tratado del Río Columbia, ratificado en 1964) que afecta a dos naciones soberanas, a las poblaciones nativas con derechos definidos en virtud de tratados ('Decisión Boldt' en U.S. vs. Washington en 1974), y a varios organismos de las administraciones federal, estatal provincial y local (Miles et al., 2000; Hamlet, 2003). La polución (principalmente la que no es de origen puntual) constituye un problema importante en muchos de los afluentes. La legislación hídrica del Oeste de Estados Unidos, que otorga el derecho de uso a los usuarios originarios en la parte de la cuenca perteneciente a Estados Unidos, complica la gestión y reduce el agua disponible para los consumidores de agua más recientes (Gray, 1999; Scott et al., 2004). Estas complejidades se manifiestan también en responsabilidades jurisdiccionales diferentes según que el caudal sea alto o bajo, o según que las especies protegidas estén presentes en los afluentes, en el canal principal o en el mar (Miles et al., 2000; Mote et al., 2003).

Con el cambio climático, la proyección del caudal anual del río Columbia varía relativamente poco, pero los caudales estacionales se desplazan ostensiblemente hacia caudales invernales y primaverales más largos y caudales estivales y otoñales más cortos (Hamlet and Lettenmaier, 1999; Mote et al., 1999). Es *probable* que esos cambios de caudal coincidan con el aumento de la demanda hídrica debido principalmente al crecimiento regional, aunque también al cambio climático. En años de caudal bajo, la menor disponibilidad estival de agua agravará los conflictos ya existentes en torno al agua (Miles et al., 2000). El cambio climático afectaría también a los suministros de agua urbanos en el interior de la cuenca. Por ejemplo, en Portland, Oregón, un calentamiento proyectado de 2°C de aquí al decenio de 2040 incrementaría la demanda hídrica en 5,7 millones de m^3/año, con una demanda adicional de 20,8 millones de m^3/año debida al crecimiento de la población, disminuyendo al mismo tiempo el suministro en 4,9 millones de m^3/año (Mote et al., 2003). En la gestión del río se están utilizando cada vez más las predicciones climáticas a largo plazo, aunque de modo limitado (Hamlet et al., 2002; Lettenmaier and Hamlet, 2003; Gamble et al., 2004; Payne et al., 2004). Cada una de las 43 subcuencas del sistema cuenta con su propio plan de gestión de las pesquerías y de la fauna silvestre de la subcuenca, y en ninguno de esos planes se contempla en detalle la disminución de los caudales estivales ocasionada por el cambio climático (ISRP/ISAB, 2004).

Es *probable* que los problemas de gestión del agua en la cuenca hidrográfica del río Columbia se compliquen con el cambio climático, debido a las alteraciones del banco de nieve y de los flujos estacionales (Miles et al., 2000; Parson et al., 2001; Cohen et al., 2003). Es *probable* que la capacidad de los gestores para cumplir los objetivos de explotación (fiabilidad) disminuya radicalmente con el cambio climático, (como proyectan los MCGAO HadCM2 y ECHAM4/OPYC3 en base al escenario de emisiones IS92a del IPCC de aquí a los decenios de 2020 y 2090) (Hamlet and Lettenmaier, 1999). Las pérdidas de fiabilidad ascenderían a un 25% a finales del siglo XXI (Mote et al., 1999) e interactuarían con las normas de actuación. Por ejemplo, la otorgación de preferencia a los peces reduciría la fiabilidad del suministro de electricidad estable en un 10% para el clima actual, y en un 17% en los años de la fase cálida de la Oscilación Decenal del Pacífico (ODP). Las medidas de adaptación podrían moderar el impacto de la disminución del banco de nieve en abril, pero podrían también generar pérdidas de entre un 10 y un 20% de la energía hidroeléctrica estable, y disminuir los caudales estivales efectivos para los peces (Payne et al., 2004). La integración de la adaptación al cambio climático en los procesos de planificación regional se encuentra aún en las primeras fases de desarrollo (Cohen et al., 2006)

en la práctica no siempre se ha protegido a personas y bienes de los impactos adversos de crecidas, sequías, tempestades, y demás fenómenos meteorológicos extremos. Entre los grupos particularmente vulnerables se encuentran los pueblos indígenas y los menos favorecidos social o económicamente. En América del Norte, la tradición y las instituciones han fomentado la creación de un marco de respuesta descentralizado en el que la adaptación tiende a ser reactiva, desigualmente distribuida, y centrada en la resolución de los problemas, y no en su prevención. En la bibliografía especializada escasean los ejemplos de comportamiento adaptativo influido de manera exclusiva o predominante por las proyecciones de cambio climático y de sus efectos sobre los recursos hídricos. [GTII 14.5.2] En América del Norte, uno de los prerrequisitos fundamentales para la sostenibilidad es la 'incorporación' de las cuestiones climáticas al proceso de toma de decisiones. [GTII 14.7]

La vulnerabilidad de América del Norte depende de cuán eficaz sea su adaptación y de cómo se distribuya la capacidad para hacer frente a los problemas; en la actualidad, ambos aspectos son desiguales, y no siempre han protegido a los grupos vulnerables de los efectos adversos de la variabilidad climática y de los fenómenos meteorológicos extremos. [GTII 14.7] Estados Unidos y Canadá son economías desarrolladas con amplia infraestructura e instituciones maduras, y con una diversidad regional y socioeconómica importante (NAST, 2000; Lemmen and Warren, 2004). Estas capacidades han permitido crear estrategias de adaptación y de resolución en condiciones históricas muy diversas, con resultados buenos y malos. La mayoría de los estudios sobre estrategias adaptativas sopesan la posibilidad de aplicarlas en base a experiencias anteriores (Paavola and Addger, 2002). [GTII 14.5]

La agricultura de América del Norte ha estado expuesta a numerosos episodios climáticos intensos durante el último decenio. La mayor variabilidad del estado del tiempo, acoplada a la emigración procedente de áreas rurales y a las tensiones económicas, han acentuado la vulnerabilidad del sector agrícola en su conjunto, planteando dudas sobre su capacidad para hacer frente a un clima más variable en un futuro (Senado de Canadá, 2003; Wheaton et al., 2005). La agricultura de América del Norte es, sin embargo, dinámica. La adaptación a diversos factores de estrés y oportunidades, y particularmente a los cambios experimentados por los mercados y el clima, es un proceso normal en ese sector. Para atenuar los riesgos vinculados al clima, se practica la diversificación de productos y empresas, y la conservación del suelo y del agua (Wall and Smit, 2005). [GTII 14.2.4]

En numerosas ciudades de América del Norte se han emprendido actuaciones 'sin perjuicios' en base a la experiencia histórica (MWD, 2005). [GTII, Recuadro 14.3] Además, en Canadá y Estados Unidos las empresas están invirtiendo en medidas para adaptarse al cambio experimentado por los recursos hídricos, aunque pocas de ellas parecen estar basadas en proyecciones del cambio climático futuro. [GTII 14.5.1] Como ejemplo de este tipo de adaptaciones cabe señalar las siguientes.

- Las compañías de seguros están invirtiendo en investigación para evitar los daños que los fenómenos peligrosos pudieran causar en los bienes asegurados, y para ajustar las modalidades de tarificación (Munich Re, 2004; Mills and Lecompte, 2006). [GTII 14.2.4]
- Los operadores de estaciones de esquí están invirtiendo en telesillas que alcancen mayor altura y en equipos que compensen la disminución de la cubierta de nieve (Elsasser et al., 2003; Census Bureau, 2004; Scott, 2005; Jones and Scott, 2006; Scott and Jones, 2006). [GTII 14.2.4]
- En New York, el consumo total de agua se ha reducido en un 27%, y el consumo por habitante en un 34%, desde principios de los años 80 (New York City, 2005). [GTII 14.2.4]
- En el área de los Ángeles se fomenta la conservación del agua mediante programas de incentivos e información destinados a los servicios locales de abastecimiento hídrico (MWD, 2005). [GTII Recuadro 14.3]
- Al disponer de información más detallada sobre el estado del tiempo, los agricultores están ajustando la selección de cultivos y variedades, las estrategias de riego y las aplicaciones de plaguicida (Smit and Wall, 2003). [GTII 14.2.4]
- La ciudad de Peterborough, Canadá, ha padecido en tres años dos crecidas cuya magnitud era previsible una vez cada 100 años; en respuesta, se desobturaron los sistemas de drenaje y se sustitutuyeron los colectores de desecho principales para resistir crecidas más extremas previsibles en períodos de cinco años (Hunt, 2005). [GTII 14.5.1]
- Las recientes sequías padecidas en seis grandes ciudades de Estados Unidos, entre ellas Nueva York y Los Ángeles, han inducido a adoptar medidas de adaptación que conllevan inversiones en sistemas de conservación de agua y en nuevas instalaciones de suministro y distribución (Changnon and Changnon 2000). [GTII 14.5.1]
- En respuesta a un aumento de un 15% de la precipitación intensa, Burlington y Ottawa (Ontario) han adoptado medidas tanto estructurales como no estructurales, entre ellas la prolongación de las bajantes de los tejados hacia los jardines con objeto de facilitar la infiltración, y el aumento de la depresión y del almacenamiento de retención de las calles (Waters et al., 2003). [GTII 14.5.1]
- En Los Ángeles, el aumento de la población desde 1970, superior a un 35% (casi un millón de personas), ha incrementado el uso de agua en sólo un 7% (California Regional Assessment Group, 2002), debido en gran parte a las prácticas de conservación. [GTII, Recuadro 14.3]
- El Distrito Regional de Central Okanagan, en la Columbia Británica, elaboró en 2004 un plan para la gestión hídrica de un área de planificación conocida como Trepanier Landscape Unit; en él se contemplan explícitamente escenarios climáticos, cambios proyectados del suministro y demanda de agua, y opciones de adaptación (Cohen et al., 2004; Summit Environmental Consultants, 2004). [GTII, Recuadro 3.1, 20.8.2]

5.7 Regiones polares

5.7.1 Contexto

Las regiones polares son las áreas del mundo que experimentarían algunos de los primeros y más profundos cambios de origen climático, debido en gran parte a la magnitud de sus componentes criosféricos, que predominan también en sus procesos hidrológicos y en sus recursos hídricos. De todas la regiones polares, el Ártico suscita la máxima inquietud acerca de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. Respecto a la Antártida, el interés ha estado más centrado en el balance másico de los principales mantos de hielo y en su influencia sobre el nivel del mar y, en menor grado, en los cambios inducidos en determinados sistemas acuáticos. El Ártico contiene una enorme diversidad de recursos hídricos, y en particular muchos de los ríos más grandes del mundo (Lena, Ob, Mackenzie y Yenisey), grandes deltas (Lena y Mackenzie), grandes lagos (por ejemplo, el Great Bear), extensos glaciares y casquetes de hielo, y extensiones de humedal. Debido a su población, relativamente escasa (4 millones: Bogoyavlenskiy and Siggner, 2004), y a su riguroso clima, las industrias que dependen de los recursos hídricos, como la agricultura o la silvicultura, son de pequeña escala, mientras que las pesquerías comerciales y de subsistencia son numerosas. Aunque sigue habiendo una abundante población nómada en algunos países del Ártico, las poblaciones se concentran cada vez más en grandes comunidades (dos tercios de la población viven actualmente en asentamientos de más de 5.000 habitantes), aunque la mayor parte de ellas están situadas cerca de grandes vías de transporte fluviales o marítimas, o dependen de ellas. El traslado a comunidades más grandes ha tenido como consecuencia, por ejemplo, un mayor acceso a suministros de agua tratada y a modernos sistemas de evacuación de aguas de desecho (Hild and Stordhal, 2004). [GTI 10.6.4, GTII 15.2.1]

Una parte importante de los recursos hídricos del Ártico proviene de las cuencas de cabecera de los grandes ríos que atraviesan las regiones septentrionales y desembocan en el Océano Ártico. El flujo de estos ríos ha experimentado un notable desarrollo hidroeléctrico, y sigue representando una parte del mayor potencial hidroeléctrico del mundo aún no explotado. (véase, por ejemplo, Shiklomanov et al., 2000; Prowse et al., 2004). Habida cuenta del papel que desempeñan estos ríos en el transporte de calor, sedimentos, nutrientes, contaminantes y biota hacia regiones septentrionales, los cambios inducidos por el clima en latitudes más bajas ejercen una gran influencia sobre el Ártico. Además, se ha percibido la gran importancia de los cambios de caudal de las cuencas árticas en su conjunto respecto al presupuesto de agua dulce del Océano Ártico, a la producción de hielo marino y, en último extremo, a sus efectos potenciales sobre la circulación termohalina y el clima mundial. [GTI 10.3.4; GTII 15.4.1]

5.7.2 Cambios observados

El cambio más importante observado en los recursos hídricos del Ártico ha sido el aumento total experimentado por el caudal de los seis mayores ríos de Eurasia desde los años 30 (un 7% aproximadamente: Peterson et al., 2002). Se ha detectado también que durante el siglo XX aumentó la escorrentía proveniente de glaciares circumpolares, casquetes de hielo y manto de hielo de Groenlandia hacia el Océano Ártico, que era comparable al aumento total del caudal afluente de los grandes ríos panárticos (Dyurgerov and Carter, 2004). El cambio respecto al balance másico del hielo está vinculado a una compleja respuesta a los cambios de precipitación y temperatura, que se traduce en tendencias regionales opuestas, como las detectadas entre las márgenes y algunas partes interiores de la cubierta de hielo de Groenlandia (Abdalati and Steffen, 2001; Johannessen et al., 2005; Walsh et al., 2005). Con respecto al aumento del caudal fluvial en Eurasia, se ha descartado el efecto causativo de posibles factores de control, como la descongelación del permafrost, los efectos de los incendios forestales o la variación del volumen almacenado en pantanos (McClelland et al., 2004), aunque cierto estudio de modelización indica que hay factores de forzamiento climático antropógeno que han desempeñado un papel al respecto. La evaluación de los efectos del clima y de otros factores en el río Mackenzie, el mayor río de América del Norte que desemboca en el Ártico, ha sido particularmente difícil, debido al fuerte efecto de amortiguación ejercido por los procesos naturales de almacenamiento y liberación en los principales lagos y reservorios (véase, por ejemplo, Gibson et al., 2006; Peters et al., 2006). [GTI 9.5.4; GTII 15.4.1.1]

Los efectos de la precipitación sobre la escorrentía son difíciles de determinar, debido principalmente a las deficiencias y a la escasa densidad de la red pluviométrica ártica, pero se cree que han aumentado lentamente en torno a un 1% por decenio (McBean et al., 2005; Walsh et al., 2005). Se han observado cambios en la magnitud de la descarga invernal sobre los principales ríos del Ártico, cambios que han sido vinculados al aumento de la temperatura y de la precipitación invernal en el caso del río Lena (Yang et al., 2002; Berezovskaya et al., 2005); en los ríos Ob y Yenisei, en que los cambios eran vinculados anteriormente al clima, se atribuyen ahora simplemente a la normativa hidroeléctrica, (Yang et al., 2004a, b). Han cambiado también las fechas del deshielo primaveral, que origina la mayor parte del caudal en los ríos árticos, aunque los cambios no han sido espacialmente coherentes durante los últimos 60 años, ya que algunos ríos siberianos adyacentes tienden a adelantarse (Lena: Yang et al., 2002) y otros a retrasarse (Yenisei: Yang et al., 2004b). En los cursos de agua dulce, el hielo flotante controla también la dinámica estacional de ríos y lagos árticos, y particularmente los regímenes de crecida, y aunque no se han conocido cambios en la frecuencia o magnitud de la crecidas inducidas por el hielo, la duración de la cubierta de hielo se ha reducido en gran parte del Subártico (Walsh et al., 2005). [GTII 15.2.1, 15.4.1.1]

Durante el último medio siglo, el permafrost del Ártico ha experimentado cambios notables (Walsh et al., 2005) y, dado que el terreno congelado interviene en el control de los trayectos de flujo, la descongelación del permafrost podría estar influyendo en la respuesta precipitación-escorrentía estacional (Serreze et al., 2003; Berezovskaya et al., 2005; Zhang et al., 2005). Se considera que la descongelación de permafrost y el consiguiente aumento de la permeabilidad del sustrato han sido los principales causantes de los cambios respecto a la abundancia de lagos en ciertas regiones de Siberia durante los tres últimos decenios del siglo XX (Smith et al., 2005; véase la Figura 5.12). En latitudes más altas, se considera que la descongelación inicial ha hecho aumentar el número de lagos, humedales y charcas superficiales, mientras que en latitudes inferiores el número de lagos ha disminuido, ya que una mayor extensión y profundidad de la descongelación ha permitido el drenaje de agua estancada hacia los sistemas subsuperficiales. En áreas más extensas del Ártico, se ha evidenciado que la composición biológica de las comunidades acuáticas en lagos y charcas responde a la desviación de las temperaturas medias anuales y estivales del aire y a las consiguientes variaciones de la estratificación/estabilidad térmica y de la duración de la cubierta de hielo (Korhola et al., 2002; Ruhland et al., 2003; Pienitz et al., 2004; Smol et al., 2005; Prowse et al., 2006). [GTI, Capítulo 4; GTII 15.4.1.1]

Se ha puesto de manifiesto también que los ecosistemas acuáticos de agua dulce de la región antártica son extremadamente sensibles a las variaciones climáticas, particularmente a la temperatura del aire, aunque en el conjunto del continente las tendencias son dispares. Se ha observado, por ejemplo, que la productividad de los lagos en los Valles Secos ha disminuido con la temperatura del aire (véase, por ejemplo, Doran et al., 2002). En cambio, el aumento de la temperatura del aire en la isla de Signy, en la región subantártica marítima, ha producido algunas de las respuestas más rápidas y amplificadas de la temperatura lacustre documentadas hasta la fecha en el Hemisferio Austral (Quayle et al., 2002). Además, los efectos del calentamiento sobre la cubierta de nieve y hielo han ocasionado perturbaciones muy diversas en los ecosistemas (Quayle et al., 2003). [GTII 15.2.2.2]

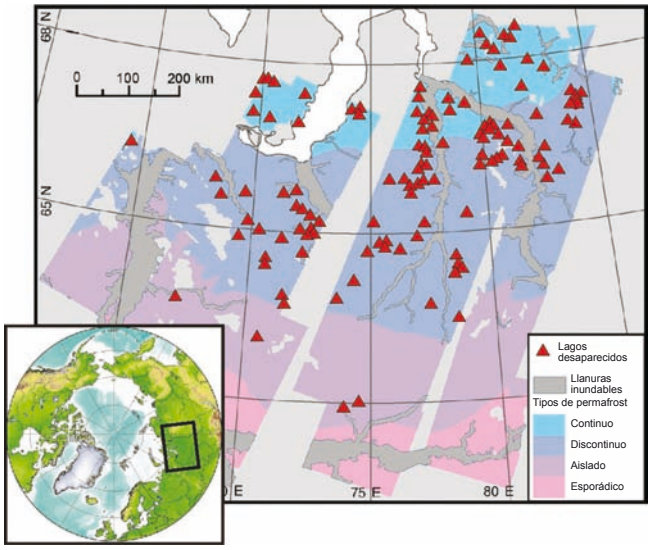


Figura 5.12: *Emplazamiento de los lagos siberianos desaparecidos tras un período de treinta años de aumento de la temperatura del suelo y del aire (cambios registrados a partir de imágenes satelitales tomadas desde los primeros años 70 hasta 1997-2004), superpuesto sobre varios tipos de permafrost. La distribución espacial de los lagos desaparecidos parece indicar que la descongelación del permafrost ha sido la causante de las pérdidas observadas. Smith et al. (2005). Reproducido con autorización de AAAS [GTII ,Figura 15.4]*

5.7.3 Cambios proyectados

Obtener proyecciones de cambios respecto a la hidrología del Ártico y, por consiguiente, de sus recursos hídricos es dificultoso, debido a que la estacionalidad y las pautas espaciales de la precipitación varían mucho de un MCG a otro. Aunque la mayoría de esos modelos predicen un aumento, la predicción de la escorrentía en base a los aportes de precipitación está desvirtuada por ciertos problemas relacionados con la distribución de la lluvia y de la nieve a medida que se calienta la región, y a medida que aparecen fuentes de humedad adicionales vinculadas a la retracción del hielo marino. En general, sin embargo, las más recientes proyecciones de la escorrentía en las principales cuencas árticas indican un aumento general de entre 10 y 30%. Sin embargo, un factor no tenido en cuenta en esas proyecciones ha sido el aumento de la evapotranspiración que ocasionará el desplazamiento de la vegetación terrestre predominante, que sustituirá líquenes de tundra no transpirantes por diversas especies leñosas (véase, por ejemplo, Callaghan et al., 2005), aunque el aumento podría quedar compensado por la disminución de la transpiración inducida por el CO_2 (véase, por ejemplo, Gedney et al., 2006). En las proyecciones de escorrentía actuales no se han tenido en cuenta tampoco los efectos del futuro deshielo del permafrost ni el aumento de espesor de las capas activas (Anisimov and Belolutskaia, 2004; Instanes et al., 2005), que interconectarán cada vez más los regímenes de flujo superficial y subterráneo, desencadenando con ello grandes cambios en la hidrografía estacional. La consiguiente humectación o desecación de la tundra, acoplada al aumento de temperatura y espesor de la capa activa, determinará su cualidad de fuente o sumidero respecto a los flujos de carbono y de metano. Asimismo, el deshielo de permafrost y el aumento de la descarga ocasionarían un aumento de la carga de sedimento fluvial (Syvitski, 2002) y transformaciones potencialmente importantes de las redes de canales (Bogaart and van Balen, 2000; Vandenberghe, 2002). [GTI, Capítulo 10; GTII 15.4.2.3, 15.4.1.2]

La escorrentía en ambas regiones polares aumentará, debido a las pérdidas de los glaciares, casquetes y mantos de hielo en Groenlandia y en la región antártica, aunque algunos casquetes y mantos de hielo viertan la mayor parte del agua de deshielo directamente a los mares circundantes. Más importantes para los recursos hídricos terrestres son los diversos glaciares dispersos por toda la extensión del Ártico, que se retraerían considerablemente con el transcurso del tiempo. A pesar del aumento inicial del caudal fluvial, la desaparición gradual de los glaciares, o un nuevo balance de glaciares de menor superficie, se traducirá finalmente en condiciones de menor caudal, singularmente durante los períodos más secos del final del verano, particularmente críticos para la biota acuática del Ártico. [GTI, Capítulo 10; GTII 15.4.1.3]

El calentamiento implicaría también una continuación de la reciente tendencia a una mayor tardanza en las fechas de congelación de ríos y lagos, y a un adelanto en las fechas de ruptura de sus hielos (Walsh et al., 2005), así como una disminución del espesor del hielo, que ocasionará cambios en las estructuras térmicas lacustres y en la calidad/cantidad del hábitat situado bajo el hielo, y que tendrá efectos sobre la obstrucción de los ríos por el hielo, con las consiguientes crecidas (Beltaos et al., 2006; Prowse et al., 2006). Esto último es importante, debido al peligro que entraña para gran número de asentamientos septentrionales situados junto a los ríos, pero también es crucial para el sostenimiento de la salud ecológica de los ecosistemas ribereños que dependen de las inundaciones primaverales de agua, sedimentos y nutrientes (Prowse et al., 2006). [GTII 15.4.1.2, 15.6.2]

Estas importantes alteraciones hidrológicas de la región fría del Ártico inducirán cambios en la biodiversidad acuática, en la productividad, en la disponibilidad de hábitats estacionales y en la distribución geográfica de especies, particularmente de las principales poblaciones de las pesquerías (Prowse et al.; Reis et al., 2006a, b, c; Wrona et al., 2006). Las poblaciones árticas, con economías de subsistencia y de índole comercial, obtienen buen número de servicios de los ecosistemas de agua dulce (por ejemplo, de la biota cosechable), y los cambios respecto a la abundancia, recarga, disponibilidad y accesibilidad de esos recursos afectarán al uso de los recursos locales y a los modos de vida tradicionales (Nuttall et al., 2005; Reist et al., 2006a). [GTII 15.4.1.3]

Dado que, según las proyecciones, el Ártico devendría en general 'más húmedo', habrá varios procesos hidrológicos que afectarán a las vías y al aumento de la carga de poluyentes (por ejemplo, poluyentes orgánicos persistentes, o mercurio) en los

sistemas acuáticos árticos (MacDonald et al., 2003). Los cambios de la estructura trófica acuática y de las tramas alimentarias (Wrona et al., 2006) podrían alterar además los procesos de acumulación de sustancias químicas bioamplificadoras. Ello plantea problemas de salud particularmente delicados para los residentes del norte, que dependen de fuentes de alimento local tradicionales. Los cambios en la distribución estacional y magnitud de los caudales y en la disponibilidad de agua superficial afectarán también a muchas comunidades del norte que dependen de las aguas superficiales y/o subterráneas, a menudo no tratadas, para su uso como agua potable (United States Environmental Protection Agency, 1997; Martin et al., 2005). El riesgo de contaminación podría aumentar también con la migración hacia el norte de las especies animales y de las consiguientes enfermedades, y mediante la contaminación del agua del mar o de las reservas de agua subterránea ocasionada por la elevación del nivel del mar en las comunidades costeras (Warren et al., 2005). [GTII 15.4.1]

La gran magnitud del desarrollo y de las infraestructuras que tienden a concentrarse en las inmediaciones de los sistemas de agua dulce del Ártico se verá profundamente afectada por la variación de los regímenes hidrológicos septentrionales. Como ejemplos importantes cabe señalar un menor uso de las carreteras de hielo por los equipos de transporte y para acceder a las comunidades del norte; una alteración de la disponibilidad de agua superficial y subterránea para las comunidades y para la industria; una menor seguridad de confinamiento de los desechos mineros en los lagos septentrionales situados sobre permafrost, y un aumento del caudal y de los peligros relacionados con el hielo para las plataformas de perforación situadas en el agua y para los reservorios destinados a la generación hidroeléctrica (World Commission on Dams, 2000, Prowse et al., 2004; Instanes et al., 2005). Aunque no se ha evaluado la producción futura de electricidad en el conjunto de la región ártica, se ha estimado, en base a un escenario de emisiones IS92a, que el potencial hidroeléctrico de las centrales existentes a finales del siglo XX aumentará en un 15-30% en Escandinavia y en el norte de Rusia. [GTI 3.5.1; GTII 15.4.1.4]

5.7.4 Adaptación y vulnerabilidad

En conjunto, una gran parte de la vulnerabilidad de los recursos árticos de agua dulce al cambio climático se debe a las variaciones bruscas vinculadas a las transiciones de fase sólida a líquida que experimentarán numerosos sistemas hidrológicos criosféricos. Históricamente, los ecosistemas árticos de agua dulce han podido adaptarse a variaciones climáticas de gran magnitud, aunque en períodos muy prolongados (véase, por ejemplo, Ruhland et al., 2003). En el siglo próximo, sin embargo, el rápido ritmo de crecimiento desbordaría la capacidad de adaptación de ciertas biotas (Wrona et al., 2006), produciendo más efectos negativos que positivos sobre los ecosistemas de agua dulce (Wrona et al., 2005). [GTII 15.2.2.2]

Desde la perspectiva de los usos humanos, las medidas de adaptación podrían ser muy diversas, siendo posibles tanto las que facilitan el uso de los recursos hídricos (por ejemplo, nuevos métodos de construcción de carreteras sobre el hielo, aumento del transporte por aguas abiertas, regulación de caudales para la producción de energía hidroeléctrica, estrategias de captación de agua, métodos de acceso a agua potable) como las estrategias de adaptación para hacer frente a los peligros que conllevaría el aumento o disminución del agua dulce (por ejemplo, construcción de estructuras de protección para aminorar el riesgo de crecidas o incrementar el flujo para los sistemas acuáticos; Prowse and Beltaos, 2002). Sin embargo, el fuerte apego cultural y/o social a los usos tradicionales de los recursos hídricos en algunas poblaciones del norte podría complicar la adopción de ciertas estrategias de adaptación (McBean et al., 2005; Nuttall et al., 2005). [GTII 15.2.2.2]

5.8 Islas pequeñas

5.8.1 Contexto

Como se indicaba en el TIE (Capítulo 17; IPCC, 2001b), muchos pequeños estados insulares comparten gran número de similitudes (por ejemplo, el tamaño físico, la propensión a los desastres naturales y a los extremos climáticos, una gran apertura de sus economías, y una escasa diversificación del riesgo y de la capacidad de adaptación) que acentúan su vulnerabilidad y debilitan su resistencia a la variabilidad y al cambio climático. A pesar de las diferencias en cuanto a los aspectos considerados importantes y a las prioridades sectoriales de las diversas islas, se perfilan tres temas comunes.

1. Todas las comunicaciones nacionales[25] de los pequeños Estados insulares recalcan la urgencia de las acciones de adaptación y la obtención de recursos financieros que las apoyen.

2 En todos los pequeños Estados insulares el agua dulce se considera una cuestión de vital importancia, tanto en términos de calidad como de cantidad.

3 En muchos pequeños Estados insulares, particularmente los que están en desarrollo, se contempla la necesidad de incrementar la planificación integrada de las cuencas hidrográficas y su gestión

[GTII TIE, Capítulo 17]

El agua es un recurso multisectorial que vincula todos los aspectos de la vida y de la subsistencia, entre ellos la seguridad. En muchas islas, la fiabilidad del suministro de agua está considerada hoy en día como un problema acuciante que se agravará en el futuro. Hay una clara evidencia de que, en la mayor parte de los escenarios de cambio climático, los recursos hídricos de las islas pequeñas se verán *probablemente* muy amenazados (*grado de confianza muy alto*). La mayoría de las islas pequeñas tienen suministros de agua

[25] En virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), los países han de presentar comunicaciones nacionales periódicas sobre sus progresos para reducir las emisiones de GEI, las políticas y medidas promulgadas, y la evaluación de sus necesidades.

limitados, y sus recursos hídricos son especialmente vulnerables a los cambios futuros y a la distribución de la precipitación de lluvia. Las diversas medidas adaptativas consideradas, así como las prioridades asignadas, están estrechamente vinculadas a los sectores económicos clave de cada país, a sus principales problemas medioambientales, y a las áreas más expuestas a los efectos del cambio climático, como la elevación del nivel del mar. [GTII 16.RE, 16.5.2]

5.8.2 Tendencias climáticas observadas y proyecciones respecto a las regiones insulares

Las condiciones hidrológicas y el suministro y uso de agua en las islas pequeñas plantean problemas de investigación y adaptación muy distintos de los continentales. Tales problemas deben ser investigados y modelizados para muy diversos tipos de islas, teniendo en cuenta diversos tipos de geología, de topografía y de cubierta terrestre, y en base a las más recientes previsiones y escenarios de cambio climático. [GTII 16.7.1] Nuevas observaciones y reanálisis de temperatura posteriores al TIE, promediados sobre superficies terrestres y marítimas, exhiben tendencias de calentamiento coherentes entre 1901 y 2004 en todas las regiones con pequeñas islas. Sin embargo, estas tendencias no son lineales, y la falta de registros históricos entraña un grave obstáculo para su análisis [GTII 16.2.2.2]

Estudios recientes evidencian que las temperaturas estacionales de la superficie del mar y del aire sobre las islas se han incrementado en 0,6-1,0°C desde 1910 en gran parte del Pacífico Sur, al suroeste de la denominada Zona de Convergencia del Pacífico Sur (ZCPS)[26], mientras que al nordeste de esa zona sólo se han evidenciado claramente aumentos decenales de la temperatura anual de 0,3-0,5°C desde los años 70, tras el ligero enfriamiento de los años 40, en que dieron comienzo los registros (Salinger, 2001; Folland et al., 2003). Para las regiones del Caribe, del Océano Índico y del Mediterráneo, los análisis indican que en el período 1971-2004 el calentamiento se situó entre 0,24°C y 0,5°C por decenio. Algunas regiones de latitud elevada, entre ellas el archipiélago ártico del oeste de Canadá, han experimentado un ritmo de calentamiento más rápido que la media mundial (McBean et al., 2005). [GTII 16.2.2.2]

Las tendencias de los valores diarios extremos de temperatura y precipitación en el Pacífico Sur durante el período 1961-2003 apuntan a un aumento del número anual de días cálidos y noches templadas, y a una disminución del número anual de días frescos y de noches frías, particularmente en los años posteriores a la aparición de El Niño, con unas tendencias de precipitación extrema en general menos coherentes, en términos espaciales, que las de temperatura extrema (Manton et al., 2001; Griffiths et al., 2003). En el Caribe, el porcentaje de días con valores mínimos o máximos de temperatura muy cálidos ha aumentado considerablemente desde los años 50, mientras que el porcentaje de días con temperaturas frías ha disminuido. [Peterson et al., 2002] [WGII 16.2.2.2]

La región del Caribe resultaría afectada por un aumento de la temperatura mundial del aire de 1,5-2°C, debido a [GTII TIE, Capítulo 17]:

- aumento de las pérdidas por evaporación,
- disminución de la precipitación (continuación de la tendencia decreciente de la precipitación observada en ciertas partes de la región),
- una menor duración de la estación de lluvias, que se acortaría en un 7-8% de aquí a 2050,
- una mayor duración de la estación seca, que se prolongaría en un 6-8% de aquí a 2050,
- un aumento de la frecuencia de lluvia intensa, que aumentaría en un 20% de aquí a 2050,
- un aumento de la erosión y de la contaminación de las áreas costeras

En numerosas regiones con islas pequeñas, las variaciones en cuanto a ciclones, huracanes y tifones tropicales y extratropicales están influidas predominantemente por ENOA y por la variabilidad decenal. Ello ocasiona una redistribución de las tempestades tropicales y de sus trayectorias de tal modo que los aumentos experimentados en una cuenca quedan frecuentemente compensados por las disminuciones en otras. Así, por ejemplo, durante un episodio de El Niño la incidencia de huracanes en el Atlántico y en las regiones del extremo occidental del Pacífico y de Australasia suele disminuir, aumentando en cambio en el centro, norte y sur del Pacífico, y especialmente en la región de tifones del Pacífico noroccidental. Diversas observaciones evidencian un aumento de la actividad ciclónica tropical intensa en el Atlántico Norte desde 1970 aproximadamente, correlacionada con aumentos de la temperatura de superficie en los mares tropicales. Podría aumentar también la actividad ciclónica tropical intensa en otras regiones más sensibles a la calidad de los datos. La variabilidad multidecenal y la calidad de los registros anteriores a 1970 complican aún más la detección de tendencias a largo plazo. La estimación de la capacidad destructiva de los ciclones tropicales parece indicar una clara tendencia ascendente desde mediados de los años 70 [GTI RT, 3.8.3; GTII 16.2.2.2]

Análisis de registros del nivel del mar con un mínimo de 25 años de datos horarios en estaciones instaladas en torno a la cuenca del Pacífico contemplan una elevación media relativa del nivel del mar de 0,7 mm/año en promedio (Mitchell et al., 2001). Considerando solamente las estaciones insulares con más de 50 años de datos (sólo hay cuatro), la tasa promedia de elevación del nivel del mar (respecto de la corteza terrestre) es de 1,6 mm/año [GTI 5.5.2]

5.8.2.1 Agua

En la Tabla 5.8 pueden compararse, por regiones, las proyecciones de cambio de la precipitación en islas pequeñas, obtenidas mediante siete MCG y en base a diversos escenarios de emisiones IE-EE. En el Caribe, gran número de islas padecerían un aumento del estrés hídrico por efecto del cambio climático;

[26] La ZCPS forma parte de la ZCIT, y es una banda de convergencia de bajo nivel, nubosidad y precipitación que se extiende desde la masa de agua cálida del Pacífico Occidental hacia la Polinesia Francesa en el sudeste.

todos los escenarios IE-EE proyectan una disminución de la precipitación estival en el conjunto de la región. Es poco probable que pueda satisfacerse la demanda durante los períodos de baja precipitación. Es también poco probable que este efecto pueda compensarse con el aumento de la precipitación invernal en el Hemisferio Sur, debido a la escasez de almacenamiento y a una elevada escorrentía durante las tempestades. [GTII 16.3.1]

Tabla 5.8: *Proyección de los cambios de la precipitación en islas pequeñas, por regiones (%). Los intervalos se han obtenido de siete MCGAO basados en los escenarios B1, B2, A2 y A1F1 del IE-EE [GTII, Tabla 16.2]*

Regiones	2010-2039	2040–2069	2070–2099
Mediterráneo	de -35,6 a +55,1	de -52,6 a +38,3	de -61,00 a +6,2
Caribe	de -14,2 a +13,7	de -36,3 a +34,2	de -49,3 a +28,9
Océano Índico	de -5,4 a +6,0	de -6,9 a +12,4	de -9,8 a +14,7
Pacífico Norte	de -6,3 a +9,1	de -19,2 a +21,3	de -2,7 a +25,8
Pacífico Sur	de -3,9 a + 3,4	de -8,23 a +6,7	de -14,0 a +14,6

En el Pacífico, una disminución de un 10% de la precipitación media (de aquí a 2050) reduciría en un 20% el tamaño del lentejón de agua dulce del atolón de Tarawa (Kiribati). La disminución de la precipitación, acoplada a la elevación del nivel del mar, supondría una amenaza aún mayor respecto a la fiabilidad del suministro de agua. [GTII 16.4.1]

En muchas islas pequeñas han comenzado a invertir en la aplicación de estrategias de adaptación (por ejemplo, de desalinización), a fin de compensar la escasez de agua actual y proyectada. Sin embargo, no se han estudiado por completo los efectos de las propias plantas desaladoras sobre el paisaje natural ni la necesidad de considerar las exigencias medioambientales en toda su magnitud. [GTII 16.4.1]

Dada la gran notoriedad e impacto de los huracanes, los investigadores y planificadores han prestado menor atención a las sequías, a pesar de que éstas pueden tener como consecuencia un aumento de la extracción y una intrusión de agua salada en los acuíferos cercanos a la costa. En las Bahamas, por ejemplo, los lentejones de agua dulce son los únicos recursos de agua subterránea explotables. Tales lentejones resultan periódicamente afectados por intrusiones salinas, como consecuencia de la sobreexplotación y del exceso de evapotranspiración. En la mayoría de los casos, el movimiento de las aguas subterráneas es lento y, por consiguiente, las mermas cuantiosas de las reservas de agua subterránea tardan mucho en recuperarse, pudiendo llegar a ser irreversibles; la variabilidad del volumen anual de agua disponible no suele ser tan extrema como la de los recursos hídricos superficiales; por otra parte, la degradación de la calidad del agua y la polución tienen efectos de largo plazo que no es posible remediar con rapidez. [GTII 16.4.1]

Algunos Estados insulares, como Malta (MRAE, 2004), dan mayor importancia a ciertos sectores económicos en que podría ser necesaria la adaptación, como los de generación de energía eléctrica, transporte, o gestión de residuos; mientras que otros, como Comoras (GDE, 2002), Vanuatu (Republic of Vanuatu, 1999), o San Vicente y las Granadinas (NEAB, 2000), destacan en sus comunicaciones la agricultura y la salud humana. En esos casos, no se considera que la elevación del nivel del mar es el problema más acuciante, aunque lo es en los Estados atolónicos de baja altura (por ejemplo, Kiribati, Tuvalu, Islas Marshall, o Maldivas). [GTII 16.4.2]

5.8.2.2 Energía

El acceso a una energía fiable y asequible es un elemento vital en la mayoría de las islas pequeñas, porque en ellas el costo de la energía está considerado como un impedimento para alcanzar el objetivo del desarrollo sostenible. En algunas islas, como Dominica, en el Caribe, una gran parte del suministro de energía eléctrica es de origen hídrico. La investigación y el desarrollo orientados a la mejora de la eficiencia energética y a la búsqueda de opciones adecuadas para las islas pequeñas, como la energía solar o la eólica, podrían contribuir al diseño de estrategias de adaptación y mitigación, mejorando las perspectivas de alcanzar un crecimiento sostenible. [GTII 16.4.6, 16.4.7]

5.8.2.3 Salud

Gran número de islas pequeñas se encuentran en áreas tropicales o subtropicales en que el clima favorece la transmisión de enfermedades como el paludismo, el dengue, la *filariasis*, la *esquistosomiasis*, o las trasmitidas por los alimentos y el agua. Las tasas de casos de muchas de estas enfermedades están aumentando en las islas pequeñas debido, en particular, a prácticas de salud pública deficientes, infraestructuras inadecuadas, prácticas de gestión de residuos insuficientes, aumento del tráfico de viajeros a nivel mundial, o variación de las condiciones climáticas (WHO, 2003). En el Caribe, la incidencia del dengue aumenta durante los años cálidos de los ciclos ENOA (Rawlins et al., 2005). Dado que el riesgo máximo de transmisión del dengue se da en las estaciones húmedas anuales, los programas de control de vectores deben centrarse en esos períodos, a fin de disminuir las cargas de enfermedad. La incidencia de enfermedades diarreicas está asociada a la temperatura media anual (Singh et al., 2001) [GTII 8.2, 8.4], y asociada negativamente a la disponibilidad de agua en el Pacífico (Singh et al., 2001). Por consiguiente, el aumento de las temperaturas y la disminución de la disponibilidad de agua por efecto del cambio climático podrían incrementar la carga de enfermedades diarreicas y de otras enfermedades infecciosas en algunos pequeños Estados insulares [GTII 16.4.5]

5.8.2.4 Agricultura

Algunos de los impactos proyectados en relación con el cambio climático son, por una parte, la prolongación de los períodos de sequía y, por otra, la pérdida de fertilidad del suelo y su degradación debido al aumento de la precipitación; ambas repercuten negativamente en la agricultura y en la seguridad alimentaria. En su estudio sobre los impactos socioeconómicos del cambio climático y de la variabilidad en ciertas islas del

Pacífico, el Banco Mundial (2000) concluyó que, de no adaptarse, una isla elevada como Viti Levu (Fiji) podría sufrir daños de entre 23 y 52 millones de dólares anuales de aquí a 2050 (equivalentes a un 2-3% del PIB de Fiji en 2002), mientras que un grupo de islas bajas como las Tarawa, en Kiribati, podría sufrir daños superiores a entre 8 y 16 millones de dólares anuales (equivalentes a un 17-18% del PIB de Kiribati en 2002) en base a los escenarios A2 y B2 del IE-EE. En muchas islas del Caribe, la dependencia respecto a las importaciones agrícolas, que a su vez necesitan de agua para ser producidas en sus países de origen, representa hasta un 50% del suministro de alimentos. [GTII 16.4.3]

5.8.2.5 Biodiversidad

Según Burke et al. (2002) y Burke and Maidens (2004), un 50% aproximadamente de los arrecifes del sureste asiático y un 45% de los del Caribe estarían incluidos en la categoría de riesgo alto a muy alto (véase también Graham et al., 2006). Sin embargo, existen diferencias importantes a nivel local y regional en cuanto a la magnitud y tipos de peligros que amenazan los arrecifes coralinos, tanto en las islas pequeñas como en los continentes. [GTII 16.4.4]

En los últimos decenios, tanto los ecosistemas terrestres de las grandes islas como los costeros de la mayoría de las islas han padecido un aumento de la degradación y de la destrucción. Por ejemplo, un análisis de tres decenios de estudios sobre los arrecifes coralinos ha evidenciado que la capa de coral de los arrecifes del Caribe ha disminuido en un 80% en sólo 30 años, debido principalmente a la polución, a la sedimentación, a las enfermedades marinas y a la sobreexplotación pesquera (Gardner et al., 2003). La escorrentía en tierra firme, junto con el aporte directo de agua dulce procedente de lluvias intensas, podrían tener impactos importantes sobre la calidad del arrecife y sobre la susceptibilidad a las enfermedades. [GTII 16.4.4]

5.8.3 Adaptación, vulnerabilidad y sostenibilidad

El desarrollo sostenible suele ser el objetivo declarado de las estrategias de gestión en las islas pequeñas. Hay relativamente pocos estudios que consideren explícitamente modalidades de desarrollo sostenible a nivel de islas en el contexto del cambio climático (Kerr, 2005). Se sabe desde hace tiempo que los problemas vinculados a su reducido tamaño, al aislamiento, a sus economías especializadas y al efecto contrapuesto de la mundialización y de la localización podrían amenazar a largo plazo la sostenibilidad del desarrollo actual en las islas pequeñas. [GTII 16.6]

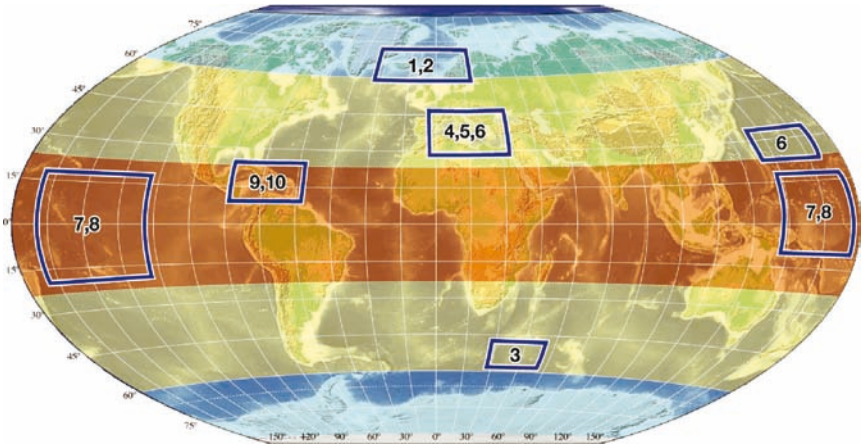
Es peligroso limitar las opciones de adaptación a los impactos esperados del cambio climático, dada la incertidumbre de los posibles impactos físicos de origen climático. En la Tabla 5.9 se resumen los resultados de varios estudios de impacto, basados en escenarios, respecto a diversos medioambientes insulares de aquí a 2100, que evidencian que algunos de esos impactos son ya reales. La tabla proporciona un contexto apto para otros posibles impactos climáticos que podrían agravar los factores de estrés hídrico. Los umbrales podrían estar vinculados a procesos tanto de tipo social como medioambiental. Además, el problema radica en la comprensión de las estrategias de adaptación adoptadas en el pasado y de sus ventajes y limitaciones, con miras a su planificación y aplicación futuras. [GTII 16.5]

A pesar de lo ya avanzado desde el TIE en la elaboración de proyecciones regionales del nivel del mar, éstas no han tenido tanta utilidad en las islas pequeñas, debido a que la incertidumbre respecto a sus manifestaciones locales es mayor que respecto a las proyecciones mundiales. Para poder desarrollar escenarios de cambio climático fiables en relación con las islas pequeñas se necesitan proyecciones fiables y creíbles, basadas en datos de mayor resolución y en datos locales. Con estos planteamientos se podrían obtener mejores evaluaciones de vulnerabilidad, e identificar opciones de adaptación más apropiadas a escala insular y en todas las escalas temporales de los impactos climáticos. [GTII 16.7.1]

Estudios de vulnerabilidad relativos a ciertas islas pequeñas (Nurse et al., 2001) revelan que el costo de protección de la infraestructura y de los asentamientos representa una parte importante del PIB que supera, en la mayoría de casos, los recursos financieros de los pequeños Estados insulares, cosa que no siempre sucede en las islas de los países continentales. Estudios más recientes han identificado áreas de adaptación importantes: gestión de los recursos hídricos y de las cuencas hidrográficas, conservación de arrecifes, gestión agrícola y forestal, conservación de la biodiversidad, seguridad energética, desarrollo de energías renovables, y optimización del consumo de energía. Un marco que contemple la vulnerabilidad actual y futura de las comunidades, y cuyas metodologías integren las ciencias climáticas, las sociales y las comunicaciones, servirá de base para la creación de capacidades de adaptación. [GTII, Recuadro 16.7] Este planteamiento implica que los miembros de la comunidad deben identificar las condiciones climáticas que los afectan y evaluar las estrategias de adaptación actuales y posibles. En Samoa se ha aplicado a título de prueba una de esas metodologías, y se dispone de resultados respecto a una población (Saoluafata: véase Sutherland et al., 2005). En ella, los residentes locales señalaron varias medidas de adaptación, como la construcción de un malecón, un sistema de evacuación de aguas, depósitos de agua, la prohibición de la tala de árboles, algunos cambios de asentamiento, o la renovación de la infraestructura existente. [GTII 16.5]

En el 4IE del IPCC se identifican varias áreas clave y carencias insuficientemente representadas en las investigaciones contemporáneas de los impactos del cambio climático sobre las islas pequeñas [GTII 16.7] En particular:

- papel desempeñado por los ecosistemas costeros (por ejemplo, manglares, arrecifes de coral, o playas) como defensa natural frente a la elevación del nivel del mar y las tempestades;
- determinación de la respuesta de los ecosistemas terrestres de tierras altas e interiores a la variación de los valores medios y extremos de la temperatura y de la precipitación;



* Los números en negrilla hacen referencia a las regiones definidas en el mapa.

Tabla 5.9: *Alcance de los impactos y vulnerabilidades futuras en las islas pequeñas [GTII, Recuadro 16.1]*

Región* y sistema amenazados	Escenario y referencia	Parámetros que han cambiado	Impactos y vulnerabilidades
1. Islandia e islas árticas aisladas de Svalbard e islas Feroe: ecosistemas marinos y especies vegetales	A1 y B2 del IE-EE ACIA (2005)	Aumento proyectado de temperatura	• El desequilibrio entre pérdida y sustitución de especies ocasiona una pérdida inicial de diversidad. La expansión hacia el norte de vegetación en la que predominan los arbustos enanos y los árboles hacia áreas ricas en especies endémicas raras, ocasiona su perdida. • La drástica disminución del capelán islandés, e incluso su total extinción, tiene impactos negativos considerables sobre la mayoría de la población de pesca comercial, ballenas y aves marinas.
2. Islas de latitud alta (islas Feroe): Especies vegetales	Escenario I/II: Aumento/ disminución de la temperatura en 2ºC Fosaa et al. (2004)	Cambios en: temperatura del suelo, cubierta de nieve, y días-grado de crecimiento	• Escenario I: Las especies más afectadas por el calentamiento se circunscriben a la parte superior de las montañas. En otras especies el efecto será principalmente la migración hacia latitudes superiores. • Escenario II: Las especies afectadas por el enfriamiento son las de latitudes inferiores.
3. Islas subantárticas Marión: ecosistema	Escenarios propios Smith (2002)	Cambios proyectados de temperatura y precipitación	• Los cambios afectarán directamente a la biota indígena. Otra amenaza incluso más grave es la invasión de las islas por especies exóticas, favorecida por un clima más cálido.
4. Cinco islas de la cuenca mediterránea: ecosistemas	A1F1 y B1 del IE-EE Gritti et al. (2006)	Invasión de plantas exóticas partiendo de los escenarios climático y de perturbación	• Los impactos del cambio climático son desdeñables en numerosos ecosistemas marinos simulados. • La invasión de los ecosistemas de las islas es un problema cada vez más grave. A largo plazo, en los ecosistemas predominarán las plantas exóticas, con independencia de la tasa de perturbación.
5. Mediterráneo: Aves migratorias (papamoscas cerrojillo –*Ficedula hypoleuca*)	Inexistentes (modelo GLM/ STATISTICA) Sanz et al. (2003)	Aumento de temperatura, cambio del nivel del agua y del índice de vegetación	• Algunos componentes de aptitud del papamoscas cerrojillo acusan el cambio climático en dos de las poblaciones de cría europeas más meridionales, lo cual afectará negativamente a su rendimiento reproductivo.
6. Pacífico y Mediterráneo: malas hierbas de Siam (*Chromolaena odorata*)	Inexistentes (modelo CLIMEX) Kriticos et al.(2005)	Aumento de la humedad, del frío, del calor y del estrés debido a la sequía	• Las islas del Pacífico están amenazadas de una invasión de malas hierbas de Siam. • Se prevé que los climas semiáridos y templados del Mediterráneo no serán adecuados para la invasión.
7. Islas pequeñas del Pacífico: Erosión costera, recursos hídricos y asentamientos humanos	A2 y B2 del IE-EE World Bank (2000)	Cambios de temperatura y precipitación, elevación del nivel del mar	• La aceleración de la erosión costera, la intrusión salina en los lentejones de agua dulce y el aumento de las crecidas procedentes del mar tienen efectos importantes sobre los asentamientos humanos. • La disminución de la precipitación acompañada de una aceleración de la elevación del nivel del mar amenazan los recursos hídricos; es *probable* que una disminución de un 10% de la precipitación promedia de aquí a 2050 corresponda a una reducción de un 20% en el tamaño del lentejón de agua dulce en el atolón Tarawa (Kiribati).

Región* y sistema amenazados	Escenario y referencia	Parámetros que han cambiado	Impactos y vulnerabilidades
8. Samoa Americana; otras 15 islas del Pacífico: manglares	Elevación del nivel del mar en 0,88 m de aquí a 2100 Gilman et al. (2006)	Aumento proyectado del nivel del mar	• Pérdida de un 50% de la superficie de manglares en la Samoa americana; disminución de un 12% de la superficie de manglares en otras 15 islas del Pacífico.
9. Caribe (Bonaire, Antillas holandesas): erosión de las playas y hábitats de anidamiento de las tortugas marinas	A1, A1FI, B1, A2 y B2 del IE-EE Fish et al. (2005)	Proyección de aumento del nivel del mar,	• Con una elevación del nivel del mar de 0,5 m podría perderse en promedio hasta un 38% (±24% DT) del total de las playas actuales, siendo las playas más bajas y estrechas las más vulnerables, y reduciendo en una tercera parte el hábitat de anidamiento de las tortugas.
10. Caribe. (Bonaire y Barbados): Turismo	Inexistentes Uyarra et al. (2005)	Cambios respecto a la fauna marina, la salud, las características terrestres y las condiciones marinas	• La industria turística de Barbados, dependiente de las playas, y la industria ecoturística de Bonaire, basada en los deportes submarinos, se verán afectadas negativamente por el cambio climático debido a la erosión de las playas en Barbados y a la decoloración de los corales en Bonaire.

- análisis de los impactos sobre la agricultura, la silvicultura y las pesquerías, así como sobre la agricultura de subsistencia, la pesca artesanal y la seguridad alimentaria, causados conjuntamente por el cambio climático y otras fuerzas ajenas al clima.
- mejora de los conocimientos sobre las enfermedades sensibles al clima en las islas pequeñas, mediante la investigación a nivel regional y nacional, centrándose no sólo en las enfermedades transmitidas por vectores sino también en las contraidas por vía cutánea, respiratoria, o a través del agua;
- considerando la diversidad de 'tipos de isla' y de su ubicación, identificación de los sistemas y sectores más vulnerables según el tipo de isla.

Al contrario que en las demás regiones de esa evaluación, faltan escenarios y proyecciones demográficos y socioeconómicos fiables respecto a las islas pequeñas. Por ello, los futuros cambios de su situación socioeconómica no están bien representados en las evaluaciones existentes. Por ejemplo, en ausencia de adaptación y de mitigación, los impactos de la elevación del nivel del mar, de la intensificación de las tempestades y de otros cambios climáticos [GTII 6.3.2] serían sustanciales, lo que parece indicar que ciertas islas y áreas bajas serán inhabitables de aquí a 2100. [GTII 16.5]

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 (CO_2) (CAC) es un proceso consistente en la separación del CO_2 de origen industrial y energético, su transporte al lugar de almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera durante largos períodos. La inyección de CO_2 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 CO_2 se disuelve en el agua allí contenida. Una vez disuelto, el CO_2 es transportado por el flujo freático regional. La fuga de CO_2 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 CO_2 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 CO_2. [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 respectos, 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 alimentaría, 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 coducir 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 hidrográficos 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 atrayentes 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 CO_2, 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 N_2O 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 estomático 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 promedia	Humedad del suelo	Agua superficial	Agua subterránea
Energía		Energía geotérmica(7) [+]	Presas hidráulicas(1) [+/-] Riego(2) [-] Energía geotérmica(7) [+] Desalinización(6) [-]		Presas hidroeléctri-cas(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 CO_2 inherentes a la energía consumida para hacer llegar el agua. El riego podría inducir también emisiones adicionales de CH_4 y N_2O, 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 N_2O, gracias a una mejor aireación. Sin embargo, el nitrógeno perdido por drenaje podría ser susceptible de perderse en forma de N_2O.
(5) En función del diseño y gestión de las instalaciones (tecnologías de tratamiento y depuración de aguas de desecho), las emisiones de CH_4 y N_2O (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 CO_2 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 constatarse 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 cosumo 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 Rheenen 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]

7

Implicaciones respecto a las políticas y el desarrollo sostenible

El cambio climático constituye un gran desafío conceptual para los gestores hídricos, para los usuarios de recursos hídricos (por ejemplo, en el sector agrícola) y, en conjunto, para los responsables de políticas, dado que no es ya realista dar por supuesto que las condiciones climáticas e hidrológicas del pasado se mantendrán en el futuro. La gestión de los recursos hídricos tiene un impacto innegable en muchas otras áreas de políticas (por ejemplo, energía, salud, seguridad alimentaria, o conservación de la naturaleza). Por esa razón, es necesario evaluar las diferentes alternativas de adaptación y mitigación, teniendo en cuenta los múltiples sectores que dependen del agua.

Durante estos últimos decenios se han observado cambios sustanciales en muchas variables relacionadas con el agua aunque, actualmente y en general, es difícil definir si responden a causas naturales o antropogénas. Las proyecciones de precipitación, humedad del suelo y escorrentía a escala regional presentan una incertidumbre considerable. En muchas regiones, los modelos no concuerdan con el signo del cambio proyectado. Sin embargo, todos ellos coinciden en algunas pautas sólidamente establecidas. Es *muy probable* que el volumen de la precipitación (y del caudal fluvial) aumente en latitudes altas y en algunas regiones tropicales húmedas, incluidas áreas muy pobladas del este y sudeste de Asia, y disminuya en la mayor parte de las latitudes medias y en regiones tropicales secas [GTII, Figura 3.4]. Recientemente, la interpretación y cuantificación de las incertidumbres ha mejorado, y se están desarrollando nuevos métodos (basados, por ejemplo, en agregados de modelos) para determinar sus características [GTII 3.4, 3.5]. Sin embargo, los pronósticos cuantitativos de los cambios de precipitación, el flujo fluvial y los niveles de agua a escala de cuenca fluvial siguen siendo imprecisos y, por consiguiente, al adoptar decisiones de planificación relacionadas con el cambio climático ha de tenerse en cuenta esa incertidumbre. [GTII RT, 3.3.1, 3.4]

Una adaptación efectiva al cambio climático ha de abarcar escalas temporales y espaciales, y estar basada en el conocimiento de las respuestas a la variabilidad del clima, que habrá de ser tenido en cuenta a la hora de reducir la vulnerabilidad a largo plazo y de establecer unos mecanismos de gobernanza que abarquen desde comunidades y cuencas hidrográficas hasta acuerdos internacionales. Una inversión continua en adaptación teniendo en cuenta únicamente la experiencia histórica en lugar de las proyecciones futuras, que abarcarán tanto la variabilidad como los cambios, acentuaría *probablemente* la vulnerabilidad de muchos sectores al cambio climático. [GTII RT, 14.5]

7.1 Implicaciones respecto a las políticas, por sectores

Gestión de los recursos hídricos

- Las cuencas de captación con un aporte predominante de la cubierta de nieve estacional están ya anticipando sus caudales máximos vernales y, al aumentar la temperatura del clima, se espera que esa tendencia continúe. En latitudes más bajas, la precipitación invernal se manifestará cada vez más frecuentemente en forma de lluvias, en lugar de nevadas. En muchas áreas montañosas, por ejemplo en los Andes tropicales o en varias montañas asiáticas, donde los glaciares son la principal fuente de escorrentía durante las estaciones particularmente áridas, las proyecciones indican que disminuiría el volumen de las reservas de agua almacenadas en los glaciares y en la cubierta de nieve. Durante las estaciones calientes y secas, la escorrentía aumentará mientras disminuyen los glaciares pero, una vez desaparecidos éstos, disminuirá espectacularmente. [GTII 3.4.1]
- Es *probable* que la extensión de las áreas afectadas por la sequía aumente, y *muy probable* que la frecuencia e intensidad de los episodios de precipitación extrema se agudice, aumentando así el riesgo de crecidas. Hasta un 20% de la población mundial vive en cuencas fluviales que, de aquí a 2080, resultarán afectadas por un creciente riesgo de crecida como consecuencia del cambio climático. [GTII 3.4.3]
- Las áreas áridas y semiáridas están particularmente expuestas a los efectos del cambio climático sobre los recursos de agua dulce. Muchas de esas áreas (por ejemplo, la cuenca del Mediterráneo, oeste de Estados Unidos sur de África, nodoeste de Brasil, sur y este de Australia) experimentarán una reducción de sus recursos hídricos por efecto de de ese cambio. [GTII, Recuadro RT.5, 3.4, 3.7] Los esfuerzos por compensar la disminución de la superficie de agua disponible debido a la creciente variabilidad de la precipitación se verán frenados, pues se prevé que la recarga de los acuíferos disminuya considerablemente en algunas regiones sometidas a estrés hídrico [GTII 3.4.2], situación que estaría agravada por una creciente demanda de agua. [GTII 3.5.1]
- El aumento de la temperatura del agua y de la intensidad de precipitación, junto con unos períodos más largos de caudal bajo, agravan numerosas formas de polución del agua, lo cual influirá en los ecosistemas, en la salud humana, en la fiabilidad de los sistemas hídricos y en los costos de funcionamiento. [GTII 3.2, 3.4.4, 3.4.5]
- El valor de los servicios que dependen de los recursos hídricos disminuirá en las áreas en que se ha proyectado una menor escorrentía. Los beneficios de una mayor escorrentía anual en algunas otras áreas estarán atemperados por los efectos negativos de una mayor variabilidad de la precipitación y de la escorrentía estacional sobre el abastecimiento y la calidad del agua y sobre el riesgo de crecida. [GTII 3.4, 3.5]
- A escala mundial, los impactos negativos del cambio climático sobre los sistemas de agua dulce serán mayores que los beneficios. [GTII 3.4, 3.5]
- Los efectos adversos del cambio climático sobre los sistemas de agua dulce agravan los impactos de otros factores de estrés, como el crecimiento demográfico, el cambio de uso de la tierra o la urbanización [GTII 3.3.2, 3.5]. A escala mundial, la demanda de agua aumentará en los próximos decenios, debido principalmente al aumento de la población y de la riqueza. [GTII 3.5.1]
- El cambio climático afecta a la función y al funcionamiento de la infraestructura hídrica existente, así como a las prácticas de gestión hídrica. Es *muy probable* que las

prácticas actuales de gestión de los recursos hídricos sean inadecuadas para reducir los impactos negativos del cambio climático respecto a la fiabilidad del suministro de agua, al riesgo de crecida, a la salud, a la energía y a los ecosistemas acuáticos [GTII RT, 3.4, 3.5, 3.6]

- En algunos países y regiones (por ejemplo, el Caribe, Canadá, Australia, Países Bajos, Reino Unido, Estados Unidos de América, o Alemania) se están desarrollando procedimientos de adaptación y prácticas de gestión de riesgos en el sector hídrico que tienen presente la incertidumbre de los cambios hidrológicos proyectados, aunque será necesario desarrollar criterios que permitan evaluar su efectividad. [GTII 3.6]

Ecosistemas

- Es *probable* que la resistencia de muchos ecosistemas y su capacidad para adaptarse de manera natural resulte desbordada de aquí a 2100 por una conjunción sin precedentes de cambio climático, perturbaciones concomitantes (por ejemplo, crecidas, sequías, o incendios incontrolados) y otros dinamizantes del cambio mundial (por ejemplo, cambio de uso de la tierra, polución, sobreexplotación de recursos). [GTII RT]
- Una mayor variabilidad de la precipitación de lluvia pondrá en peligro *probablemente* los humedales debido a eventuales desplazamientos de la cronología, permanencia y profundidad de los niveles hídricos. [GTII 4.4.8]
- De todos los ecosistemas, los de agua dulce son los que tendrán una mayor proporción de especies amenazadas de extinción por efecto del cambio climático. [GTII 4.4.8]
- Las prácticas de conservación actuales no están, por lo general, en condiciones de adaptarse a los cambios proyectados de los recursos hídricos durante los próximos decenios. [GTII 4.RE]
- Será *probablemente* costoso implementar respuestas de adaptación efectivas que conserven la biodiversidad y otros servicios ecosistémicos pero, a menos que las necesidades de agua para conservarlos sean tenidas en cuenta en las estrategias de adaptación, gran número de ecosistemas naturales, junto con las especies que dependen de ellos, experimentarán un debilitamiento. [GTII 4.RE, 4.4.11, Tabla 4.1, 4.6.1, 4.6.2]

Agricultura, bosques

- Una mayor frecuencia de crecidas y sequías afecta negativamente a los rendimientos de los cultivos y al ganado, y sus impactos serían de mayor magnitud y aparición más temprana que en las predicciones basadas únicamente en los cambios de las variables medias. [GTII 5.4.1, 5.4.2] El aumento de la frecuencia de sequías y crecidas tendrá un efecto negativo sobre la producción local, especialmente en los sectores de subsistencia de latitudes bajas. [GTII RRP]
- Los impactos del cambio climático sobre las necesidades de agua de riego podrían ser considerables. [GTII 5.4] La creación de nuevos espacios para el almacenamiento de agua, tanto en superficie como en el subsuelo, puede aliviar las escaseces de agua, pero no siempre es viable. [GTII 5.5.2]
- Los agricultores podrían conseguir adaptarse en parte, cambiando de especie de cultivo y/o de fechas de plantación de los cultivos anuales, y adaptando otras estrategias. La eventualidad de una mayor necesidad de agua debería ser tenida en cuenta a la hora de diseñar nuevos sistemas de suministro de agua de riego y cuando se rehabiliten sistemas ya antiguos. [GTII 5.5.1]
- Las medidas destinadas a combatir la escasez de agua, por ejemplo la reutilización del agua de desecho para fines agrícolas, han de ser cuidadosamente gestionadas para evitar impactos negativos sobre la salud laboral y la seguridad alimentaria. [GTII 8.6.4]
- La adopción unilateral del medidas para hacer frente a la escasez de agua resultante del cambio climático puede suscitar una competición por los recursos hídricos. Será necesario adoptar líneas de actuación a nivel internacional y regional para poder desarrollar soluciones conjuntas. [GTII 5.7]

Sistemas costeros y extensiones bajas

- El aumento del nivel del mar extenderá el área de salinización de aguas subterráneas y estuarios y, en consecuencia, disminuirá la disponibilidad de agua dulce. [GTII 3.2, 3.4.2]
- Los asentamientos situados en áreas costeras bajas cuya capacidad adaptativa sea escasa y/o cuyo nivel de exposición sea alto estarán más amenazados por el riesgo de sequía y de aumento del nivel del mar. Se incluyen en ese grupo los deltas fluviales, especialmente los grandes deltas de Asia (por ejemplo, el Ganges-Brahmaputra en Bangladesh y en la Bengala occidental), y las áreas urbanas costeras bajas, especialmente las propensas al hundimiento por causas naturales o humanas y a la entrada en tierra de tempestades tropicales (por ejemplo, Nueva Orleans, Shanghai). [GTII 6.3, 6.4]

Industria, asentamientos y sociedad

- Las infraestructuras, (por ejemplo, los sistemas de abastecimiento de agua a núcleos urbanos) son, especialmente en las áreas costeras, vulnerables al aumento del nivel del mar y a la disminución de la precipitación regional. [GTII 7.4.3, 7.5]
- Un aumento del número de episodios de precipitación extrema tendría implicaciones importantes respecto a la infraestructura en cuanto a: diseño de sistemas de drenaje de agua de tempestad, desaguaderos transversales de carreteras, puentes, diques y estructura de control de crecidas, y en particular el dimensionamiento de los reservorios de retención de aguas de crecida. [GTII 7.4.3.2]
- La promulgación de normativas de planificación podría ser útil para evitar el desarrollo en zonas de alto riesgo de crecida (por ejemplo, en llanuras inundables), particularmente en forma de viviendas, núcleos industriales, emplazamiento de vertederos, etc. [GTII 7.6]
- Para el desarrollo de infraestructura, que implica periodos de anticipación prolongados e inversiones cuantiosas, la incorporación de información sobre el cambio climático sería beneficiosa. [GTII 14.5.3, Figura 14.3]

Saneamientos y salud humana

- Los efectos del cambio climático sobre el agua entrañan una amenaza para la salud humana en la medida en que

alterarían la calidad y la disponibilidad de agua. Aunque la accesibilidad a suministros hídricos y saneamientos está determinada principalmente por factores no climáticos, en algunas poblaciones se espera que cambio climático dificulte aún más el acceso en los hogares. [GTII 8.2.5]
- Es necesario desarrollar sistemas apropiados de planificación y preparación frente a desastres, a fin de hacer frente al mayor riesgo de crecida que acarrearía el cambio climático y de aminorar sus impactos sobre la salud y los sistemas sanitarios. [GTII 8.2.2]

Necesidades de información sobre el clima

Para poder comprender mejor el impacto del clima sobre el ciclo hídrico es necesario disponer de un mayor número de datos. Unos registros hidrométricos de duración relativamente corta pueden subestimar el alcance real de la variabilidad natural. El monitoreo de todas las variables relacionadas con el agua, tanto en términos de cantidad como de calidad, ayuda a la toma de decisiones y es un prerrequisito para la gestión adaptativa necesaria ante la eventualidad de un cambio climático. [WGII 3.8]

7.2 Principales impactos hídricos proyectados, por regiones

África

- Los impactos del cambio climático en África serán *probablemente* máximos cuando concurran con otros factores de estrés (crecimiento demográfico, acceso desigual a los recursos; acceso inadecuado a agua y saneamientos [GTII 9.4.1], inseguridad alimentaria [GTII 9.6], sistemas de salud deficientes [GTII 9.2.2, 9.4.3]). Estos estreses, sumados al cambio climático, agravarán las vulnerabilidades de gran número de personas en África. [GTII 9.4]
- Las proyecciones indican que, de aquí al decenio de 2080, la superficie de tierra árida y semiárida aumentaría en África entre un 5 y un 8% (entre 60 y 90 millones de ha) para una gran diversidad de escenarios de cambio climático. [GTII 9.4.4]
- Las disminuciones del rendimiento agrícola se deben *probablemente* a la sequía y a la degradación de la tierra, especialmente en áreas marginales. Los sistemas fluviales mixtos del Sahel resultarán muy afectados por el cambio climático. Los sistemas fluviales mixtos y perennifolios de tierras altas de la región de los Grandes Lagos y de otras partes del África oriental resultarán también muy afectados. [GTII 9.4.4, Recuadro RT.6]
- El cambio climático agravará *probablemente* el estrés hídrico actual de África, pero la gobernanza del agua y la gestión de las cuencas hídricas son también factores a tener en cuenta en futuras evaluaciones del estrés hídrico en ese continente. Según las proyecciones, la escorrentía aumentaría en el África oriental (y, con ella, el riesgo de episodios de crecida) y disminuiría (con el considerable aumento del riesgo de sequía) en otras áreas (por ejemplo, el sur de África) de aquí al decenio de 2050. [GTII 9.4.1, 9.4.2, 9.4.8]
- Toda variación de la producción primaria de los Grandes Lagos tendrá impactos importantes en los suministros de alimentos a nivel local. Actualmente, el lago Tanganika aporta entre un 25 y un 40% de la ingesta proteínica animal de las poblaciones circundantes, y el cambio climático reduciría *probablemente* la producción primaria y, posiblemente, el rendimiento pesquero en un 30% aproximadamente. [GTII 9.4.5, 3.4.7, 5.4.5] La interacción vinculada a decisiones de gestión o humanas deficientes, y en particular la sobreexplotación pesquera, reduciría *probablemente* los rendimientos de la pesca lacustre. [GTII 9.2.2, Recuadro RT.6]

Asia

- En India, la disponibilidad de agua dulce por habitante disminuiría, pasando de los aproximadamente 1.820 m^3 actuales a menos de 1.000 m^3 de aquí a 2025 en respuesta a los efectos conjuntos del crecimiento demográfico y del cambio climático. [GTII 10.4.2.3]
- Un aumento de las lluvias intensas y una mayor frecuencia de crecidas repentinas durante los monzones darían lugar a una mayor proporción de escorrentía y reducirían la proporción de ésta que va a parar a las aguas subterráneas. [GTII 10.4.2]
- Se espera que la demanda de riego agrícola en las regiones áridas y semiáridas del Asia oriental aumente en un 10% para un aumento de temperatura de 1°C. [GTII 10.4.1]
- Las áreas costeras, especialmente los grandes deltas de Asia densamente poblados, serán las más amenazadas debido al aumento de las crecidas marinas y, en algunos grandes deltas, de las crecidas fluviales. [GTII 6.4, 10.4.3]
- Los cambios respecto a la fusión de las nieves y glaciares, así como el ascenso de los contornos de la nieve en los Himalayas, afectarán a la variación estacional de la escorrentía, ocasionando escaseces de agua durante los meses estivales secos. Una cuarta parte de la población de China y, en India, centenares de millones de personas resultarán afectados (Stern, 2007). [GTII 3.4.1, 10.4.2.1]

Australia y Nueva Zelandia

- Es *muy probable* que los actuales problemas de seguridad hídrica se agraven en el sur y este de Australia (en Victoria, por ejemplo, la escorrentía disminuiría en un 0–45% de aquí a 2030, y en la cuenca australiana de Murray-Darling el caudal fluvial se reduciría en un 10–25% de aquí a 2050), así como en Northland, Nueva Zelandia y algunas regiones orientales. [GTII 11.4.1]
- Los riesgos que amenazan las grandes obras de infraestructura aumentarán *probablemente* como consecuencia del cambio climático. Es *muy probable* que los criterios de diseño en previsión de fenómenos extremos sean rebasados con mayor frecuencia de aquí a 2030. Algunos de esos riesgos estarían vinculados a fallos de los diques instalados en llanuras inundables o de los sistemas de drenaje urbano, o a inundaciones de ciudades costeras próximas a ríos. [GTII 11.RE, 11.4.5, 11.4.7]
- Según las proyecciones, la producción agrícola y forestal

disminuiría de aquí a 2030 en gran parte del sur y este de Australia y en partes de la Nueva Zelandia oriental debido, entre otros factores, a un aumento de las sequías. Sin embargo, en Nueva Zelandia la situación sería inicialmente beneficiosa en las extensiones occidentales y australes y en las inmediaciones de los grandes ríos, gracias a un aumento de la precipitación de lluvia. [GTII 11.4]

Europa

- La probabilidad de alcanzar valores extremos de la precipitación invernal que excedan de dos desviaciones típicas por encima del valor normal aumentaría en un factor de hasta cinco en partes del Reino Unido y norte de Europa de aquí al decenio de 2080, con una duplicación de los niveles de CO_2. [GTII 12.3.1]
- De aquí al decenio de 2070, la escorrentía anual aumentaría en la Europa septentrional y disminuiría en hasta un 36% en el sur de Europa, con una reducción de los flujos bajos estivales de hasta un 80% en base al escenario IS92a. [GTII 12.4.1, T12.2]
- El porcentaje superficial de cuencas hídricas afectadas por un estrés hídrico de categoría severa (cociente extracción/disponibilidad superior a 0,4) aumentaría, pasando del actual 19% a un 34–36% de aquí al decenio de 2070. [GTII 12.4.1]
- En 17 países de la Europa occidental, el número de personas que incrementarán la población en cuencas que padecen estrés hídrico aumentará *probablemente* en 16 a 44 millones (resultados basados en el modelo climático HadCM3) de aquí al decenio de 2080. [GTII 12.4.1]
- De aquí al decenio de 2070, se espera que el potencial hidroeléctrico disminuya para el conjunto de Europa en un 6%, con fuertes variaciones regionales que abarcarían desde una disminución de 20–50% en la región mediterránea hasta un aumento de 15–30% en la Europa septentrional y oriental. [GTII 12.4.8]
- Los glaciares de montaña pequeños desaparecerán en varias regiones, mientras que los de mayor tamaño experimentarán una reducción de volumen comprendida entre 30% y 70% de aquí al decenio de 2050 con arreglo a una serie de escenarios de emisiones, con reducciones concomitantes del caudal durante la primavera y el verano. [GTII 12.4.3]

América Latina

- En regiones áridas y semiáridas de Argentina, Chile y Brasil, toda reducción futura de la precipitación de lluvia acarreará *probablemente* escaseces de agua severas. [GTII 13.4.3]
- Como consecuencia del cambio climático y del crecimiento demográfico, el número de personas que viven en cuencas hídricas estresadas alcanzaría entre 37 y 66 millones de aquí al decenio de 2020 (frente a una estimación de 56 millones en ausencia de cambio climático), en base al escenario A2 del IE-EE. [GTII 13.4.3]
- En América Latina, experimentarán un estrés hídrico severo áreas tales como el este de América Central, las llanuras, el valle de Motagua y las laderas del Pacífico de Guatemala, las regiones oriental y occidental de El Salvador, el valle central y la región del Pacífico de Costa Rica, las regiones intermontanas septentrional, central y occidental de Honduras, y la península de Azuero en Panamá.). En esas áreas, el abastecimiento de agua y la generación de energía hidroeléctrica podrían resultar gravemente afectados por el cambio climático. [GTII 13.4.3]
- En un clima más cálido, la retracción de los glaciares acrecentaría el número de situaciones de escasez de agua en temporada seca, con consecuencias adversas respecto a la disponibilidad de agua y a la generación hidroeléctrica en Bolivia, Perú, Colombia y Ecuador. Se espera que los riesgos de crecida aumenten durante las estaciones lluviosas. [GTII 13.2.4, 13.4.3]

América del Norte

- Es *muy probable* que en las montañas occidentales el calentamiento proyectado ocasione de aquí a mediados del siglo XXI una disminución considerable del banco de nieve, un deshielo más temprano, un mayor número de episodios de lluvia en invierno, un aumento de las crestas de caudal invernales y de las crecidas, y una disminución de los caudales estivales. [GTII 14.4.1]
- La disminución de los suministros de agua, acoplada a aumentos de la demanda, intensificará *probablemente* la competencia por la obtención de recursos hídricos con exceso de cuota. [GTII 14.2.1, Recuadro 14.2]
- Un cambio climático moderado en los primeros decenios del siglo mejoraría en un 5–20% el rendimiento conjunto de la agricultura pluvial, aunque con una importante variabilidad de una región a otra. Los cultivos próximos al extremo templado de su ámbito geográfico idóneo, o que dependen de unos recursos hídricos intensamente utilizados, experimentarían grandes dificultades. [GTII 14.4.4]
- La vulnerabilidad al cambio climático se concentraría *probablemente* en grupos y regiones específicos, particularmente pueblos indígenas y otros grupos de población dependientes de unas bases de recursos exiguas, así como en los pobres y ancianos de las ciudades. [GTII 14.2.6, 14.4.6]

Regiones polares

- En el Hemisferio Norte, la extensión de permafrost disminuiría *probablemente* en un 20–35% de aquí al decenio de 2050. El espesor del deshielo estacional aumentaría en un 15–25% en la mayoría de las áreas de aquí al decenio de 2050, y en un 50% o más en los lugares más septentrionales, sea cual sea el escenario IE-EE escogido. [GTII 15.3.4] En la región ártica, la consecuencia sería una alteración de los ecosistemas. [GTII 15.4.1]
- Se esperan reducciones ulteriores de la cubierta de hielo de lagos y ríos, que afectarían a las estructuras térmicas, a la calidad/cantidad de hábitats situados bajo el hielo y, en el Ártico, a la cronología y gravedad de las obturaciones por hielo y de las consiguientes crecidas. El calentamiento del agua dulce influiría en la productividad y distribución de especies acuáticas, especialmente peces, que a su vez induciría cambios en el acervo de peces y disminuciones en las especies que prefieren aguas más frías. [GTII 15.4.1]
- Los aumentos de la frecuencia y severidad de las crecidas

y de la erosión y destrucción del permafrost amenazan a las comunidades árticas, a la infraestructura industrial y al suministro hídrico. [GTII 15.4.6]

Islas pequeñas

- Hay una clara evidencia de que, en la mayoría de los escenarios de cambio climático, los recursos hídricos de las islas pequeñas correrían *probablemente* un serio peligro [GTII 16.RE]. La mayoría de las islas pequeñas disponen de un abastecimiento hídrico limitado, y en ellas los recursos hídricos son especialmente vulnerables a los cambios futuros y a la distribución de la precipitación de lluvia. Muchas islas del Caribe experimentarían *probablemente* un mayor estrés hídrico por efecto del cambio climático. Sea cual sea el escenario IE-EE, las proyecciones contemplan una disminución de la precipitación de lluvia en esa región, por lo que es *improbable* que pueda cubrirse la demanda durante los periodos de escasa lluvia. Es *improbable* que el aumento de la precipitación de lluvia en invierno compense este efecto, debido a la ausencia de instalaciones de almacenamiento y al elevado volumen de escorrentía vinculado a los episodios de tempestad. [GTII 16.4.1]
- Una disminución del valor promedio de la precipitación de lluvia ocasionaría una reducción del tamaño del lentejón de agua dulce. En el Pacífico, una disminución de un 10% del valor promedio de la precipitación de lluvia ocasionaría (de aquí al decenio de 2050) una reducción de un 20% en el tamaño del lentejón de agua dulce en el atolón de Tarawa, Kiribati. La disminución de lluvia, acoplada a un mayor volumen de extracción, al aumento del nivel del mar y a la consiguiente intrusión de agua salada, agravaría esa amenaza. [GTII 16.4.1]
- Varios países integrados por islas pequeñas (por ejemplo, Barbados, Maldivas, Seychelles o Tuvalu) han comenzado a invertir fondos para implementar estrategias de adaptación, entre ellas la de desalinización, a fin de compensar las situaciones de escasez de agua actuales y proyectadas. [GTII 16.4.1]

7.3 Implicaciones respecto a las políticas de mitigación del clima

La adopción de opciones de mitigación importantes (por ejemplo, forestación, energía hidroeléctrica o biocombustibles) podría tener impactos positivos y negativos sobre los recursos de agua dulce. Por consiguiente, es necesario evaluar conjuntamente y optimizar, en función del lugar, (la efectividad de) las medidas de mitigación y los impactos relacionados con el agua.

La expansión de las áreas de regadío y la generación de energía hidroeléctrica mediante embalses puede reducir la efectividad del potencial de mitigación. En el caso del riego, las emisiones de CO_2 provenientes del consumo de energía por bombeo de agua y del metano emitido por los arrozales podrían contrarrestar en parte los efectos de la mitigación. Los reservorios de agua dulce destinados a la generación hidroeléctrica podrían arrojar una cierta cantidad de emisiones de gases invernadero, por lo que es necesario evaluar conjuntamente, caso por caso, el presupuesto final de gases de efecto invernadero. [GTIII 4.3.3.1, 8.4.1.1]

7.4 Implicaciones respecto al desarrollo sostenible

Los países y regiones de bajo nivel de ingresos seguirían siendo vulnerables a medio plazo, y tendrían menos opciones de adaptación al cambio climático que los países de alto nivel de ingresos. Por consiguiente, las estrategias de adaptación deberían enmarcarse en el contexto del desarrollo, del medio ambiente y de las políticas sanitarias. Muchas de las opciones que ayudarían a reducir la vulnerabilidad futura son útiles para la adaptación al clima actual, y pueden ser utilizadas para conseguir otros objetivos medioambientales y sociales.

En numerosas regiones del planeta, los impactos del cambio climático sobre los recursos de agua dulce podrían afectar al desarrollo sostenible, dificultando con ello la reducción de la pobreza y de la mortalidad infantil (Tabla 7.1). Es *muy probable* que no se consigan evitar los impactos negativos de una mayor frecuencia y gravedad de las crecidas y sequías sobre el desarrollo sostenible [GTII 3.7]. Con todo, si se exceptúan los fenómenos extremos de mayor magnitud, el cambio climático rara vez es el factor principal de cuantos ejercen estrés sobre la sostenibilidad. La importancia del cambio climático radica en sus interacciones con otras fuentes de cambio y de estrés, y sus impactos deberían ser considerados en ese contexto multicausal. [GTII 7.1.3, 7.2, 7.4]

Cuadro 7.1: *Contribución potencial del sector hídrico a la consecución de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. [GTII, Tabla 3.6]*

Metas	Relación directa con el agua	Relación indirecta con el agua
Meta 1: Erradicación de la pobreza extrema y del hambre	El agua es un factor presente en gran número de actividades de producción (por ejemplo, agricultura, zootecnia, industrias familiares) Producción sostenible de peces, silvicultura y otros alimentos agrupados en recursos compartidos	Una menor degradación de los ecosistemas mejora el desarrollo sostenible a nivel local Reducción del hambre en las ciudades mediante un abaratamiento de los alimentos, gracias a un suministro de agua más fiable
Meta 2: Consecución de la educación universal		Mejora de la asistencia a las escuelas, gracias a una mejora de la salud y a una menor carga vinculada al acarreo de agua, especialmente para las niñas
Meta 3: Promoción de la igualdad de género y de una mayor autosuficiencia de las mujeres	Desarrollo de programas de gestión hídrica sensibles al género	Menor pérdida de tiempo y menor carga sanitaria gracias a una mejora del servicio hídrico, que proporcionaría más tiempo para la obtención de ingresos y para un mayor equilibrio en los roles de género
Meta 4: Disminución de la mortalidad infantil	Mejora del acceso a agua potable en cantidad más adecuada y con mejor calidad, y mejora de los saneamientos, a fin de reducir los principales factores de morbilidad y mortalidad infantil	
Meta 6: Lucha contra el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades	Una mayor accesibilidad de agua y saneamientos ayuda a los hogares afectados por VIH/SIDA, y podría mejorar el impacto de los programas de atención de salud Una mejor gestión del agua reduce el hábitat de los mosquitos y el riesgo de transmisión del paludismo	
Meta 7: Sostenibilidad medioambiental	La mejora de la gestión hídrica reduce el consumo de agua y recicla nutrientes y sustancias orgánicas Iniciativas que aseguren el acceso a unos ecosaneamientos mejores y, posiblemente, productivos en los hogares pobres Iniciativas que mejoren los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento en las comunidades pobres Iniciativas que reduzcan el caudal de aguas de desecho y mejoren la salud medioambiental en las áreas de chabolismo	Desarrollo de un sistema de explotación, mantenimiento y recuperación de costos que asegure la sostenibilidad en la prestación de servicios

8

Lagunas de conocimiento y temas de estudio sugeridos

Los registros observacionales y las proyecciones climáticas proporcionan evidencia abundante de que los recursos de agua dulce son vulnerables y podrían resultar muy afectados por el cambio climático. Sin embargo, la capacidad para cuantificar los cambios futuros de las variables hidrológicas, así como sus impactos sobre los sistemas y sectores, está limitada por la incertidumbre en todas las etapas del proceso de evaluación. La incertidumbre refleja la horquilla de escenarios de desarrollo socioeconómico, la horquilla de proyecciones de modelos climáticos para un escenario dado, la reducción de escala de los efectos del clima a escala local/regional, las evaluaciones de impacto y los retroefectos de las actividades de adaptación y mitigación. Las limitaciones de que adolecen las observaciones y nuestros conocimientos limitan nuestra capacidad actual para reducir esas incertidumbres. La toma de decisiones ha de desenvolverse en el contexto de esa incertidumbre. El desarrollo de métodos robustos para la evaluación de riesgos en base a esas incertidumbres apenas ha comenzado.

La capacidad para mitigar el cambio climático y adaptarse a sus impactos está limitada por la disponibilidad y viabilidad económica de unas tecnologías apropiadas, y de unos procesos de toma de decisión colaborativos y robustos que abarquen múltiples sectores interesados y criterios de gestión. Los costos y beneficios (y, en particular, los daños evitados) vinculados a determinadas opciones son raramente datos conocidos. Una estrategia de gestión adaptable a medida que evoluciona el clima presupone la existencia de una red observacional adecuada de la que obtener información. No se tiene un conocimiento adecuado de los marcos jurídicos e institucionales, ni de las estadísticas necesarias, desde el punto de vista de la demanda, para incorporar la adaptación en los planes de desarrollo con objeto de reducir las vulnerabilidades relacionadas con el agua, ni de los cauces apropiados para obtener aportaciones financieras que permitan invertir en actividades de adaptación del sector hídrico.

En esta sección se señalan algunas de las principales lagunas de información en relación con esas necesidades.

8.1 Necesidades observacionales

Es necesario mejorar los datos observacionales y su accesibilidad para conocer más a fondo los cambios que están sucediendo, y para acotar mejor las proyecciones de los modelos; tales datos son imprescindibles para una gestión adaptativa frente a la eventualidad de un cambio climático. Para avanzar en esa dirección es necesario disponer de más datos. Algunas redes observacionales están disminuyendo de tamaño. Unos registros relativamente cortos en el tiempo podrían no reflejar en toda su extensión la variabilidad natural y desencaminarían posiblemente los estudios de detección, mientras que su reconstrucción a lo largo de períodos prolongados podría situar las tendencias y valores extremos recientes en un contexto más amplio. Las principales carencias identificadas respecto a las observaciones del cambio climático en relación con el agua dulce y con los ciclos hidrológicos estaban relacionadas con [GTI RT.6; GTII 3.8]:

- Las dificultades para medir la precipitación siguen siendo un aspecto preocupante con miras a la cuantificación de las tendencias mundiales y regionales. Las mediciones (satelitales) de la precipitación en los océanos están aún en fase de desarrollo. Es necesario mantener un monitoreo satelital continuo, y desarrollar unas estadísticas fiables que permitan inferir valores de precipitación. [GTI 3.3.2.5]
- Numerosas variables hidrometeorológicas (por ejemplo, el flujo fluvial, la humedad del suelo o la evapotranspiración real) no son adecuadamente medidas. La evapotranspiración potencial suele calcularse en base a parámetros tales como la radiación solar, la humedad relativa o la velocidad del viento. Los registros suelen abarcar períodos muy cortos y un escaso número de regiones, lo cual impide un análisis completo de los cambios experimentados por las sequías. [GTI 3.3.3, 3.3.4]
- En algunas regiones sería posible el rescate de datos de caudales fluviales. Allí donde no se disponga de observaciones, convendría contemplar la posibilidad de crear nuevas redes de observación. [GTI 3.3.4]
- El agua subterránea no está adecuadamente monitorizada, y en muchas regiones los procesos de agotamiento y recarga del agua subterránea no han sido adecuadamente modelizados. [GTI 3.3.4]
- Se necesitan datos de monitoreo de la calidad del agua, del consumo de agua y del transporte de sedimentos.
- Los inventarios de nieve, hielo y terreno congelado son incompletos. El monitoreo de los cambios está desigualmente distribuido, tanto en el espacio como en el tiempo. Hay una carencia general de datos respecto al Hemisferio Sur. [GTI RT 6.2, 4.2.2, 4.3]
- Se necesita más información sobre las respuestas de la evapotranspiración vegetal a los efectos conjuntos del aumento de CO_2 atmosférico, del aumento de temperatura y del aumento de concentración del vapor de agua en la atmósfera, a fin de comprender mejor la relación existente entre los efectos directos del enriquecimiento en CO_2 de la atmósfera y de los cambios del ciclo hidrológico. [GTI 7.2]
- El aseguramiento de la calidad, la homogeneización de los conjuntos de datos y la intercalibración de los métodos y procedimientos podrían ser aspectos importantes en aquellos casos en que más de un organismo, país, etc. mantienen actividades de monitoreo en una misma región o cuenca de captación.

8.2 Comprensión de las proyecciones climáticas y de sus impactos

8.2.1 Comprensión y proyección del cambio climático

Algunas de las principales incertidumbres respecto a la comprensión y modelización de los cambios del clima en relación con el ciclo hidrológico están relacionadas con [IdS; GTI RT.6]:

- Los cambios experimentados por cierto número de dinamizantes radiativos del clima no han sido enteramente cuantificados ni desentrañados (por ejemplo, los aerosoles y

sus efectos sobre las propiedades de las nubes, el metano, el ozono, el vapor de agua estratosférico, el cambio de uso de la tierra, o las radiaciones solares durante el pasado)

- Con respecto a algunos aspectos observados del cambio climático, la confianza con que pueden ser atribuidos a procesos antropógenos o naturales está limitada por las incertidumbres del forzamiento radiativo, y por la incertidumbre de los procesos y observaciones. La atribución de causas es más difícil a escalas espaciales y temporales más pequeñas, y los cambios de precipitación son conocidos con un menor grado de confianza que los de temperatura. Son muy pocos los estudios de atribución de causas respecto a los cambios experimentados por los fenómenos extremos.
- La incertidumbre asociada a la modelización de varios modos de variabilidad climática y de distribución de la precipitación en términos de episodios intensos o leves sigue siendo grande. En muchas regiones, las proyecciones del cambio de la precipitación media dependen también en gran medida del modelo, y difieren incluso en el signo del cambio. Es necesario conocer con mayor detalle las fuentes de incertidumbre.
- En muchas regiones en que las escalas espaciales finas del clima son generadas por la topografía, no se dispone de información suficiente sobre la manera de expresar el cambio climático a tales escalas.
- Los modelos climáticos siguen estando limitados por la resolución espacial y por el número de modelos agregables que permiten los actuales recursos informáticos, por la necesidad de incluir ciertos procesos adicionales, y por unos grandes márgenes de incertidumbre en la modelización de ciertos retroefectos (por ejemplo, de las nubes, o del ciclo del carbono).
- Un conocimiento limitado de los procesos experimentados por los mantos y plataformas de hielo se traduce en unos valores de incertidumbre no cuantificados respecto a las proyecciones del futuro balance de masa de los mantos de hielo, que conllevan a su vez un margen de incertidumbre respecto a las proyecciones del aumento del nivel del mar.

8.2.2 Impactos relacionados con el agua [GTII 3.5.1, 3.8]

- Debido a la magnitud de las incertidumbres existentes, se necesitan metodologías probabilísticas que permitan a los gestores hídricos analizar los riesgos vinculados a un eventual cambio climático. Se están desarrollando técnicas para la construcción de distribuciones de probabilidad de determinadas eventualidades. Es necesario seguir avanzando en esas investigaciones, y en el desarrollo de técnicas para la comunicación de los resultados y para su aplicación a la comunidad de usuarios.
- Es necesario seguir avanzando en la detección y atribución de los cambios hidrológicos actuales; en particular, de los cambios respecto a los recursos hídricos y respecto al acaecimiento de fenómenos extremos. En el marco de esas actividades, es necesario desarrollar indicadores de los impactos del cambio climático sobre el agua dulce, además de unos sistemas operacionales que permitan monitorizarlos.
- Sigue habiendo un desajuste entre los resultados de los modelos climáticos de gran escala y los resultados a escala de cuenca de captación, que es la más importante para la gestión hídrica. Se necesitan, por consiguiente, modelos climáticos de resolución superior que incorporen una mayor riqueza de propiedades y de interacciones en la superficie de la tierra, a fin de obtener información de mayor utilidad para la gestión hídrica. La reducción de escala en términos estadísticos y físicos puede contribuir a ello.
- En su mayoría, los estudios de impacto del cambio climático en relación con el estrés hídrico de los países evalúan la demanda y la oferta en términos anuales. Sería deseable disponer de análisis a escala de resolución temporal mensual o superior, ya que los cambios de las pautas estacionales y de la probabilidad de episodios extremos podrían contrarrestar los efectos positivos de una mayor disponibilidad de recursos hídricos.
- El impacto del cambio climático sobre la nieve, el hielo y el terreno congelado como variables de almacenamiento sensibles del ciclo hídrico es marcadamente no lineal, y se necesitan unas modelizaciones más orientadas a los aspectos físicos y a los procesos, así como una reducción de escala específica para la atmósfera. No se tiene un conocimiento detallado de los cambios de escorrentía causados por la evolución de los glaciares, de la cubierta de nieve, de la transición lluvia-nieve ni del terreno congelado en diferentes regiones climáticas.
- Es necesario mejorar los métodos utilizados para evaluar el impacto que la variabilidad climática alterada ejerce sobre los recursos de agua dulce. En particular, es necesario desarrollar conjuntos de datos a escala local y modelos informáticos simples de cuencas de drenaje vinculados al clima que permitan a los gestores hídricos evaluar los impactos y el funcionamiento y resiliencia de sus sistemas, habida cuenta del margen de incertidumbre asociado a las proyecciones climáticas futuras.
- Deberían analizarse más a fondo los retroefectos entre el uso de la tierra y el cambio climático (incluidos el cambio de la vegetación y las actividades antropógenas, como el riego o la construcción de reservorios); por ejemplo, mediante la modelización acoplada del clima y del uso de la tierra.
- Es necesario mejorar la evaluación de las consecuencias hídricas que conllevan diferentes políticas climáticas y vías de desarrollo.
- Hay un conocimiento deficiente de los impactos del cambio climático sobre la calidad del agua en los países desarrollados y en desarrollo, particularmente con respecto al impacto de los fenómenos extremos.
- Son relativamente escasos los resultados disponibles con respecto a los aspectos socioeconómicos de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos, y en particular con respecto a los impactos del cambio climático sobre la demanda de agua.
- No se conocen suficientemente bien los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas acuáticos (no sólo en términos de temperatura, sino también de regímenes de flujo, de niveles hídricos y de cubierta de hielo).
- Pese a su importancia, el agua subterránea no ha sido un tema preferente en las evaluaciones de impacto del cambio climático, en comparación con los recursos hídricos de superficie.

8.3 Adaptación y mitigación

- La gestión de los recursos hídricos impacta indudablemente en muchas otras áreas de políticas (por ejemplo, proyecciones de energía, uso de la tierra, seguridad alimentaria o conservación de la naturaleza). No se dispone de herramientas adecuadas para facilitar la valoración de las opciones de adaptación y de mitigación respecto a una multiplicidad de sectores que dependen del agua; por ejemplo, la adopción de tecnologías y prácticas para un uso eficiente del agua.
- En ausencia de unas proyecciones fiables del cambio futuro de las variables hidrológicas, ciertos procesos y métodos de adaptación útiles en ausencia de proyecciones más exactas (por ejemplo, una mayor eficiencia de uso del agua, o una gestión más eficaz de la demanda hídrica) constituyen opciones "sin perjuicios" para hacer frente al cambio climático. [GTII 3.8]
- *Biodiversidad*. Identificación de necesidades en materia de recursos hídricos, con miras al mantenimiento de los valores y servicios medioambientales, especialmente en los ecosistemas de delta, en los humedales, y para mantener unos caudales fluviales internos adecuados.
- *Captación y secuestro de carbono:* Es necesario conocer más a fondo los procesos de fuga, debido a la posibilidad de que se degrade la calidad del agua subterránea. Para ello es necesaria una mayor capacidad de monitorizar y de verificar el comportamiento del CO_2 almacenado a nivel geológico. [CAC, RT, Capítulo 10]
- *Construcción de instalaciones/embalses de energía hidroeléctrica:* Es necesaria una metodología integrada que refleje la diversidad de intereses (control de crecidas, energía hidroeléctrica, riego, suministro de agua urbana, ecosistemas, pesquerías y navegación), con miras a conseguir unas soluciones sostenibles. Hay que obtener estimaciones de las emisiones de metano. Asimismo, hay que evaluar su efecto neto sobre el presupuesto de carbono en las regiones afectadas.
- *Bioenergía:* Es necesario analizar a fondo la demanda hídrica y sus consecuencias para los cultivos comerciales bioenergéticos de gran escala. [GTIII 4.3.3.3]
- *Agricultura:* Es necesario conocer más a fondo los efectos netos de una mayor eficacia de riego sobre el presupuesto de GEI (mayor almacenamiento de carbono en los suelos como consecuencia de un mayor rendimiento de los cultivos y de un aumento del volumen de residuos, y grado en que ese aumento está contrarrestado por las emisiones de CO_2 de los sistemas energéticos que hacen llegar el agua, o por las emisiones de N_2O resultantes de una mayor humedad y de los aportes de fertilizante). [GTIII 8.4.1.1]
- *Silvicultura:* Es necesario conocer más a fondo los efectos de las forestación masivas sobre los procesos que configuran el ciclo hidrológico (por ejemplo, precipitación de lluvia, evapotranspiración, escorrentía, infiltración, o recarga de agua subterránea). [GTIII 9.7.3]
- *Reutilización del agua de desecho y del agua:* Es necesario analizar más a fondo las emisiones procedentes de los procesos de tratamiento descentralizados y de las descargas incontroladas de aguas de desecho en los países en desarrollo. Es necesario analizar y cuantificar el impacto de una reutilización adecuada del agua sobre las estrategias de mitigación y de adaptación.

Referencias

Abdalati, W. and K. Steffen, 2001: Greenland ice sheet melt extent: 1979–1999. *J. Geophys. Res.*, **106**(D24), 33983–33988.

Abeku, T.A., G.J. van Oortmarssen, G. Borsboom, S.J. de Vlas and J.D.F. Habbema, 2003: Spatial and temporal variations of malaria epidemic risk in Ethiopia: factors involved and implications. *Acta Trop.*, **87**, 331-340.

Abou-Hadid, A.F., 2006: *Assessment of Impacts: Adaptation and Vulnerability to Climate Change in North Africa: Food Production and Water Resources*. Washington, DC, 127 pp. http://www.aiaccproject.org/Final%20Reports/Final%20Reports/FinalRept_AIACC_AF90.pdf.

Abou-Hadid, A.F., R. Mougou, A. Mokssit and A. Iglesias, 2003: *Assessment of Impacts, Adaptation, and Vulnerability to Climate Change in North Africa: Food Production and Water Resources*. AIACC AF90 Semi-Annual Progress Report, 37 pp.

Abu-Taleb, M.F., 2000: Impacts of global climate change scenarios on water supply and demand in Jordan. *Water International*, **25**(3), 457–463.

ACIA (Arctic Climate Impact Assessment), 2004: *Impacts of a Warming Arctic: Synthesis Report of the Arctic Climate Impact Assessment*, Policy Document prepared by the Arctic Council and presented at the Fourth Arctic Council Ministerial Meeting, Reykjavik, 24 November 2004, 140 pp.

ACIA (Arctic Climate Impact Assessment), 2005: *Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, 1042 pp.

ADB (Asia Development Bank), 1994: *Climate Change in Asia: Vietnam Country Report*. Asia Development Bank, Manila, 103 pp.

Adler, R.F. and Co-authors, 2003: The version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). *J. Hydrometeorol.*, **4**, 1147–1167.

AEMA**,** 2002: *Uso sostenible del agua en Europa. Gestión de la demanda*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 94 pp.

Agarwal, P.K., S.K. Bandyopadhyay, H. Pathak, N. Kalra, S. Chander and S. Kumar, 2000: Analysis of yield trends of the rice–wheat system in north-western India. *Outlook on Agriculture*, **29**(4), 259–268.

Agoumi, A., 2003: *Vulnerability of North African Countries to Climatic Changes: Adaptation and Implementation Strategies for Climatic Change,* IISD. http://www.cckn.net//pdf/north_africa.pdf.

Aguilar, E., T.C. Peterson, P. Ramírez Obando, R. Frutos, J.A. Retana, M. Solera, J. Soley, I. González García and co-authors, 2005: Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *J. Geophys. Res.*, **110**, D23107, doi:10.1029/2005JD006119.

Alcamo, J. and T. Henrichs, 2002: Critical regions: a model-based estimation of world water resources sensitive to global changes. *Aquat. Sci.*, **64**, 352-362.

Alcamo, J., P. Döll, T. Henrichs, F. Kaspar, B. Lehner, T. Rösch and S. Siebert, 2003a: Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrol. Sci. J.*, **48**, 317–338.

Alcamo, J., P. Döll, T. Henrichs, F. Kaspar, B. Lehner, T. Rösch and S. Siebert, 2003b: Global estimates of water withdrawals and availability under current and future "business-as-usual" conditions. *Hydrol. Sci. J.*, **48**, 339–348.

Alcamo, J. and Co-authors, 2004: A new perspective on the impacts of climate change on Russian agriculture and water resources. *Proc. World Climate Change Conference*, 29 September–3 October, 2003, Moscow, 324–335.

Alcamo, J., M. Flörke and M. Marker, 2007: Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic change. *Hydrol. Sci. J.*, **52**, 247–275.

Aldhous, P., 2004: Borneo is burning. *Nature*, **432**, 144–146.

Alexander, L.V., X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D.B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci and J.L. Vazquez-Aguirre, 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, **111**, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.

Allen Consulting Group, 2005: *Climate Change Risk and Vulnerability: Promoting an Efficient Adaptation Response in Australia*. Report to the Australian Greenhouse Office by the Allen Consulting Group, 159 pp. http://www.greenhouse.gov.au/impacts/publications/risk-vulnerability.html.

Alvarez, R., 2005: A review of nitrogen fertilizer and conservative tillage effects on soil organic storage. *Soil Use Manage.*, **21,** 38-52.

Álvarez Cobelas, M., J. Catalán and D. García de Jalón, 2005: Impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales. *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático,* J.M. Moreno, Ed., Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 113–146.

Ames, A., 1998: A documentation of glacier tongue variations and lake development in the Cordillera Blanca, Peru. *Z. Glet. Glazialgeol.*, **34**(1), 1–26.

Andréasson, J., S. Bergström, B. Carlsson, L.P. Graham and G. Lindström, 2004: Hydrological change: climate impact simulations for Sweden. *Ambio*, **33**(4–5), 228–234.

Andreone, F., J.E. Cadle, N. Cox, F. Glaw, R.A. Nussbaum, C.J. Raxworthy, S.N. Stuart amd D. Vallan, 2005: Species review of amphibian extinction risks in Madagascar: conclusions from the Global Amphibian Assessment. *Conserv. Biol.*, **19**, 1790–1802.

Anisimov, O.A. and M.A. Belolutskaia, 2004: Predictive modelling of climate change impacts on permafrost: effects of vegetation. *Meteorol. Hydrol.*, **11**, 73–81.

Antle, J.M., S.M. Capalbo, E.T. Elliott and K.H. Paustian, 2004: Adaptation, spatial heterogeneity, and the vulnerability of agricultural systems to climate change and CO_2 fertilization: an integrated assessment approach. *Climatic Change*, **64**, 289-315.

Aparicio, M., 2000: *Vulnerabilidad y Adaptación a la Salud Humana ante los Efectos del Cambio Climático en Bolivia*. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. Viceministerio de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Desarrollo Forestal. Programa Nacional de Cambios Climáticos. PNUD/GEF.

Arkell, B.P. and Darch, G.J.C., 2006: Impact of climate change on London's transport network. *Proc. Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer*, **159**(4), 231–237.

Arnell, N.W., 2003: Relative effects of multi-decadal climatic variability and changes in the mean and variability of climate due to global warming: future streamflows in Britain. *J. Hydrol.*, **270**, 195-213.

Arnell, N.W., 2004: Climate change and global water resources: SRES emissions and socio economic scenarios. *Global Environmen. Chang.*, **14**, 31–52.

Arnell, N.W., 2006a: Global impacts of abrupt climate change: an initial assessment. Working Paper 99, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, 37 pp.

Arnell, N.W., 2006b: Climate change and water resources: a global perspective. *Avoiding Dangerous Climate Change*, H.J. Schellnhuber, W. Cramer, N. Nakićenović, T. Wigley and G. Yohe, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 167-175.

Arnell, N.W. and E.K. Delaney, 2006: Adapting to climate change: public water supply in England and Wales, *Climatic Change*, **78**, 227-255.

Arnell, N.W., M.J.L. Livermore, S. Kovats, P.E. Levy, R. Nicholls, M.L. Parry and S.R. Gaffin, 2004: Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate change impacts assessments: characterising the SRES storylines. *Global Environ. Chang.*, **14**, 3–20.

Ashton, P.J., 2002: Avoiding conflicts over Africa's water resources, *Ambio*, **31**(3), 236–242.

Attaher, S., M.A. Medany, A.A. Abdel Aziz and A. El-Gindy, 2006: Irrigation-water demands under current and future climate conditions in Egypt. *Misr. Journal of Agricultural Engineering*, **23**, 1077-1089.

Auer, I. and Co-authors, 2007: Histalp - historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region 1760-2003. *Int. J. Climatol.*, **27**, 17-46.

Bachelet, D., R.P. Neilson, J.M. Lenihan and R.J. Drapek, 2001: Climate change effects on vegetation distribution and carbon budget in the United States. *Ecosystems*, **4**, 164-185.

Baker, T.R., O.L. Phillips, Y. Malhi, S. Almeida, L. Arroyo, A. Di Fiore, T. Erwin, N. Higuchi, and Co-authors, 2004: Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philos. T. Roy. Soc. Lond. B*, **359**, 353–365.

Balmford, A., P. Crane, A. Dobson, R.E. Green and G.M. Mace, 2005: The 2010 challenge: data availability, information needs and extraterrestrial insights. *Philos. T. Roy. Soc. Lond. B*, **360**, 221-228.

Barber, V.A., G.P. Juday and B.P. Finney, 2000: Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress. *Nature*, **405**, 668-673.

Barnett, T.P., R. Malone, W. Pennell, D. Stammer, B. Semtner and W. Washington, 2004: The effects of climate change on water resources in the West: introduction and overview. *Climatic Change*, **62**, 1–11.

Barnett, T.P., J.C. Adam and D.P. Lettenmaier, 2005: Potential impacts of warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, **438**, 303–309.

Barras, J., S. Beville, D. Britsch, S. Hartley, S. Hawes, J. Johnston, P. Kemp, Q. Kinler, A. Martucci, J. Porthouse, D. Reed, K. Roy, S. Sapkota and J. Suhayda, 2003: *Historical and Projected Coastal Louisiana Land Changes: 1978–2050*. Open File Report 03-334. U.S. Geological Survey. 39 pp.

Barreira, A., 2004: *Dams in Europe. The Water Framework Directive and the World Commission on Dam Recommendations: A Legal and Policy Analysis*. http://assets.panda.org/downloads/wfddamsineurope.pdf

Basán Nickisch, M., 2002: Sistemas de captación y manejo de agua. Estación Experimental Santiago del Estero. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. http://www.inta.gov.ar/santiago/info/documentos/agua/0001res_sistemas.htm.

Batima, P., 2003: Climate change: pasture–livestock. Synthesis Report. *Potential Impacts of Climate Change, Vulnerability and Adaptation Assessment for Grassland Ecosystem and Livestock Sector in Mongolia*. Admon Publishing, Ulaanbaatar, 36–47.

Batima, P., Batnasan N. and Lehner B., 2004: *The Freshwater Systems of Western Mongolia's Great Lakes Basin: Opportunities and Challenges in the Face of Climate Change*. Admon Publishing, Ulaanbaatar, 95 pp.

Batima, P., T. Ganbaatar, D. Tumerbaatar, B. Erdenetsetseg, B. Bolortsetseg, B. Gantsetseg, G. Sanjid and S. Khudulmur, 2005: Climate change impacts on environment. *Climate Change Impacts*, P. Batima and B. Bayasgalan, Eds., Admon Publishing, Ulaanbaatar, 59–115.

Bationo, A., S.P. Wani, C.L. Bielders, P.L.G. Velk and A.U. Mokwunye, 2000: Crop residues and fertilizer management to improve soil organic carbon content, soil quality and productivity in the desert margins of West Africa. *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*, R. Lal, J.M. Kimble and B.A. Stewart, Eds., CRC-Lweis Publishers, Boca Raton, FL, 117-146.

Bauder, E.T., 2005: The effects of an unpredictable precipitation regime on vernal pool hydrology. *Freshw. Biol.*, **50**, 2129–2135.

Beare, S. and A. Heaney, 2002: *Climate change and water resources in the Murray Darling Basin, Australia; impacts and adaptation*. Conference Paper 02.11, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, 33 pp. http://www.abarepublications.com/product.asp?prodid=12389.

Beaulieu, N. and M. Allard, 2003: The impact of climate change on an emerging coastline affected by discontinuous permafrost: Manitounuk Strait, northern Quebec. *Can. J. Earth Sci.*, **40**, 1393-1404.

Beck, C., J. Grieser and B. Rudolph, 2005: A New Monthly Precipitation Climatology for the Global Land Areas for the Period 1951 to 2000. DWD, *Klimastatusbericht 2004*, 181–190.

Beltaos, S. and Co-authors, 2006: Climatic effects on ice-jam flooding of the Peace-Athabasca Delta. *Hydrol. Process.*, **20**(19), 4031–4050.

Benhin, J.K.A., 2006: *Climate change and South African agriculture: impacts and adaptation options*. CEEPA Discussion Paper No.21. Special Series on Climate Change and Agriculture in Africa. The Centre for Environmental Economics and Policy in Africa, University of Pretoria, Pretoria, 78 pp.

Beniston, M. and H.F. Díaz, 2004: The 2003 heatwave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. *Global Planet. Change*, **44**, 73–81.

Beniston, M., D.B. Stephenson, O.B. Christensen, C.A.T. Ferro, C. Frei, S. Goyette, K. Halsnaes, T. Holt, K. Jylhä, B. Koffi, J. Palutikof, R. Schöll, T. Semmler and K. Woth, 2007: Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change,* **81**(Suppl. 1), 71-95.

Berezovskaya, S., D.Q. Yang and L. Hinzman, 2005: Long-term annual water balance analysis of the Lena River. *Global Planet. Change*, **48**(1–3), 84–95.

Berger, T., J. Mendoza, B. Francou, F. Rojas, R. Fuertes, M. Flores, L. Noriega, C. Ramallo, E. Ramírez and H. Baldivieso, 2005: Glaciares Zongo – Chacaltaya – Charquini Sur – Bolivia 16°S. Mediciones Glaciológicas, Hidrológicas y Meteorológicas, Año Hidrológico 2004-2005. *Informe Great Ice Bolivia, IRD-IHH-SENMAHI-COBEE*, 171.

Berndes, G. and P. Börjesson, 2002: Multi-functional biomass production systems. http://www.brdisolutions.com/pdfs/bcota/abstracts/6/70.pdf.

Berndes, G., F. Fredrikson, and P. Borjesson, 2004: Cadmium accumulation and Salix-based phytoextraction on arable land in

Sweden. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **103**, 207-223.

Berthelot, M., P. Friedlingstein, P. Ciais, P. Monfray, J.L. Dufresen, H.L. Treut and L. Fairhead, 2002: Global response of the terrestrial biosphere and CO_2 and climate change using a coupled climate-carbon cycle model. *Global Biogeochem. Cy.*, **16**, doi:10.1029/2001GB001827.

Betts, R.A., P.M. Cox, S.E. Lee and F.I. Woodward, 1997: Contrasting physiological and structural vegetation feedbacks in climate change simulations. *Nature*, **387**, 796–799.

Betts, R.A., O. Boucher, M. Collins, P.M. Cox, P.D. Falloon, N. Gedney, D.L. Hemming, C. Huntingford, C.D. Jones, D. Sexton and M. Webb, 2007: Projected increase in continental runoff due to plant responses to increasing carbon dioxide. *Nature,* **448**, 1037-1041.

Beuhler, M., 2003: Potential impacts of global warming on water resources in southern California. *Water Sci. Technol.*, **47**(7–8), 165–168.

Bhadra, B., 2002: Regional cooperation for sustainable development of Hindu Kush Himalaya region: opportunities and challenges. Keynote paper presented at *The Alpine Experience – An Approach for other Mountain Regions*, Berchtesgaden, Germany, June 26–29.

Bidegain, M., R.M. Caffera, F. Blixen, V.P. Shennikov, L.L. Lagomarsino, E.A. Forbes and G.J. Nagy, 2005: Tendencias climáticas, hidrológicas y oceanográficas en el Río de la Plata y costa Uruguaya. *El Cambio Climático en el Río de la Plata,* V. Barros A. Menéndez and G.J. Nagy, Eds., Proyectos AIACC, 137-143.

Bigio, A., 2003: Cities and climate change. *Building Safer Cities: The Future of Disaster Risk*, A. Kreimer, M. Arnold and A. Carlin, Eds., World Bank, Washington, DC, 91-100.

Bindoff, N., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C.L. Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L. Talley and A. Unnikrishnan, 2007: Observations: oceanic climate change and sea level. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 385-432.

Blais, J.M., D.W. Schindler, D.C.G. Muir, M. Sharp, D. Donald, M. Lafreniere, E. Braekevelt and W. M.J. Strachan, 2001: Melting glaciers: a major source of persistent organochlorines to subalpine Bow Lake in Banff National Park, Canada. *Ambio*, **30**, 410-415.

Blythe, E.M., A.J. Dolman and J. Noilhan, 1994: The effect of forest on mesoscale rainfall: an example from HAPEX-MOBILHY. *J. Appl. Meteorol.*, **33**, 445-454.

Bobba, A., V. Singh, R. Berndtsson and L. Bengtsson, 2000: Numerical simulation of saltwater intrusion into Laccadive Island aquifers due to climate change. *J. Geol. Soc. India*, **55**, 589–612.

Bodaly, R.A., J.W.M. Rudd, R.J.P. Fudge and C.A. Kelly, 1993: Mercury concentrations in fish related to size of remote Canadian shield lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **50**, 980-987.

Bogaart, P.W. and R.T. van Balen, 2000: Numerical modeling of the response of alluvial rivers to Quaternary climatic change. *Global Planet. Change*, **27**, 124–141.

Bogoyavlenskiy, D. and A. Siggner, 2004: Arctic demography. *Arctic Human Development Report (AHDR),* N. Einarsson, J.N. Larsen, A. Nilsson and O.R. Young, Eds., Steffanson Arctic Institute, Akureyri, 27–41.

Börjesson, P. and G. Berndes, 2006: The prospects for willow plantations for wastewater treatment in Sweden. *Biomass and Bioenergy*, **30**, 428-438.

Bouma, M.J., 2003: Methodological problems and amendments to demonstrate effects of temperature on the epidemiology of malaria: a new perspective on the highland epidemics in Madagascar, 1972–1989. *Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **97**, 133-139.

Bouraoui, F., B. Grizzetti, K. Granlund, S. Rekolainen and G. Bidoglio, 2004: Impact of climate change on the water cycle and nutrient losses in a Finnish catchment. *Climatic Change*, **66**, 109–126.

Boutkan, E. and A. Stikker, 2004: Enhanced water resource base for sustainable integrated water resource management. *Nat. Resour. Forum*, **28**, 150-154.

Bou-Zeid, E. and El-Fadel, M., 2002: Climate change and water resources in Lebanon and the Middle East. *J. Water Res. Pl.-ASCE*, **128**(5), 343–355.

Box, J.E. and Co-authors, 2006: Greenland ice-sheet surface mass balance variability (1988-2004) from calibrated polar MM5 output. *J. Clim.*, **19**(12), 2783–2800.

Bradley, R.S., F.T. Keimig and H.F. Diaz, 2004: Projected temperature changes along the American cordillera and the planned GCOS network. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L16210, doi:10.1029/2004GL020229.

Bradley, R.S., M. Vuille, H. Diaz and W. Vergara, 2006: Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science*, **312**, 1755-1756.

Braun, O., M. Lohmann, O. Maksimovic, M. Meyer, A. Merkovic, E. Messerschmidt, A. Reidel and M. Turner, 1999: Potential impact of climate change effects on preferences for tourism destinations: a psychological pilot study, *Clim. Res.*, **11**, 2477–2504.

Briers, R.A., J.H.R. Gee and R. Geoghegan, 2004: Effects of North Atlantic oscillation on growth and phenology of stream insects. *Ecography*, **27**, 811–817.

Brklacich, M., C. Bryant, B. Veenhof and A. Beauchesne, 1997: Implications of global climatic change for Canadian agriculture: a review and appraisal of research from 1984–1997. *Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*, Environment Canada, Toronto, ON, 220–256.

Bromley, C.J. and S. Currie, 2003: Analysis of subsidence at Crown Road, Taupo: a consequence of declining groundwater. *Proc. 25th New Zealand Geothermal Workshop*, Auckland University, 113-120.

Brouyere, S., G. Carabin and A. Dassargues, 2004: Climate change impacts on groundwater resources: modelled deficits in a chalky aquifer, Geer basin, Belgium. *Hydrogeol. J.*, **12**(2), 123–134.

Brown, R.A., N.J. Rosenberg, C.J. Hays, W.E. Easterling and L.O. Mearns, 2000: Potential production and environmental effects of switchgrass and traditional crops under current and greenhouse-altered climate in the central United States: a simulation study. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **78**, 31-47.

Brown, R.D. and R.O. Braaten, 1998: Spatial and temporal variability of Canadian monthly snow depths. *Atmos.-Ocean*, **36**, 37–54.

Bruinsma, J., 2003: *World Agriculture: Towards 2015/2030. An FAO Perspective*. Earthscan, London, 444 pp.

Brutsaert, W. and M.B. Parlange, 1998: Hydrologic cycle explains the evaporation paradox. *Nature*, **396**, 30.

Bunn, S.E. and Arthington, A.H., 2002: Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environ. Manage.*, **30**, 492–507.

Burger, R.L., 1992: *Chavin and the Origins of Andean Civilization*. Thames and Hudson, London, 240 pp.

Burke, E.J., S.J. Brown, and N. Christidis, 2006: Modelling the recent evolution of global drought and projections for the 21 st century with the Hadley Centre climate model. *J. Hydrometeorol.*, **7**, 1113–1125.

Burke, L. and J. Maidens, 2004: *Reefs at Risk in the Caribbean*. World Resources Institute, Washington, DC, 81 pp. http://archive.wri.org/publication_detail.cfm?pubid=3944.

Burke, L., E. Selig and M. Spalding, 2002: *Reefs at Risk in Southeast Asia*. World Resources Institute, Washington DC, 37 pp. http://www.wri.org/biodiv/pubs_description.cfm?PubID=3144.

Burkett, V.R. and J. Kusler, 2000: Climate change: potential impacts and interactions in wetlands of the United States. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, **36**, 313–320.

Burkett, V.R., D.A. Wilcox, R. Stottlemeyer, W. Barrow, D. Fagre, J. Baron, J. Price, J. Nielsen, C.D. Allen, D.L. Peterson, G. Ruggerone amd T. Doyle, 2005: Nonlinear dynamics in ecosystem response to climate change: case studies and policy implications. *Ecological Complexity*, **2**, 357–394.

Buttle, J., J.T. Muir and J. Frain, 2004: Economic impacts of climate change on the Canadian Great Lakes hydro-electric power producers: a supply analysis. *Can. Water Resour. J.*, **29**, 89–109.

Calder, I.R., 1990: *Evaporation in the Uplands*. John Wiley and Sons, Chichester, 148 pp.

Calder, I.R., 1992: Water use of eucalyptus – a review. *Growth and Water Use of Forest Plantations,* I.R. Calder, R.L. Hall and P.G. Adlard, Eds., John Wiley and Sons, Chichester, 167-179.

Caldwell, C.R., S.J. Britz and R.M. Mirecki, 2005: Effect of temperature, elevated carbon dioxide, and drought during seed development on the isoflavone content of dwarf soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] grown in controlled environments. *J. Agr. Food Chem.*, **53**(4), 1125–1129.

California Regional Assessment Group, 2002: *The Potential Consequences of Climate Variability and Change for California: The California Regional Assessment*. National Center for Ecological Analysis and Synthesis, University of California Santa Barbara, Santa Barbara, California, 432 pp. http://www.ncgia.ucsb.edu/pubs/CA_Report.pdf.

Callaghan, T.V., L.O. Björn, F.S. Chapin III, Y. Chernov, T.R. Christensen, B. Huntley, R. Ims, M. Johansson, D.J. Riedlinger, S. Jonasson, N. Matveyeva, W. Oechel, N. Panikov and G. Shaver, 2005: Arctic tundra and polar desert ecosystems. *Arctic Climate Impact Assessment (ACIA): Scientific Report*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 243-352.

Camilloni, I., 2005: Tendencias climáticas. *El Cambio Climático en el Río de la Plata*, V. Barros, A. Menéndez and G.J. Nagy, Eds., CIMA/CONICET-UBA, Buenos Aires, 13-19.

Canziani, O.F. and L.J. Mata, 2004: The fate of indigenous communities under climate change. UNFCCC Workshop on impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change. *Tenth Session of the Conference of Parties (COP-10)*, Buenos Aires, 3 pp.

Caran, S.C. and J.A. Nelly, 2006: Hydraulic engineering in prehistoric Mexico. *Sci. Am. Mag.*, **October**, 8 pp.

Carey, M., 2005: Living and dying with glaciers: people's historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Peru. *Global Planet. Change*, **47**, 122-134.

Cassman, K.G., A. Dobermann, D.T. Walters and H. Yang, 2003: Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, **28**, 315-358.

CCME, 2003: *Climate, Nature, People: Indicators of Canada's Changing Climate*. Climate Change Indicators Task Group of the Canadian Council of Ministers of the Environment, Canadian Council of Ministers of the Environment Inc., Winnipeg, Canada, 51 pp.

CDC (Centers for Disease Control), 2005: Vibrio illnesses after Hurricane Katrina: multiple states, August–September 2005. *MMWR–Morb. Mortal. Wkly. Rep.*, **54**, 928-931.

Census Bureau, 2004: *(U. S. Census Bureau), NP-T1. Annual Projections of the Total Resident Population as of July 1: Middle, Lowest, Highest, and Zero International Migration Series, 1999 to 2100*. Population Division, U.S. Census Bureau, Washington, D.C. 20233, Washington DC. http://www.census.gov/population/projections/nation/summary/np-t1.txt.

Cerri, C.C., M. Bernoux, C.E.P. Cerri and C. Feller, 2004: Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. *Soil Use Manage.*, **20,** 248-254.

Chan, N.W., 1986: Drought trends in northwestern peninsular Malaysia: is less rain falling? *Wallaceana*, **4**, 8-9.

Chang, H., C.G. Knight, M.P. Staneva and D. Kostov, 2002: Water resource impacts of climate change in southwestern Bulgaria. *GeoJournal*, **57**, 159–168.

Changnon, S.A., 2005: Economic impacts of climate conditions in the United States: past, present, and future – an editorial essay. *Climatic Change*, **68**, 1–9.

Changnon, S.A. and D. Changnon, 2000: Long-term fluctuations in hail incidences in the United States. *J. Climate*, **13**, 658–664.

Chappell, A. and C.T. Agnew 2004: Modelling climate change in West African Sahel rainfall (1931–90) as an artifact of changing station locations. *Int. J. Clim.*, **24**(5), 547–554.

Chattopadhyay, N. and M. Hulme, 1997: Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change. *Agric. For. Meteorol.*, **87**, 55–73.

Chauhan, M. and B. Gopal, 2001: Biodiversity and management of Keoladeo National Park (India): a wetland of international importance. *Biodiversity in Wetlands: Assessment, Function and Conservation*. Volume 2. Backhuys Publishers, Leiden, 217–256.

Checkley, W., L.D. Epstein, R.H. Gilman, D. Figueroa, R.I. Cama, J.A. Patz and R.E. Black, 2000: Effects of El Niño and ambient temperature on hospital admissions for diarrhoeal diseases in Peruvian children. *Lancet*, **355**, 442–450.

Cheikh, N., P.W. Miller and G. Kishore, 2000: Role of biotechnology in crop productivity in a changing environment. *Global Change and Crop Productivity*, K.R. Reddy and H.F. Hodges, Eds., CAP International, New York, 425-436.

Chen, C., D. Gillig and B.A. McCarl, 2001: Effects of climatic change on a water dependent regional economy: a study of the Texas Edwards Aquifer. *Climatic Change*, **49**, 397–409.

Chen, M., P. Xie, and J.E. Janowiak, 2002: Global land precipitation: a 50-yr monthly analysis based on gauge observations. *J. Hydrometeorol.*, **3**, 249–266.

Chen, Z., S. Grasby and K. Osadetz, 2004: Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada. *J. Hydrol.*, **290**(1–2), 43–62.

Chiew, F.H.S., T.I. Harrold, L. Siriwardenena, R.N. Jones and R. Srikanthan, 2003: Simulation of climate change impact on runoff using rainfall scenarios that consider daily patterns of change from GCMs. *MODSIM 2003: Proc. International Congress on Modelling and Simulation*, D.A. Post, Ed., Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, Canberra ACT, Townsville, 154–159.

Choi, O. and A. Fisher, 2003: The impacts of socioeconomic development and climate change on severe weather catastrophe losses: Mid-Atlantic Region MAR and the U.S. *Climatic Change*, **58**(1–2), 149–170.

Chomitz, K.M. and K. Kumari, 1996: *The domestic benefits of tropical forests: a critical review emphasizing hydrological functions*. Policy Research Working Paper, World-Bank, No. WPS1601, 41 pp.

Christensen, J.H. and O.B. Christensen, 2003: Severe summertime flooding in Europe. *Nature*, **421**, 805.

Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Koli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V.M. Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton, 2007: Regional climate projections. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 847-940.

Christensen, N.S., A.W. Wood, N. Voisin, D.P. Lettenmaier and R.N. Palmer, 2004: The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. *Climatic Change*, **62**(1–3), 337–363.

Ciais, P., M. Reichstein, N. Viovy, A. Granier, J. Ogee, V. Allard, M. Aubinet, N. Buchmann, et al., 2005: Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, **437**, 529–533.

City of New York, 2005: New York City's Water Supply System. The City of New York Department of Environmental Protection, New York, New York. http://www.ci.nyc.ny.us/html/dep/html/watersup.html.

Clark, M.E., K.A. Rose, D.A. Levine and W.W. Hargrove, 2001: Predicting climate change effects on Appalachian trout: combining GIS and individual-based modeling. *Ecol. Appl.*, **11**, 161-178.

Clarke, R. and J. King, 2004: *The Atlas of Water*. Earthscan, London, 128 pp.

Cohen, S., D. Neilsen and R. Welbourn, Eds., 2004: *Expanding the dialogue on climate change and water management in the Okanagan Basin, British Columbia*. Final Report 1 January 2002 to 30 June 2004. http://www.ires.ubc.ca/aird/documents/Okanagan2004-final.pdf.

Cohen, S.J., R. de Loë, A. Hamlet, R. Herrington, L.D. Mortsch and D. Shrubsole, 2003: *Integrated and cumulative threats to water availability. Threats to Water Availability in Canada*. National Water Research Institute, Burlington, Ontario, 117-127. http://www.nwri.ca/threats2full/ThreatsEN_03web.pdf.

COHIFE, 2003: Principios rectores de Política Hídrica de la República Argentina. *Acuerdo Federal del Agua, Consejo Hídrico Federal*, COHIFE 8, August 2003, Argentina.

Cole, C.V., K. Flach, J. Lee, D. Sauerbeck and B. Stewart, 1993: Agricultural sources and sinks of carbon. *Water Air Soil Poll.,* **70**, 111-122.

Coleman, J.M. and O.K. Huh, 2004: *Major World Deltas: A Perspective fromSpace*. Coastal Studies Institute, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana. http://www.geol.lsu.edu/WDD/PUBLICATIONS/introduction.htm

Compton, K., T. Ermolieva, and J.C. Linnerooth-Bayer, 2002: Integrated Disaster Risk Management: Megacity Vulnerability and Resilience, *Proc. Second Annual IIASA-DPRI Meeting*, IIASA Laxenburg, 20 pp.

Conde, C., D. Liverman, M. Flores, R. Ferrer, R. Araujo, E. Betancourt, G. Villareal and C. Gay, 1997: Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change. *Clim. Res.*, **9**, 17–23.

Conway, D., 2005: From headwater tributaries to international river: observing and adapting to climate variability and change in the Nile basin. *Global Environ. Chang.*, **15**, 99–114.

Cook, E.R., R.D. D'Arrigo and M.E. Mann, 2002: A well-verified, multiproxy reconstruction of the winter North Atlantic Oscillation index since A.D. 1400. *J. Clim.*, **15**, 1754–1764.

Cortazar, P.F., 1968: Documental del Perú, Departamento del Cusco, S.A. Ioppe. Ed., February 1968.

Cosgrove, W., R. Connor and J. Kuylenstierna, 2004: Workshop 3 (synthesis): climate variability, water systems and management options. *Water Sci. Techn.*, **7**, 129–132.

Coudrain, A., B. Francou and Z.W. Kundzewicz, 2005: Glacier shrinkage in the Andes and consequences for water resources: Editorial. *Hydrol. Sci. J.*, **50**(6), 925–932.

Crabbe, P. and M. Robin, 2006: Institutional adaptation of water resource infrastructures to climate change in Eastern Ontario. *Climatic Change*, **78**(1), 103–133.

Craig, M.H., I. Kleinschmidt, D. Le Sueur and B.L. Sharp, 2004: Exploring thirty years of malaria case data in KwaZulu-Natal, South Africa. Part II. The impact of non-climatic factors. *Trop. Med. Int. Health*, **9**, 1258-1266.

Cross, J., 2001: Megacities and small towns: different perspectives on hazard vulnerability. *Environmental Hazards*, **3**, 63–80.

CTIC, 1998: *17th Annual Crop Residue Management Survey Report*. Conservation Technology Information Center, West Lafayette, IN. http://www.ctic.purdue.edu.

Cullen, P., 2002: Living with water: sustainability in a dry land. *Adelaide Festival of Arts, Getting it Right Symposium, 1–12 March, 2002*.

Curriero, F., J.A. Patz, J.B. Rose and S. Lele, 2001: The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948–1994. *Am. J. Public Health*, **91**, 1194–1199.

Cury, P. and L. Shannon, 2004: Regime shifts in upwelling ecosystems: observed changes and possible mechanisms in the northern and southern Benguela. *Prog. Oceanogr.*, **60**, 223–243.

CWC (Central Water Commission), 2001: *Water and related statistics*, Report of the Ministry of Water Resources, New Delhi.

DAFF, 2006a: *National Water Initiative*. Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Australia. http://www.pmc.gov.au/water_reform/nwi.cfm.

DAFF, 2006b: Contours. Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Australia, 24 pp. http://www.daff.gov.au/__data/assets/pdf_file/0020/98201/contours-dec-06.pdf.

Dai, A. and K.E. Trenberth, 2002: Estimates of freshwater discharge from continents: Latitudinal and seasonal variations. *J. Hydrometeorol.*, **3**, 660–687.

Dai, A., P.J. Lamb, K.E. Trenberth, M. Hulme, P.D. Jones and P. Xie, 2004a: The recent Sahel drought is real. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1323—1331.

Dai, A., K.E. Trenberth and T. Qian, 2004b: A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J. Hydrometeorol.*, **5**, 1117–1130.

Dalal, R.C., W. Wang, G.P. Robertson and W.J. Parton, 2003: Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. *Australian J. Soil Res.*, **41**, 165-195.

Dang, H.H., A. Michaelowa and D.D. Tuan, 2003: Synergy of adaptation and mitigation strategies in the context of sustainable development: the case of Vietnam. *Clim. Policy*, **3**, S81-S96.

DaSilva, J., B. Garanganga, V. Teveredzi, S. Marx, S. Mason and S. Connor, 2004: Improving epidemic malaria planning, preparedness and response in Southern Africa. *Malaria J.*, **3**, 37.

Davis, J.R., Ed., 1997: *Managing Algal Blooms. Outcomes from CSIRO's Multi-Divisional Blue-Green Algae Program*. CSIRO Land and Water, Canberra, 113 pp.

de Wit, M. and J. Stankiewicz, 2006: Changes in surface water supply across Africa with predicted climate change. *Science Express*, doi:10.1126/science.1119929. http://www.scienceexpress.org.

Declerck, S., J. Vandekerkhove, L.S. Johansson, K. Muylaert, J.M. Conde-Porcuna, K. van der Gucht, C. Pérez-Martínez, T.L. Lauridsen, K. Schwenk, G. Zwart, W. Rommens, J. López-Ramos, E. Jeppesen, W. Vyverman, L. Brendonck and L. de Meester, 2005: Multi-group biodiversity in shallow lakes along gradients of phosphorus and water plant cover. *Ecology*, **86**, 1905–1915.

Delworth, T.L. and M.E. Mann, 2000: Observed and simulated multidecadal variability in the Northern Hemisphere. *Clim. Dyn.*, **16**, 661–676.

Dessai, S., X. Lu and J.S. Risbey, 2005: On the role of climate scenarios for adaptation planning. *Global Environ. Chang.*, **15**, 87–97.

DEUS, 2006: *NSW Government Water Savings Fund*. Department of Energy, Utilities and Sustainability, 17 pp. http://www.deus.nsw.gov.au/Publications/WaterSavingsFundR3Guide.pdf.

Dias de Oliveira, M.E., B.E. Vaughan, and E.J. Rykiel, Jr., 2005: Ethanol as fuel: energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint. *BioScience*, **55**, 593-602.

Diaz-Nieto, J. and R. Wilby, 2005: A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impact on low flows in the river Thames, United Kingdom. *Climatic Change*, **69**, 245–268.

Dinesh Kumar, P.K., 2006: Potential vulnerability implications of sea level rise for the coastal zones of Cochin, southwest coast of India. *Environ. Monit. Assess.*, **123**, 333–344.

DNPC, 2005/2006: Informe de las lluvias caídas en Venezuela en los meses de Febrero y marzo de 2005 y Febrero 2006. Dirección Nacional de Protección Civil, República Bolivariana de Venezuela.

Döll, P., 2002: Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic Change*, **54**, 269–293.

Döll, P. and M. Flörke, 2005: Global-scale estimation of diffuse groundwater recharge. *Frankfurt Hydrology Paper 03*, Institute of Physical Geography, Frankfurt University, Frankfurt.

Döll, P., M. Flörke, M. Mörker and S. Vassolo, 2003: Einfluss des Klimawandels auf Wasserressourcen und Bewässerungswasserbedarf: eine globale Analyse unter Berücksichtigung neuer Klimaszenarien (Impact of climate change on water resources and irrigation water requirements: a global analysis using new climate change scenarios). *Klima–Wasser–Flussgebietsmanagement – im Lichte der Flut*, H.-B. Kleeberg, Ed., *Proc. Tag der Hydrologie 2003 in Freiburg, Germany, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung,* 11–14.

Donevska, K. and S. Dodeva, 2004: Adaptation measures for water resources management in case of drought periods. *Proc. XXIInd Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. Brno, 30 August–2 September 2004, CD-edition.

Doran, P.T. and Co-authors, 2002: Antarctic climate cooling and terrestrial ecosystem response. *Nature*, **415**, 517–520.

Dore, M. and I. Burton, 2001: *The Costs of Adaptation to Climate Change in Canada: A Stratified Estimate by Sectors and Regions – Social Infrastructure*. Climate Change Laboratory, Brock University, St Catharines, ON, 117 pp.

Douglas, E.M., R.M. Vogel and C.N. Kroll, 2000: Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. *J. Hydrol.*, **240**(1–2), 90–105.

Dourojeanni, A., 2000: *Procedimientos de Gestión para el Desarrollo Sustentable*. ECLAC, Santiago, 376 pp.

Douville, H., F. Chauvin, S. Planton, J.F. Royer, D. Salas-Melia and S. Tyteca, 2002: Sensitivity of the hydrological cycle to increasing amounts of greenhouse gases and aerosols. *Clim. Dyn.*, **20**, 45–68.

Downing, T.E., R.E. Butterfield, B. Edmonds, J.W. Knox, S. Moss, B.S. Piper, E.K. Weatherhead and the CCDeW Project Team, 2003: *Climate change and the demand for water, Research Report*. Stockholm Environment Institute, Oxford Office, Oxford.

DPMC, 2004: *Water Reform*. Department of Prime Minister and Cabinet, Australia. http://www.dpmc.gov.au/nwi/index.cfm.

Drennen, P.M., M. Smith, D. Goldsworthy and J. van Staten, 1993: The occurrence of trahaolose in the leaves of the desiccation-tolerant angiosperm *Myronthamnus flabellifoliius* Welw. *J. Plant Physiol.*, **142**, 493-496.

du Plessis, C., D.K. Irurah and R.J. Scholes, 2003: The built environment and climate change in South Africa. *Build. Res. Inf.*, **31**(3–4), 240–256.

Duguay, C.R. and Co-authors, 2003: Ice-cover variability on shallow lakes at high latitudes: model simulations and observations. *Hydrol. Process.*, **17**, 3465–3483.

Duong, L.C., 2000: Lessons from severe tropical storm Linda, Workshop Report: "The Impact of El Niño and La Niña on Southeast Asia", 21–23 February, Hanoi.

Dwight, R.H., J.C. Semenza, D.B. Baker and B.H. Olson, 2002: Association of urban runoff with coastal water quality in Orange County, California. *Water Environ. Res.*, **74**, 82-90.

Dyurgerov, M. and M.F. Meier, 2005: *Glaciers and Changing Earth System: A 2004 Snapshot*. 58, INSTAAR, Boulder, CO.

Dyurgerov, M.B. and C.L. Carter, 2004: Observational evidence of increases in freshwater inflow to the Arctic Ocean. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, **36**(1), 117–122.

Eakin, H. and M.C. Lemos, 2006: Adaptation and the state: Latin America and the challenge of capacity – building under globalization. *Global Environ. Chang.*, **16**, 7–18.

Easterling, W.E., 2003: Observed impact of climate change in agriculture and forestry. *IPCC Workshop on the Detection and Attribution of the Effects of Climate Change*, GISS, New York, 54-55.

Ebi, K.L., D.M. Mills, J.B. Smith and A. Grambsch, 2006: Climate change and human health impacts in the United States: an update on the results of the US National Assessment. *Environ. Health Persp.*, **114**(9), 1318–1324

ECF (European Climate Forum) and Potsdam Institute, 2004: *Report on the Beijing Symposium on Article 2*, September, 2004.

Eckhardt, K. and U. Ulbrich, 2003: Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *J. Hydrol.*, **284**(1–4), 244–252.

EEA, 2004: *Impacts of Europe's changing climate: an indicator-based assessment*. EEA Report No 2/2004, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark (or: Luxembourg, Office for Official Publications of the EC), 107 pp.

EEA, 2005: *Vulnerability and adaptation to climate change in Europe*. EEA Technical Report No. 7/2005, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark (or: Luxembourg, Office for Official Publications of the EC).

Eheart, J.W. and D.W. Tornil, 1999: Low-flow frequency exacerbation by irrigation withdrawals in the agricultural Midwest under various climate change scenarios. *Water Resour. Res.*, **35**, 2237–2246.

Eid, H.M., S.M. El-Marsafawy and S.A. Ouda, 2006: *Assessing the Impacts of Climate Change on Agriculture in Egypt: a Ricardian Approach*. Centre for Environmental Economics and Policy in Africa (CEEPA) Discussion Paper No. 16, Special Series on Climate Change and Agriculture in Africa, University of Pretoria, Pretoria, 1-33.

Eisenreich, S.J., Ed., 2005: *Climate Change and the European Water Dimension*. Report to the European Water Directors. European Commission-Joint Research Centre, Ispra, 253 pp.

Eitzinger, J., M. Stastna, Z. Zalud and M. Dubrovsky, 2003: A simulation study of the effect of soil water balance and water stress in winter wheat production under different climate change scenarios. *Agric. Water Manage.*, **61**, 195-217.

El-Gindy, A., A.A. Abdel Azziz and E.A. El-Sahaar, 2001: *Design of Irrigation and Drainage Networks*. Faculty of Agriculture lectures, Ain Shams University, 28 pp (in Arabic).

Ellis, J., 1995: Climate variability and complex ecosystem dynamics; implications for pastoral development. *Living with Uncertainty: New Directions in Pastoral Development in Africa*, I. Scoones, Ed., Intermediate Technology Publications, London, 37-46.

Elpiner**,** L.I., 2004: Scenarios of human health changes under global hydroclimatic transformations. *Proc. Climate Change and Public Health in Russia in the XXI Century.* April 5–6, 2004, Publishing Company "Adamant", Moscow, 195–199 (in Russian).

Elsasser, H. and R. Burki, 2002: Climate change as a threat to tourism in the Alps. *Clim. Res.*, **20**, 253–257.

Elsasser, H., R. Bürki and B. Abegg, 2003: *Fifth World Conference on Sport and the Environment*, IOC/UNEP, Turin. http://www.unep.org/sport_env/Documents/torinobuerki.doc.

Enfield, D.B., A.M. Mestas-Nuñez and P.J Trimble, 2001: The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental US. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 2077–2080.

Environment Canada, 2001: *Threats to sources of drinking water and aquatic ecosystems health in Canada. National Water Research Report No.1*. National Water Resources Research Institute, Burlington, Ontario, 72 pp.

EPIQ (Environmental Policy and Institutional Strengthening Indefinite

Quantity, Water Policy Reform Activity, Agricultural Policy Reform Programme and Market-Based Incentives Team), 2002: Economic Instruments for Improved Water Resources Management in Egypt, Prepared for the United States Agency for International Development/Egypt, No. PCE-I-00-96-00002-00, 173 pp.

Ericson, J.P., C.J. Vorosmarty, S.L. Dingman, L.G. Ward and M. Meybeck, 2006: Effective sea-level rise and deltas: causes of change and human dimension implications. *Global Planet. Change*, **50**, 63–82.

Etchevers, P., C. Golaz, F. Habets and J. Noilhan, 2002: Impact of a climate change on the Rhone river catchment hydrology. *J. Geophys. Res.*, **107**, 4293, doi:10.1029/2001JD000490.

Evans, E., R. Ashley, J. Hall, E. Penning-Rowsell, A. Saul, P. Sayers, C. Thorne and A. Watkinson, 2004: *Foresight. Future Flooding. Scientific Summary: Volume 1. Future Risks and their Drivers*. Office of Science and Technology, London.

Falconer, I.R., 1997: Blue-green algae in lakes and rivers: their harmful effects on human health. *Australian Biologist*, **10**(2), 107–110.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2003: *World Agriculture Towards 2015/2030*. http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/004/y3557e/y3557e00.htm.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2004a: *Yearbook of Fishery Statistics 2002*. Capture Production, Vol. 94/1, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 654 pp.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2004b: *Yearbook of Fishery Statistics 2002*, Aquaculture production, Vol. 94/2, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 206 pp.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2004c: *Data Base*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2006: Third Session of the Sub-Committee on Aquaculture: Committee on Fisheries (COFI). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), New Delhi, India, 4-8 September.

Faruqui, N.I., A.K. Biswas and M.J. Bino, Eds., 2001: *Water Management in Islam*. United Nations University Press, Tokyo, 149 pp.

Fay, M., F. Ghesquiere and T. Solo, 2003b: Natural disasters and the urban poor. *IRDB En Breve*, **32**, The World Bank, 4 pp.

Fay, P.A., J.D. Carlisle, A.K. Knapp, J.M. Blair and S.L. Collins, 2003a: Productivity responses to altered rainfall patterns in a C-4-dominated grassland. *Oecologia*, **137**(2), 245–251.

Fedorov, A. and P. Konstantinov, 2003: Observations of surface dynamics with thermokarst initiation, Yukechi site, Central Yakutia. *Proc. VII International Permafrost Conference*, Switzerland, 21–25 July, 139–243.

Feng, S. and Q. Hu, 2004: Changes in agro-meteorological indicators in the contiguous United States: 1951-2000. *Theor. Appl. Climatol.*, **78**, 247-264.

Ferguson, G. and S.S. George, 2003: Historical and estimated ground water levels near Winnipeg, Canada and their sensitivity to climatic variability. *J. Am. Water Resour. As.*, **39**, 1249-1259.

Fink, A.H., T. Brücher, A. Krüger, G.C. Leckebusch, J.G. Pinto, and U. Ulbrich, 2004: The 2003 European summer heatwaves and drought: synoptic diagnosis and impacts. *Weather*, **59**, 209–216.

Fischer, G., M. Shah and H.V. Velthuizen, 2002a: *Climate Change and Agricultural Vulnerability*. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 152 pp.

Fischer, G., H. van Velthuizen, M. Shah and F.O. Nachtergaele, 2002b: *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results*. Research Report RR-02-02. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, 119 pp and CD-Rom.

Fischer, G., F.N. Tubiello, H. van Velthuizen and D. Wiberg, 2006: Climate change impacts on irrigation water requirements: global and regional effects of mitigation, 1990–2080. *Tech. Forecasting Soc. Ch.,* **74,** doi:10.1016/j.techfore.2006.05.021.

Fish, M.R., I.M. Cote, J.A. Gill, A.P. Jones, S. Renshoff and A. Watkinson, 2005: Predicting the impact of sea level rise on Caribbean sea turtle nesting habitat. *Conserv. Biol.*, **19**(2), 482–491.

Fleury, M.D., D. Charron, J. Holt, B. Allen and A. Maarouf, 2006: The role of ambient temperature in foodborne disease in Canada using time series methods *Int. J. Biometeorol.*, **50**, doi:10.1007/s00484-00006-00028-00489.

Folland, C. K., J.A. Renwick, M.J. Salinger, N. Jiang and N.A. Rayner, 2003: Trends and variations in South Pacific islands and ocean surface temperatures. *J. Climate*, **16**, 2859–2874.

Follett, R.F., 2001: Organic carbon pools in grazing land soils. *The Potential of U.S. Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. R.F. Follett, J.M. Kimble and R. Lal, Eds., Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 65-86.

Fosaa, A.M., M.T. Sykes, J.E. Lawesson and M. Gaard, 2004: Potential effects of climate change on plant species in the Faroe Islands, *Global Ecol. Biogeogr.*, **13**, 427–437.

Francou, B. and C. Vincent, 2006: Les glaciers à l'épreuve du climat. IRD/BELIN, Paris, 274 pp.

Francou, B., M. Vuille, P. Wagnon, J. Mendoza and J.-E. Sicart, 2003: Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the twentieth century: Chacaltaya, Bolivia, 16°S. *J. Geophys. Res.*, **108**, doi:10.1029/2002JD002959.

Frauenfeld, O.W., T. Zhang, R.G. Barry and D. Gilichinsky, 2004: Interdecadal changes in seasonal freeze and thaw depths in Russia. *J. Geophys. Res.*, **109**, doi:10.1029/2003JD004245.

Freibauer, A., M. Rounsevell, P. Smith and A. Verhagen, 2004: Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma,* **122**, 1-23.

Frich, P., L.V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A.M.G.K. Tank and T. Peterson, 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Clim. Res.*, **19**, 193–212.

Frolov, I., G. Alekseev and A. Danilov, 2004: Climate change in polar areas. *Proc. World Climate Change Conference*, Moscow, 29 September–3 October 2003, 484–490.

Fukushima, Y., 1987: Influence of forestation on mountainside at granite highlands. *Water Sci.*, **177**, 17-34.

Gagnon, A.S., K.E. Smoyer-Tomic and A. Bush, 2002: The El Niño Southern Oscillation and malaria epidemics in South America. *Int. J. Biometeorol.*, **46**, 81-89.

Gallagher, P. and L. Wood, 2003: *Proc. World Summit on Salmon*, June 10-13, 2003, Vancouver, British Columbia. http://www.sfu.ca/cstudies/science/summit.htm.

Gardner, T.A., I. Cote, G. Gill, A. Grant and A. Watkinson, 2003: Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science*, **301**, 958–960.

Gash, J.H.C. and W.J. Shuttleworth, 1991: Tropical deforestation: albedo and the surface energy balance. *Climatic Change*, **19**, 123-133.

Gavriliev, P.P. and P.V. Efremov, 2003: Effects of cryogenic processes on Yakutian landscapes under climate warming. *Proc. VII International Permafrost Conference*, Switzerland, 21–25 July, 277–282.

GDE (General Directorate of Environment, Comoros), 2002: *Initial National Communication on Climate Change*, Union des Comoros, Ministry of Development, Infrastructure, Post and Telecommunications.

Gedney, N., P.M. Cox, R.A. Betts, O. Boucher, C. Huntingford and P.A. Stott, 2006: Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records. *Nature*, **439**(7078), 835–838.

Genovese, G., C. Lazar and F. Micale, 2005: Effects of observed climate fluctuation on wheat flowering as simulated by the European

crop growth monitoring system (CGMS). *Proc. Workshop on Adaptation of Crops and Cropping Systems to Climate Change, 7-8 November 2005, Dalum Landbrugsskole, Odense, Denmark*. Nordic Association of Agricultural Scientists, 12 pp.

Genthon, C., G. Krinner and M. Sacchettini, 2003: Interannual Antarctic tropospheric circulation and precipitation variability. *Clim. Dyn.*, **21**, 289–307.

GEO-3, 2003: *Global Environmental Outlook*. United Nations Environmental Program, 279 pp. http://www.unep.org/geo/pdfs/GEO__lac2003English.pdf.

Georges, C., 2004: The 20th century glacier fluctuations in the Cordillera Blanca (Perú). *Arct. Antarct. Alp. Res.*, **36**(1), 100–107.

Geres, D., 2004: Analysis of the water demand management. *Proc. XXII Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. Brno, 30 August–2 September 2004. CD-edition.

Gerolomo, M. and M.F. Penna, 1999: Os primeiros cinco anos da setima pandemia de cólera no Brasil. *Informe Epid. SUS*, **8**(3), 49–58.

Gerten, D., S. Schaphoff, U. Haberlandt, W. Lucht and S. Sitch, 2004: Terrestrial vegetation and water balance: hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. *J. Hydrol.*, **286**(1–4), 249–270.

Gibson, J.J., T.D. Prowse and D.L. Peters, 2006: Partitioning impacts of climate and regulation on water level variability in Great Slave Lake. *J. Hydrol.*, **329**, 196-206.

Gilman, E., H. Van Lavieren, J. Ellison, V. Jungblut, L. Wilson, F.Ereki, G. Brighouse, J. Bungitak, E. Dus, M. Henry, I. Sauni, M. Kilman, E. Matthews, N.Teariki-Ruatu, S. Tukia, K. Yuknavage, 2006: Pacific island mangroves in a changing climate and rising sea. *UNEP Regional Sea Reports and Studies*, **179**, United Nations Environment Programme, Regional Sea 44 Programme, Nairobi, 45 pp.

Giorgi, F., X. Bi and J. Pal, 2004: Mean, interannual variability and trend in a regional climate change experiment over Europe. II: Climate change scenarios 2071–2100. *Clim. Dyn.*, **23,** doi:10.1007/s00382-004-0467-0.

Gitay, H., S. Brown, W. Easterling and B. Jallow, 2001: Ecosystems and their goods and services. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 237-342.

Gitay, H., A. Suárez, R.T. Watson and D.J. Dokken, Eds., 2002: *Climate Change and Biodiversity*. IPCC Technical Paper V, IPCC, Geneva, 85 pp.

Githeko, A.K. and W. Ndegwa, 2001: Predicting malaria epidemics in Kenyan highlands using climate data: a tool for decision makers. *Global Change Human Health*, **2**, 54-63.

Glantz, M.H., Ed., 2001: *Once Burned, Twice Shy? Lessons Learned from the 1997–98 El Niño*, United Nations University, 294 pp.

Gnadlinger, J., 2003: *Captação e Manejo de Água de Chuva e Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido Brasileiro - Uma Visão Integrada*, 4º Simpósio Brasileiro de captação e Manejo de água de chuva. 9-12/07/2003. Juazeiro, BA, 2003.

Goldenberg, S.B. and Co-authors, 2001: The recent increase in Atlantic hurricane activity: causes and implications. *Science*, **293**, 474–479.

Golubev, V.S. and Co-authors, 2001: Evaporation changes over the contiguous United States and the former USSR: a reassessment. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 2665–2668.

Gonzalez, P., 2001. Desertification and a shift of forest species in the West African Sahel. *Clim. Res.*, **17**, 217–228

Good, P., L. Bärring, C. Giannakopoulos, T. Holt and J. Palutikof, 2006: Non-linear regional relationships between climate extremes and annual mean temperatures in model projections for 1961-2099 over Europe. *Clim. Res.*, **31**, 19–34.

Gordon, W. and J.S. Famiglietti, 2004: Response of the water balance to climate change in the United States over the 20th and 21st centuries: results from the VEMAP phase 2 model intercomparisons. *Global Biogeochem. Cy.*, **181**, GB1030.

Gorham, E., 1991: Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecol. Appl.*, **1**, 182–195.

Government of South Australia, 2005: *Water Proofing Adelaide: A Thirst for Change 2005–2025*. Government of SA, 64 pp. http://www.waterproofingadelaide.sa.gov.au/pdf/wpa_Strategy.pdf.

Government of Western Australia, 2003: *Securing our Water Future: A State Water Strategy for Western Australia*. Government of WA, 64 pp. http://dows.lincdigital.com.au/files/State_Water_Strategy_complete_001.pdf.

Government of Western Australia, 2006: *Draft State Water Plan*. Government of WA, 88 pp. http://dows.lincdigital.com.au/files/Draft%20State%20Water%20Plan.pdf.

Graham, N.A.J., S.K. Wilson, S. Jennings, N.V.C. Polunin, J.P. Bijoux and J. Robinson, 2006: Dynamic fragility of oceanic coral reef ecosystems. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 8425–8429.

Graves, H. M. and M. C. Phillipson, 2000: Potential implications of climate change in the built environment. *FBE Report* **2**. Building Research Establishment Press, London, 74 pp.

Green, R.E., S.J. Cornell, J.P.W. Scharlemann and A. Balmford, 2005: Farming and the fate of wild nature. *Science*, **307**, 550-555.

Greenwood, E.A.N., L.B. Klein, J.D. Beresford and G.D. Watson, 1985: Differences in annual evaporation between grazed pasture and eucalyptus species in plantation on a saline farm catchment. *J. Hydrol.*, **78**, 261-278.

Gregorich, E.G., P. Rochette, A.J. van den Bygaart and D.A. Angers, 2005: Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. *Soil and Tillage Res.*, **83**, 53-72.

Griffiths, G.M., M.J. Salinger and I. Leleu, 2003: Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific Convergence Zone. *J. Climatol.*, **23**, 847–869.

Gritti, E.S., B. Smith and M.T. Sykes., 2006: Vulnerability of Mediterranean Basin ecosystems to climate change and invasion by exotic plant species. *J. Biogeogr.*, **33**, 145–157.

Groisman, P.Y., R.W. Knight, T.R. Karl, D.R. Easterling, B. Sun and J.H. Lawrimore, 2004: Contemporary changes of the hydrological cycle over the contiguous United States: trends derived from *in situ* observations. *J. Hydrometeorol.*, **5**, 64–85.

Groisman, P.Y. and Co-authors, 2005: Trends in intense precipitation in the climate record. *J. Clim.*, 18, 1326–1350.

Gruza, G. and E. Rankova, 2004: Detection of changes in climate state, climate variability and climate extremity, in *Proc. World Climate Change Conference*, 29 September–3 October, 2003, Moscow, 90–93.

Gueye, L., M. Bzioul and O. Johnson, 2005: Water and sustainable development in the countries of Northern Africa: coping with challenges and scarcity. *Assessing Sustainable Development in Africa*, Africa's Sustainable Development Bulletin, Economic Commission for Africa, Addis Ababa, 24-28.

Guo, Q.X., J.L. Li, J.X. Liu and Y.M. Zhang, 2001: The scientific significance of the forest vegetation ecotone between Daxing'an and Xiaoxing'an Mountains to global climate change study. *J. Forestry, Northeast University*, **29**(5), 1–4.

Gupta, S.K. and R.D. Deshpande, 2004: Water for India in 2050: first-order assessment of available options. *Current Sci.*, **86**(9), 1216–1224.

Gutiérrez Teira, B., 2003: Variaciones de las comunidades y poblaciones de macroinvertebrados del tramo alto del río manzanares a causa de la temperatura. Posibles efectos del cambio climático. *Tesis*

Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.

GWP (Global Water Partnership), 2002: *Dialogue on Effective Water Governance*, GWP, 6 pp.

Haeberli, W. and C. Burn, 2002: Natural hazards in forests - glacier and permafrost effects as related to climate changes. *Environmental Change and Geomorphic Hazards in Forests,* R.C. Sidle, Ed., IUFRO Research Series, 9, 167-202.

Hales S., N. de Wett, J. Maindonald and A. Woodward, 2002: Potential effect of population and climates change models on global distribution of dengue fever: an empirical model. *Lancet*, **360**, 830-834.

Hall, C.J. and C.W. Burns, 2002: Mortality and growth responses of *Daphnia carinata* to increases in temperature and salinity. *Freshw. Biol*., **47**, 451–458.

Hall, G., R. D'Souza and M. Kirk, 2002: Foodborne disease in the new millennium: out of the frying pan and into the fire? *Med. J. Australia*, **177**, 614-618.

Hall, J.W., P.B. Sayers and R.J. Dawson, 2005: National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales. *Nat. Hazards*, **36**, 147–164.

Hamlet, A.F., 2003: The role of transboundary agreements in the Columbia River Basin: an integrated assessment in the context of historic development, climate, and evolving water policy. *Climate, Water, and Transboundary Challenges in the Americas*, H. Diaz and B. Morehouse, Eds., Kluwer Press, Dordrecht, 263-289.

Harding, R.J., 1992: The modification of climate by forests. *Growth and Water Use of Forest Plantations,* I.R. Calder, R.L. Hall and P.G. Adlard, Eds., John Wiley and Sons, Chichester, 332-346.

Hareau, A., R. Hofstadter and A. Saizar, 1999: Vulnerability to climate change in Uruguay: potential impacts on the agricultural and coastal resource sectors and response capabilities. *Clim. Res*., **12**, 185–193.

Harman, J., M. Gawith and M. Calley, 2005: Progress on assessing climate impacts through the UK Climate Impacts Programme, *Weather*, **60**, 258–262.

Harrison, G.P. and H.W. Whittington, 2002: Susceptibility of the Batoka Gorge hydroelectric scheme to climate change. *J. Hydrol*., **264**(1–4), 230–241.

Hartmann, J., K. Ebi, J. McConnell, N. Chan and J.P. Weyant, 2002: Stable malaria transmission in Zimbabwe under different climate change scenarios. *Global Change and Human Health*, **3**, 2–14.

Hatfield, J.L. and J.H. Pruger, 2004: Impacts of changing precipitation patterns on water quality. *J. Soil Water Conserv*., **59**, 51-58.

Hay, S.I., D.J. Rogers, S.E. Randolph, D.I. Stern, J. Cox, G.D. Shanks and R.W. Snow, 2002a: Hot topic or hot air? Climate change and malaria resurgence in East African highlands. *Trends Parasitol*., **18**, 530-534.

Hay, S.I., J. Cox, D.J. Rogers, S.E. Randolph, D.I. Stern, G.D. Shanks, M.F. Myers and R.W. Snow, 2002b: Climate change and the resurgence of malaria in the East African highlands. *Nature*, **415**, 905-909.

Hay, S.I., G.D. Shanks, D.I. Stern, R.W. Snow, S.E. Randolph and D.J. Rogers, 2005: Climate variability and malaria epidemics in the highlands of East Africa. *Trends Parasitol*., **21**, 52-53.

Hayhoe, K. and Co-authors, J.H., 2004: Emissions pathways, climate change, and impacts on California. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **101**, 12422-12427.

Haylock, M.R. and C.M. Goodess, 2004: Interannual variability of extreme European winter rainfall and links with mean large-scale circulation. *Int. J. Climatol*., **24**, 759–776.

Haylock, M.R., T. Peterson, L.M. Alves, T. Ambrizzi, Y.M.T. Anunciação, J. Baez, V.R. Barros, M.A. Berlato and Co-authors, 2006: Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *J. Climate*, **19**, 1490-1512.

Helgason, B.L., H.H. Janzen, M.H. Chantigny, C.F. Drury, B.H. Ellert, E.G. Gregorich, Lemke, E. Pattey, P. Rochette and C. Wagner-Riddle, 2005: Toward improved coefficients for predicting direct N_2O emissions from soil in Canadian agroecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **71**, 7-99.

Helms, M., B. Büchele, U. Merkel and J. Ihringer, 2002: Statistical analysis of the flood situation and assessment of the impact of diking measures along the Elbe (Labe) river. *J. Hydrol*., **267**, 94–114.

Hemp, A., 2005: Climate change-driven forest fires marginalize the impact of ice cap wasting on Kilimanjaro. *Glob. Change Biol*., **11**, 1013-1023.

Hendy, C. and J. Morton, 2001: Drought-time grazing resources in Northern Kenya. *Pastoralism, Drought and Planning: Lessons from Northern Kenya and Elsewhere*, J. Morton, Ed., Natural Resources Institute, Chatham, 139-179.

Herath, S. and U. Ratnayake, 2004: Monitoring rainfall trends to predict adverse impacts: a case study from Sri Lanka (1964–1993). *Global Environ. Change*, **14**, 71–79.

Herron, N., R. Davis and R. Jones, 2002: The effects of large-scale afforestation and climate change on water allocation in the Macquarie River catchment, NSW, Australia. *J. Environ. Manage*., **65**, 369–381.

Hewitt, K., 2005: The Karakoram anomaly? Glacier expansion and the "elevation effect", Karakoram Himalaya. *Mountain Research and Development*, **25**(4), 332–340.

Hibbert, A.R., 1967: Forest treatment effects on water yield. *Forest Hydrology. Proc. International Symposium on Forest Hydrology,* W.E. Sopper and H.W. Lull, Eds., Forest hydrology, Pergamon Press, London, 527-543.

Higashi, H., K. Dairaku and T. Matuura, 2006: Impacts of global warming on heavy precipitation frequency and flood risk, *Jour. Hydroscience and Hydraulic Engineering*, **50**, 205–210.

Hild, C. and V. Stordhal, 2004: Human health and well-being. *Arctic Human Development Report (AHDR)*. N. Einarsson, J.N. Larsen, A. Nilsson and O.R. Young, Eds., Steffanson Arctic Institute, Akureyri, 155-168 pp.

Hinzman, L., N. Bettez, W. Bolton, F. Chapin, M. Dyurgerov, C. Fastie, B. Griffith, R. Hollister and Co-authors., 2005: Evidence and implications of recent climate change in northern Alaska and other Arctic regions. *Climatic Change*, **72**, 251–298.

Hoanh, C.T., H. Guttman, P. Droogers and J. Aerts, 2004: Will we produce sufficient food under climate change? Mekong Basin (South-east Asia). *Climate Change in Contrasting River Basins: Adaptation Strategies for Water, Food, and Environment*, Aerts, J.C.J.H. Aerts and P. Droogers, Eds., CABI Publishing, Wallingford, 157–180.

Hobbins, M.T., J.A. Ramirez, and T.C. Brown, 2004: Trends in pan evaporation and actual evapotranspiration across the conterminous U.S.: Paradoxical or complementary? *Geophys. Res. Lett*., **31**, L13503, doi:10/10029/2004GL019846.

Hock, R., P. Jansson and L. Braun, 2005: Modelling the response of mountain glacier discharge to climate warming. *Global Change and Mountain Regions: A State of Knowledge Overview.* Advances in Global Change Series, U.M. Huber, M.A. Reasoner and H. Bugmann, Eds., Springer, Dordrecht, 243–252.

Hodgkins, G.A., R.W. Dudley and T.G. Huntington, 2003: Changes in the timing of high river flows in New England over the 20th century. *J. Hydrol*., **278**(1–4), 244–252.

Hodgkins, G.A., R.W. Dudley and T.G. Huntington, 2005: Summer low flows in New England during the 20th century. *J. Am. Water Resourc. Assoc*., **41**(2), 403–412.

Hoelzle, M., W. Haeberli, M. Dischl and W. Peschke, 2003: Secular glacier mass balances derived from cumulative glacier length

changes. *Global Planet. Change*, **36**, 295–306.
Holden, N.M., A.J. Brereton, R. Fealy and J. Sweeney, 2003: Possible change in Irish climate and its impact on barley and potato yields. *Agric. For. Meteorol.*, **116**, 181–196.
Hood, A. and Co-authors, 2002: Options for Victorian Agriculture in a "New" Climate: *A Pilot Study Linking Climate Change Scenario Modelling* and *Land Suitability Modelling*. Volume One - *Concepts and Analysis*. 62 pp. Volume Two - *Modelling Outputs*. Department of Natural Resources and Environment – Victoria, Australia, 83 pp.
Hoogwijk, M., 2004: *On the Global and Regional Potential of Renewable Energy Sources*. PhD thesis, Copernicus Institute, Utrecht University, Utrecht, 256 pp.
Hoogwijk, M., A. Faaij, B. Eickhout, B. de Vries and W. Turkenburg, 2005: Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass and Bioenergy,* **29**, 225-257.
Hooijer, M., F. Klijn, G.B.M. Pedroli and A.G. van Os, 2004: Towards sustainable flood risk management in the Rhine and Meuse river basins: synopsis of the findings of IRMA-SPONGE. *River Res. Appl.*, **20**, 343–357.
Hortle, K. and S. Bush, 2003: Consumption in the Lower Mekong Basin as a measure of fish yield. *New Approaches for the Improvement of Inland Capture Fishery Statistics in the Mekong Basin*, T. Clayton, Ed., FAO RAP Publication 2003/01, Bangkok, 76-88.
Howe, A.D., S. Forster, S. Morton, R. Marshall, K.S. Osborn, P. Wright and P.R. Hunter, 2002: *Cryptosporidium* oocysts in a water supply associated with a cryptosporidiosis outbreak. *Emerg. Infect. Dis.*, **8**, 619–624.
Howe, C., R.N. Jones, S. Maheepala and B. Rhodes, 2005: *Implications of Potential Climate Change for Melbourne's Water Resources*. CSIRO Urban Water, CSIRO Atmospheric Research and Melbourne Water, Melbourne, 26 pp.
Hu, D.X., W.Y. Han and S. Zhang, 2001: *Land–Ocean Interaction in Changjiang and Zhujiang Estuaries and Adjacent Sea Areas*. China Ocean Press, Beijing, 218 pp (in Chinese).
Huang, H.J., F. Li, J.Z. Pang, K.T. Le and S.G. Li, 2005: *Land–Ocean Interaction between Huanghe Delta and Bohai Gulf and Yellow Sea*. China Science Press, Beijing, 313 pp (in Chinese).
Huang, Z.G. and Xie X.D., 2000: *Sea Level Changes in Guangdong and its Impacts and Strategies*. Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou, 263 pp.
Huffaker, R., 2005: Finding a modern role for the prior appropriation doctrine in the American West. *Water Institutions: Policies, Performance and Prospects,* C. Gopalakrishnan, C. Tortajada and A.K. Biswas, Eds., Springer, Berlin, 187–200.
Hunt, M., 2005: *Flood Reduction Master Plan,* Presented to the City of Peterborough City Council, Peterborough, Canada.
Hunter, P.R., 2003: Climate change and waterborne and vector-borne disease. *J. Appl. Microbiol.*, **94**, 37S–46S.
Huntington, T.G., 2006: Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *J. Hydrol.*, **319**, 83–95.
Hurrell, J.W. and Co-authors, 2003: An overview of the North Atlantic Oscillation. *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*, J.W. Hurrell and Co-authors, Eds., Geophysical Monograph 134, American Geophysical Union, Washington, DC, 1–35.
Hurtado-Díaz, M., H. Riojas-Rodríguez, S.J. Rothenberg, H. Gomez-Dantés and E. Cifuentes-García, 2006: Impacto de la variabilidad climática sobre la incidencia del dengue en México. *International Conference on Environmental Epidemiology and Exposure*, Paris.
Huston, M.A. and G. Marland, 2003: Carbon management and biodiversity. *J. Environ. Manage.*, **67**, 77-86.
Hyvarinen,V., 2003: Trend and characteristics of hydrological time series in Finland. *Nordic Hydrol.,* **34**, 71-91.
Iafiazova, R.K., 1997: Climate change impact on mud flow formation in Trans-Ili Alatay mountains. *Hydrometeorology and Ecology*, **3**, 12–23 (in Russian).
ICID (International Commission on Irrigation and Drainage, New Delhi), 2005: *Water Policy Issues of Egypt*, Country Policy Support Programme, 36 pp.
Iglesias, A., T. Estrela and F. Gallart, 2005: Impactos sobre los recursos hídricos. *Evaluación Preliminar de los Impactos en España for Efecto del Cambio Climático*, J.M. Moreno, Ed., Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 303–353.
Inouye, D.W., B. Barr, K.B. Armitage and B.D. Inouye, 2000: Climate change is affecting altitudinal migrants and hibernating species. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **97**(4), 1630–1633.
Instanes, A. and Co-authors, 2005: Infrastructure: buildings, support systems, and industrial facilities. *Arctic Climate Impact Assessment, ACIA*. C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 907–944.
IOCI, 2002: *Climate Variability and Change in SouthWest Western Australia*. Indian Ocean Climate Initiative. Perth, Australia, 36 pp. http://www.ioci.org.au/publications/pdf/IOCI_CVCSW02.pdf.
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2000: *Land Use, Land-Use Change and Forestry*, R. T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo and D. J. Dokken, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 375 pp.
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001a: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 881 pp.
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001b: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 1032 pp.
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001c: *Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, B. Metz, O. Davidson, R. Swart and J. Pan, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 760 pp.
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007a: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 996 pp.
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007b: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 976 pp.
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007c: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, B. Metz, O. Davidson, P.Bosch, R. Dave and L. Meyer, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 851 pp.
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007d: *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Core Writing Team, R.K Pachauri and A. Reisinger, Eds., IPCC, Geneva, 102 pp.
IRDB, 2000: *Gestión de los Recursos Hídricos de Argentina.*

Elementos de Política para su Desarrollo Sustentable en el siglo XXI. Oficina Regional de América Latina y Caribe. Unidad Departamental de Argentina y los Grupos de Finanzas, Sector Privado y Infraestructura, y Medio Ambiente y Desarrollo Social Sustentable. Informe No. 20.729-AR. August 2000.

Isensee, A.R. and A.M. Sadeghi, 1996: Effect of tillage reversal on herbicide leaching to groundwater. *Soil Sci*., **161**, 382-389.

Ivanov, B. and T. Maximov, Eds., 2003: *Influence of Climate and Ecological Changes on Permafrost Ecosystems*. Yakutsk Scientific Center Publishing House, Yakutsk, 640 pp.

Ivey, J.L., J. Smithers, R.C. de Loe and R.D. Kreutzwiser, 2004: Community capacity for adaptation to climate-induced water shortages: linking institutional complexity and local actors. *Environ. Manage*., **33**(1), 36–47.

Izrael, Y.A. and Y.A. Anokhin, 2001: Climate change impacts on Russia. *Integrated Environmental Monitoring*, Nauka, Moscow, 112–127 (in Russian with an English abstract).

Izrael, Y.A., Y.A. Anokhin and A.V. Pavlov, 2002: Permafrost evolution and the modern climate change. *Meteorol. Hydrol*., **1**, 22–34.

Jackson, R.B., E.G. Jobbágy, R. Avissar, S. Baidya Roy, D. Barrett, C.W. Cook, K.A. Farley, D.C. le Maitre, B.A. McCarl and B.C. Murray, 2005: Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science*, **310**, 1944-1947.

Jansson, P., R. Hock and T. Schneider, 2003: The concept of glacier storage: a review. *J. Hydrol*., **282**, 116–129.

Jasper, K., P. Calanca, D. Gyalistras and J. Fuhrer, 2004: Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine rivers. *Clim. Res*., **26**, 113–125.

Jenkins, B., 2006: Overview of Environment Canterbury water issues. managing drought in a changing climate. *Royal Society of New Zealand Drought Workshop, 10 April 2006*, Christchurch, NZ. http://www.rsnz.org/advisory/nz_climate/workshopApr2006/.

Jeppesen, E., J.P. Jensen and M. Søndergaard, 2003: Climatic warming and regime shifts in lake food webs: some comments. *Limnol. Oceanogr*., **48**, 1346–1349.

Jiménez, B., 2003: Health risks in aquifer recharge with recycle water. *State of the Art Report Health Risk in Aquifer Recharge using Reclaimed Water,* R. Aertgeerts and A. Angelakis, Eds., WHO Regional Office for Europe, 54–172.

Jin, Z.Q., C.L. Shi, D.K. Ge and W. Gao, 2001: Characteristic of climate change during wheat growing season and the orientation to develop wheat in the lower valley of the Yangtze River. *Jiangsu J. Agric. Sci*., **17**(4), 193–199.

Jiongxin, X., 2003: Sediment flux to the sea as influenced by changing human activities and precipitation: example of the Yellow River, China. *Environ. Manage*, **31**, 328–341.

Johannessen, O.M., Khvorostovsky, K., Miles, M.W. and Bobylev, L.P., 2005: Recent ice-sheet growth in the interior of Greenland. *Science*, **310**(5750), 1013–1016.

Johnson, W.C., B.V. Millett, T. Gilmanov, R.A. Voldseth, G.R. Guntenspergen and D.E. Naugle, 2005: Vulnerability of northern prairie wetlands to climate change. *BioScience*, **55**(10), 863–872.

Jones, B. and D. Scott, 2006: Implications of climate change to Ontario's provincial parks. *Leisure*, **30** (1), 233-261.

Jones, J.A. and G.E. Grant, 1996: Peak flow response to clear-cutting and roads in small and large basins, western Cascades, Oregon. *Water Resourc. Res*., **32**, 959-974.

Jones, M.L., B.J. Shuter, Y.M. Zhao and J.D. Stockwell, 2006: Forecasting effects of climate change on Great Lakes fisheries: models that link habitat supply to population dynamics can help. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*., **63**, 457-468.

Jones, P.D., T.J. Osborn and K.R. Briffa, 2003a: Pressure-based measures of the North Atlantic Oscillation (NAO): A comparison and an assessment of changes in the strength of the NAO and in its influence on surface climate parameters. *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*, Hurrell, J.W. and Co-authors, Eds., Geophysical Monograph 134, American Geophysical Union, Washington, DC, 51–62.

Jones, P.D., D.H. Lister, K.W. Jaggard and J.D. Pidgeon, 2003b: Future climate impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. *Climatic Change*, **58**, 93–108.

Jones, R. and P. Durack, 2005: *Estimating the Impacts of Climate Change on Victoria's Runoff using a Hydrological Sensitivity Model*. Consultancy Report for the Victorian Department of Sustainability and Environment, 50 pp.

Jones, R.N. and C.M. Page, 2001: Assessing the risk of climate change on the water resources of the Macquarie River catchment. *Integrating Models for Natural Resources Management Across Disciplines: Issues and Scales*, F. Ghassemi, P.H. Whetton, R. Little and M. Littleboy, Eds., Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, Canberra, 673–678.

Jordan, E., 1991: *Die gletscher der bolivianischen Anden: eine photogrammetrisch-kartographische Bestandsaufnahme der Gletscher Boliviens als Grundlage für klimatische Deutungen und Potential für die wirtschaftliche Nutzung (The Glaciers of the Bolivian Andes, A Photogrammetric-Cartographical Inventory of the Bolivian Glaciers as a Basis for Climatic Interpretation and Potential for Economic Use)*. Erdwissenschaftliche Forschung 23, Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 401 pp.

Jorgenson, M.T., C.H. Racine, J.C. Walters and T.E. Osterkamp, 2001: Permafrost degradation and ecological changes associated with a warming climate in central Alaska. *Climatic Change*, **48**(4), 551–571.

Justic, D., N.N. Rabalais and R.E. Turner, 2005: Coupling between climate variability and coastal eutrophication: evidence and outlook for the northern Gulf of Mexico. *J. Sea Res*., **54**(1), 25–35.

Kabat, P., R.E. Schulze, M.E. Hellmuth and J.A. Veraart, Eds., 2002: *Coping with Impacts of Climate Variability and Climate Change in Water Management: a Scoping Paper.* DWC Report No. DWCSSO-01(2002), International Secretariat of the Dialogue on Water and Climate, Wageningen.

Kajiwara, M., T. Oki and J. Matsumoto, 2003: *Inter-annual Variability of the Frequency of Severe Rainfall in the Past 100 Years over Japan*. Extended abstract for a bi-annual meeting of the Meteorological Society of Japan (in Japanese).

Kanai, S., T. Oki and A. Kashida, 2004: Changes in hourly precipitation at Tokyo from 1890 to 1999. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 241–247.

Kane, R.P., 2002: Precipitation anomalies in southern America associated with a finer classification of El Niño and La Niña events. *Int. J. Climatol*., **22**, 357-373.

Kang, G., B.S. Ramakrishna, J. Daniel, M. Mathan and V. Mathan, 2001: Epidemiological and laboratory investigations of outbreaks of diarrhoea in rural South India: implications for control of disease. *Epidemiol. Infect*., **127**, 107.

Karst-Riddoch, T.L., M.F.J. Pisaric and J.P. Smol, 2005: Diatom responses to 20th century climate-related environmental changes in high-elevation mountain lakes of the northern Canadian Cordillera. *J. Paleolimnol*., **33**, 265-282.

Kaser, G. and H. Osmaston, 2002: *Tropical Glaciers*. UNESCO International Hydrological Series. Cambridge University Press, Cambridge, 207 pp.

Kaser, G. and Co-authors, 2003: The impact of glaciers on the runoff and the reconstruction of mass balance history from hydrological data in the tropical Cordillera Blanca, Peru. *J. Hydrol*., **282**, 130–144.

Kashyap, A., 2004: Water governance: learning by developing adaptive capacity to incorporate climate variability and change. *Water Sci. Technol*., **19**(7), 141–146.

Kaspar, F., 2003: *Entwicklung und Unsicherheitsanalyse eines globalen hydrologischen (Model Development and Uncertainty Analysis of*

a Global Hydrological Model). University of Kassel, Kassel, PhD thesis.

Kaste, Ø., K. Rankinen and A. Leipistö, 2004: Modelling impacts of climate and deposition changes on nitrogen fluxes in northern catchments of Norway and Finland. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **8**, 778–792.

Kay, A., V. Bell and H. Davies, 2006a: *Model Quality and Uncertainty for Climate Change Impact*. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford.

Kay, A., N.A. Reynard and R.N. Jones, 2006b: RCM rainfall for UK flood frequency estimation. II. Climate change results. *J. Hydrol.*, **318**, 163–172.

Keddy, P.A., 2000: *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, 614 pp.

Keller, F., S. Goyette and M. Beniston, 2005: Sensitivity analysis of snow cover to climate change scenarios and their impact on plant habitats in alpine terrain. *Climatic Change*, **72**(3), 299–319.

Kergoat, L., S. Lafont, H. Douville, B. Berthelot, G. Dedieu, S. Planton and J.-F. Royer, 2002: Impact of doubled CO_2 on global-scale leaf area index and evapotranspiration: conflicting stomatal conductance and LAI responses. *J. Geophys. Res.*, **107**(D24), 4808.

Kerr, R., 2000: A North Atlantic climate pacemaker for the centuries. *Science*, **288**, 1984–1985.

Kerr, S.A., 2005: What is small island sustainable development about? *Ocean Coast. Manage.*, **48**, 503–524.

Khan, T.M.A., O.P. Singh and M.S. Rahman, 2000: Recent sea level and sea surface temperature trends along the Bangladesh coast in relation to the frequency of intense cyclones. *Marine Geodesy*, **23**(2), 103–116.

Kharkina, M.A., 2004: Natural resources in towns. *Energia*, **2**, 44–50.

Kirschbaum, M. and A. Fischlin, 1996: Climate change impacts on forests. *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 of Climate Change*., R. Watson, M.C. Zinyowera and R.H. Moss, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 95-129.

Kirshen, P., M. McCluskey, R. Vogel and K. Strzepek, 2005a: Global analysis of changes in water supply yields and costs under climate change: a case study in China. *Climatic Change*, **68**(3), 303–330.

Kirshen, P., M. Ruth and W. Anderson, 2005b: Responding to climate change in Metropolitan Boston: the role of adaptation. *New Engl. J. Public Pol.*, **20**(2), 89–104.

Kirshen, P., M. Ruth and W.Anderson, 2006: Climate's long-term impacts on urban infrastructures and services: the case of Metro Boston. *Regional Climate Change and Variability: Impacts and Responses*, M. Ruth, K. Donaghy and P.H. Kirshen, Eds., Edward Elgar Publishers, Cheltenham, 190–252.

Kishor, P.B.K., Z. Hong, G. Miao, C. Hu and D. Verma, 1995: Overexpression of Δ1-pyrroline-5-carboxylase synthase increases praline production and confers osmotolerance in transgenic plants. *J. Plant Physiol.*, **108**, 1387-1394.

Kistemann, T., T. Classen, C. Koch, F. Dagendorf, R. Fischeder, J. Gebel, V. Vacata and M. Exner, 2002: Microbial load of drinking water reservoir tributaries during extreme rainfall and runoff. *Appl. Environ. Microbiol.*, **68**(5), 2188–2197,

Kjellström, E., 2004: Recent and future signatures of climate change in Europe. *Ambio*, **23**, 193-198.

Klanderud, K. and H.J.B. Birks, 2003: Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants. *Holocene,* **13**(1), 1.

Klein, R.J., T.J. Nicholls, and J. Thomalla, 2003: The resilience of coastal mega cities to weather-related hazards in building safer cities*: The Future of Climate Change*, A. Kreimer, M. Arnold and A. Karlin, Eds., World Bank, Washington, DC, 101–121.

Klein Tank, A.M.G., J.B. Wijngaard, G.P. Konnen, R. Bohm, G. Demaree, A. Gocheva, M. Mileta, S. Pashiardis, L. Hejkrlik, C. Kern-Hansen, R. Heino, P. Bessemoulin, G. Muller-Westermeier, M. Tzanakou, S. Szalai, T. Palsdottir, D. Fitzgerald, S. Rubin, M. Capaldo, M. Maugeri, A. Leitass, A. Bukantis, R. Aberfeld, A.F.V. VanEngelen, E. Forland, M. Mietus, F. Coelho, C. Mares, V. Razuvaev, E. Nieplova, T. Cegnar, J.A. López, B. Dahlstrom, A. Moberg, W. Kirchhofer, A. Ceylan, O. Pachaliuk, L.V. Alexander and P. Petrovic, 2002: Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. Climatol.*, **22**, 1441–1453.

Klein Tank, A.M.G. and G.P. Können, 2003: Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–1999. *J. Clim.*, **16**, 3665–3680.

Klijn, F., J. Dijkman and W. Silva, 2001: *Room for the Rhine in the Netherlands. Summary of Research Results*. RIZA Report 2001.033, Rijkswaterstaat, Utrecht.

Klijn, F., M. van Buuren and S.A.M. van Rooij, 2004: Flood-risk management strategies for an uncertain future: living with Rhine river floods in the Netherlands? *Ambio*, **33**(3), 141–147.

Knight, C.G., I. Raev, and M. P. Staneva, Eds., 2004: *Drought in Bulgaria: A Contemporary Analog of Climate Change*. Ashgate, Aldershot, Hampshire 336 pp.

Knight, J. and Co-authors, 2005: a signature of persistent natural thermohaline circulation cycles in observed climate. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L20708, doi:1029/2005GL024233.

Knowles, N., M.D. Dettinger and D.R. Cayan, 2006: Trends in snowfall versus rainfall for the western United States, 1949–2004. *J. Climate*, **18**, 1136–1155.

Ko, A., R.M. Galvão, D. Ribeiro, C.M. Dourado, W.D. Johnson Jr. and L.W. Riley, 1999: Urban epidemic of severe leptospirosis in Brazil, Salvador. Leptospirosis Study Group. *Lancet*, **354**, 820-825.

Kobayashi, K., 1987: Hydrologic effects of rehabilitation treatment for bare mountain slops. *Bull. Forestry Forest Products Res. Instit.*, **300**, 151-185.

Koga, N., T. Sawamoto and H. Tsuruta 2006: Life cycle inventory-based analysis of greenhouse gas emissions from arable land farming systems in Hokkaido, northern Japan. *Soil Science and Plant Nutrition,* **52**, 564-574.

Korhola, A. and Co-authors, 2002: A multi-proxy analysis of climate impacts on recent ontogeny of subarctic Lake Sannajärvi in Finnish Lapland. *J. Paleolimnol.*, **1**, 59–77.

Körner, C., 1999: *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. Springer, Berlin, 343 pp.

Kosek, M., C. Bern and R.L. Guerrent, 2003: The global burden of diarrhoeal disease, as estimated from studies published between 1992 and 2000. *Bull. World Health Organ.*, **81**, 197-204.

Kovats, R.S. and C. Tirado, 2006: Climate, weather and enteric disease. *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health,* B. Menne and K.L. Ebi, Eds., Springer, Darmstadt, 269–295.

Kovats, R.S., Campbell-Lendrum D. and Matthies, F., 2005: Climate change and human health: estimating avoidable deaths and disease. *Risk Analysis*, **25**(6), 1409–1418.

Kramer, R., D. Richter, S. Pattanayak and N. Sharma, 1997: Economic and ecological analysis of watershed protection in eastern Madagascar. *J. Environ. Manage.,* **49**, 277-295.

Krauss, K.W., J.L. Chambers, J.A. Allen, D.M. Soileau Jr and A.S. DeBosier, 2000: Growth and nutrition of baldcypress families planted under varying salinity regimes in Louisiana, USA. *J. Coast. Res.*, **16**, 153–163.

Kriticos, D.J., T. Yonow and R.C. McFadyen, 2005: The potential distribution of *Chromolaena odorata* (Sim weed) in relation to climate. *Weed Research*, **45**, 246–254

Kron, W. and G. Berz, 2007: Flood disasters and climate change: trends and options – a (re-)insurer's view. *Global Change: Enough Water for All?* J.L. Lozán, H. Graßl, P. Hupfer, L. Menzel and C.-D. Schönwiese, Eds., University of Hamburg, Hamburg, 268-273.

Krüger, A., U. Ulbrich and P. Speth, 2002: Groundwater recharge in Northrhine-Westfalia by a statistical model for greenhouse gas scenarios. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, **26**, 853–861.

Krysanova, V. and F. Wechsung, 2002: Impact of climate change and higher CO_2 on hydrological processes and crop productivity in the state of Brandenburg, Germany. *Climatic Change: Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management*, M. Beniston, Ed., Kluwer, Dordrecht, 271–300.

Krysanova, V., F. Hattermann and A. Habeck, 2005: Expected changes in water resources availability and water quality with respect to climate change in the Elbe River basin (Germany). *Nordic Hydrol.*, **36**(4–5), 321–333.

Kumagai, M., K. Ishikawa and J. Chunmeng, 2003: Dynamics and biogeochemical significance of the physical environment in Lake Biwa. *Lakes Reserv. Res. Manage.*, **7**, 345-348.

Kumar, P.K., 2006: Potential vulnerability implications of sea level rise for the coastal zones of Cochin, southwest coast of India. *Environ. Monitor. Assess.*, **123**, 333–344.

Kundzewicz, Z.W., U. Ulbrich, T. Brücher, D. Graczyk, A. Krüger, G. Leckebusch, L. Menzel, I. Pińskwar, M. Radziejewski and M. Szwed, 2005: Summer floods in Central Europe climate change track? *Nat. Hazards*, **36**(1/2), 165–189.

Kundzewicz, Z.W., M. Radziejewski and I. Pińskwar, 2006: Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Clim. Res,* **31**, 51–58.

Kunkel, K.E. and Co-authors, 2003: Temporal variations of extreme precipitation events in the United States: 1895–2000. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1900, doi:10.1029/2003GL018052.

Kupek, E., M.C. de Sousa Santos Faversani and J.M. de Souza Philippi, 2000: The relationship between rainfall and human leptospirosis in Florianópolis, Brazil, 1991–1996. *Braz. J. Infect. Dis.*, **4**, 131-134.

La Nación, 2002: Buenos Aires, 13 March.

Labat, D. and Co-authors, 2004: Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Adv. Water Resources*, **27**, 631–642.

Lal, M., 2002: *Global climate change: India's monsoon and its variability*, Final Report under "Country Studies Vulnerability and Adaptation" Work Assignment with Stratus Consulting's Contract of the U.S. Environmental Protection Agency, September 2002, 58 pp.

Lal, R., 2003: Offsetting global CO_2 emissions by restoration of degraded soils and intensification of world agriculture and forestry. *Land Degradation and Dev.*, **14**, 309–322.

Lal, R., 2004: Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science,* **304**, 1623-1627.

Lal, R., J.M. Kimble and R.F. Follett, 1999: Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil. *Recommendation and Conclusions of the International Symposium,* 19-23 July 1999, Columbus, OH, 12 pp.

Lama, J.R., C.R. Seas, R. León-Barúa, E. Gotuzzo and R.B. Sack, 2004: Environmental temperature, cholera, and acute diarrhoea in adults in Lima, Peru. *J. Health Popul. Nutr.*, **22**, 399–403.

Larsen, C.F., R.J. Motyka, J.T. Freymueller, K.A. Echelmeyer and E.R. Ivins, 2005: Rapid uplift of southern Alaska caused by recent ice loss. *Geophys. J. Int.*, **158**, 1118-1133.

Laternser, M. and M. Schneebeli, 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *Int. J. Climatol.*, **23**, 733–750.

Latif, M., 2001: Tropical Pacific/Atlantic Ocean interactions at multi-decadal time scales. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 539–542.

Le Maitre, D.C. and D.B. Versfeld, 1997: Forest evaporation models: relationships between stand growth and evaporation. *J. Hydrol.*, **193**, 240-257.

Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather, 2007: Historical overview of climate change science. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 93-128.

Lean, J., C.B. Buntoon, C.A. Nobre and P.R. Rowntree, 1996: The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. *Amazonian Deforestation and Climate,* J.H.C Gash, C.A. Nobre, J.M. Roberts and T.L. Victoria, Eds., John Wiley and Sons, Chicester, 549-576.

Leary, N., J. Adejuwon, W. Bailey, V. Barros, M. Caffera, S. Chinvanno, C. Conde, A. De Comarmond, A. De Sherbinin, T. Downing, H. Eakin, A. Nyong, M. Opondo, B. Osman, R. Payet, F. Pulhin, J. Pulhin, J. Ratnasiri, E. Sanjak, G. von Maltitz, M. Wehbe, Y. Yin and G. Ziervogel, 2006: For whom the bell tolls: vulnerabilities in a changing climate. *AIACC Working Paper No.* **30**, International START Secretariat, Washington, DC, 31 pp.

Leemans, R. and A. Kleidon, 2002: Regional and global assessment of the dimensions of desertification. *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* J.F. Reynold and D.S. Smith, Eds., Dahlem University Press, Berlin, 215-232.

Legates, D.R., H.F. Lins and G.J. McCabe, 2005: Comments on "Evidence for global runoff increase related to climate warming" by Labat et al. *Adv. Water Resour.*, **28**, 1310-1315.

Lehner, B., G. Czisch and S. Vassolo, 2005: The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis. *Energ. Policy*, **33**, 839–855.

Lehner, B., P. Döll, J. Alcamo, T. Henrichs and F. Kaspar, 2006: Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*, **75**, 273–299.

Leipprand, A. and D. Gerten, 2006: Global effects of doubled atmospheric CO_2 content on evapotranspiration, soil moisture and runoff under potential natural vegetation. *Hydrol. Sci. J.*, **51**, 171–185.

Lemmen, D. S. and F. J. Warren, Eds., 2004: *Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective*. Climate Change Impacts and Adaptation Directorate, Natural Resources Canada, Ottawa, Canada, 201 pp, http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective_e.asp.

Lenderink, G., A. vanUlden, B. van den Hurk and E. van Meijgaard, 2007: Summertime inter-annual temperature variability in an ensemble of regional model simulations: analysis of the surface energy budget. *Climatic Change*, **81**, S233-S247.

Lewsey, C., Gonzalo, C. and Kruse, E., 2004: Assessing climate change impacts on coastal infrastructure in the Eastern Caribbean. *Marine Policy*, **28**, 393–409.

Li, C., S. Frolking and K. Butterbach-Bahl, 2005: Carbon sequestration in arable soils is likely to increase nitrous oxide emissions, offsetting reductions in climate radiative forcing. *Climatic Change,* **72**, 321-338.

Li, C.X., D.D. Fan, B. Deng and V. Korotaev, 2004: The coasts of China and issues of sea level rise. *J. Coast. Res.*, **43**, 36–47.

Liebig, M.A., J.A. Morgan, J.D. Reeder, B.H. Ellert, H.T. Gollany and G.E. Schuman, 2005: Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agricultural practices in northwestern USA and western Canada. *Soil and Tillage Res.,* **83**, 25-52.

Lincoln Environmental, 2000: *Information on Water Allocation in New Zealand*. Report No. 4375/1, prepared for Ministry for the Environment by Lincoln Ventures Ltd, Canterbury, New Zealand. http://www.mfe.govt.nz/publications/water/water-allocation-apr00.pdf.

Lindstrom, G. and S. Bergstrom, 2004: Runoff trends in Sweden

1807–2002. *Hydrol. Sci. J.*, **49**(1), 69–83.
Liniger, H. and R. Weingartner, 1998: Mountains and freshwater supply. *Unasylva,* **195**(49), 39-46.
Lipp, E. and Co-authors, 2001: The effects of seasonal variability and weather on microbial faecal pollution and enteric pathogens in a subtropical estuary. *Estuaries*, **24**, 226–276.
Liu, B.H. and Co-authors, 2004: A spatial analysis of pan evaporation trends in China, 1955–2000. *J. Geophys. Res.*, **109**, D15102, doi:10.1029/2004JD004511.
Liu, C.Z., 2002: Suggestion on water resources in China corresponding with global climate change. *China Water Resources*, **2**, 36–37.
Liu, S.G., Li, C.X., Ding, J., Li, X.Z. and Ivanov, V.V., 2001: The rough balance of progradation and erosion of the Yellow River delta and its geological meaning. *Marine Geology and Quaternary Geology*, **21**(4), 13–17.
Liu, Y.B. and Y.N. Chen, 2006: Impact of population growth and land-use change on water resources and ecosystems of the arid Tarim River Basin in western China. *Int. J. Sust. Dev. World*, **13**, 295-305.
Llasat, M.C., 2001: An objective classification of rainfall intensity in the Northeast of Spain. *Int. J. Climatol.*, **21**, 1385–1400.
Lofgren, B., A. Clites, R. Assel, A. Eberhardt and C. Luukkonen, 2002: Evaluation of potential impacts on Great Lakes water resources based on climate scenarios of two GCMs. *J. Great Lakes Res.*, **28**(4), 537–554.
London Climate Change Partnership, 2004: *London's Warming*: *A Climate Change Impacts in London Evaluation Study*, London, 293 pp.
LOSLR (International Lake Ontario–St. Lawrence River Study Board), 2006: *Options for Managing Lake Ontario and St. Lawrence River Water Levels and Flows*. Final Report to the International Joint Commission. http://www.losl.org/reports/finalreport-e.html.
Luoto, M., R.K. Heikkinen and T.R. Carter, 2004: Loss of palsa mires in Europe and biological consequences. *Environ. Conserv.*, **31**, 30–37.
MacDonald, R., T. Harner, J. Fyfe, H. Loeng and T. Weingartner, 2003: Influence of Global Change on Contaminant Pathways to, within and from the Arctic. *ANAO Assessment 2002*. Arctic Monitoring and Assessment Programme. Oslo, 65 pp.
Machado, P.L.O.A. and C.A. Silva, 2001: Soil management under notillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **61**, 119-130.
Madari, B., P.L.O.A. Machado, E. Torres, A.G. Andrade and L.I.O. Valencia, 2005: No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Fhodic Ferralsol from southern Brazil. *Soil and Tillage Research,* **80**, 185-200.
Magadza, C., 2000: Climate change impacts and human settlements in Africa: prospects for adaptation. *Environ. Monit. Assess.*, **61**(1), 193–205.
Magrin, G.O., M.I. Travasso and G.R. Rodríguez, 2005: Changes in climate and crops production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change*, **72**, 229–249.
Manton, M.J., P.M. Della-Marta, M.R. Haylock, K.J. Hennessy, N. Nicholls, L.E. Chambers, D.A. Collins, G. Daw, A. Finet, D. Gunawan, K. Inape, H. Isobe, T.S. Kestin, P. Lefale, C.H. Leyu, T. Lwin, L.Maitrepierre, N. Ouprasitwong, C.M. Page, J. Pahalad, N. Plummer, M.J. Salinger, R. Suppiah, V.L. Tran, B. Trewin, I. Tibig and D. Lee, 2001: Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific; 1961–1998, *Int. J. Climatol.*, **21**, 269–284.
Manuel, J., 2006: In Katrina's wake. *Environ. Health Persp.*, **114**, A32-A39.
Marengo, J.A., 2004: Interdecadal variability and trends of rainfall variability in the Amazon basin. *Theor. Appl. Climatol.*, **78**, 79-96.
Mark, B.G. and G.O. Seltzer, 2003: Tropical glacier meltwater contribution to stream discharge: a case study in the Cordillera Blanca, Perú. *J. Glaciol.*, **49**, 271-281.
Marland, G., B.A. McCarl and U.A. Schneider, 2001: Soil carbon: policy and economics. *Climatic Change,* **51**, 101-117.
Marland, G., T.O. West, B. Schlamadinger and L. Canella, 2003: Managing soil organic carbon in agriculture: the net effect on greenhouse gas emissions. *Tellus*, **55B**, 613-621.
Martin, D., Belanger, D., Gosselin, P., Brazeau, J., Furgal, C. and Dery, S., 2005: *Climate change, Drinking Water, and Human Health in Nunavik: Adaptation Strategies*. Final Report submitted to the Canadian Climate Change Action Fund, Natural Resources Canada. CHUL Research Institute, Quebec, 111 pp.
Martin, E. and P. Etchevers, 2005: Impact of climatic change on snow cover and snow hydrology in the French Alps. *Global Change and Mountain Regions (A State of Knowledge Overview),* U.M. Huber, H. Bugmann, and M.A. Reasoner, Eds., Springer, New York, 235–242.
Mata, L.J, M. Campos, E. Basso, R. Compagnucci, P. Fearnside, G. Magri, J. Marengo, A.R. Moreno, A. Suaez, S. Solman, A. Villamizar and L. Villers, 2001: Latin America. *Climate Change 2001, Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* J. J McCarthy, O. Canziani, N.Leary, D. Dokken and K.White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 691–734.
Maya, C., N. Beltran, B. Jiminez and P. Bonilla, 2003: Evaluation of the UV disinfection process in bacteria and amphizoic amoebeae inactivation. *Water Science and Technology*, **3**(4), 285–291.
Mazhitova, G., N. Karstkarel, N. Oberman, V. Romanovsky and P. Kuhty, 2004: Permafrost and infrastructure in the Usa Basin (Northern European Russia): possible impacts of global warming. *Ambio*, **3**, 289–294.
McBean, G. and Co-authors, 2005: Arctic Climate: past and present. *Arctic Climate Impacts Assessment (ACIA)*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 21–60.
McCabe, G.J., M. Palecki and J.L. Betancourt, 2004: Pacific and Atlantic Ocean influences on multi-decadal drought frequency in the United States. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **101**, 4136–4141.
McClelland, J.W., R.M. Holmes and B.J. Peterson, 2004: Increasing river discharge in the Eurasian Arctic: consideration of dams, permafrost thaw, and fires as potential agents of change. *J. Geophys. Res.-Atmos.*, **109,** D18102, doi:10.1029/2004JD004583.
McKerchar, A.I. and R.D. Henderson, 2003: Shifts in flood and low-flow regimes in New Zealand due to inter-decadal climate variations. *Hydrol. Sci. J.*, **48**(4), 637–654.
McMichael, A. and Co-authors, Eds., 2003: *Climate Change and Human Health: Risks and Responses*. WHO, Geneva, 322 pp.
McPeak, J.G. and C.B. Barrett, 2001: Differential risk exposure and stochastic poverty traps among East African pastoralists. *Am. J. Agr. Econ.*, **83**, 674-679.
MDBC, 2006: *Basin Statistics*. Murray Darling Basin Commission. http://www.mdbc.gov.au/about/basin_statistics.
Meehl, G.A. and C. Tebaldi, 2004: More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, **305**, 994–997.
Meher-Homji, V.M., 1992: Probable impact of deforestation on hydrological process. *Tropical Forests and Climate,* N. Myers, Ed., Springer, Berlin, 163-174.
Melbourne Water, 2006: Eastern Treatment plant: treating sewage from Melbourne's south-eastern and eastern suburbs. http://www.melbournewater.com.au/content/sewerage/eastern_treatment_plant/eastern_treatment_plant.asp?bhcp=1.
Melnikov B.V. and A. L. Revson, 2003: Remote sensing of northern regions of West Siberia. *Cryosphere of Earth*, **4**, 37–48 (in Russian).
Mendelsohn, R., M. Morrison, M. Schlesinger and N. Andronova,

2000a: Country-specific market impacts from climate change, *Climatic Change*, **45**, 553–569.

Mendelsohn, R., A. Dinar and A. Dalfelt, 2000b: *Climate change impacts on African agriculture*. Paper prepared for the World Bank, Washington, DC, 25 pp

Menzel, A., G. Jakobi, R. Ahas, H. Scheifinger and N. Estrella, 2003: Variations of the climatological growing season (1951-2000) in Germany compared with other countries. *Int. J. Climatol.*, **23**, 793-812.

Menzel, L. and G. Bürger,, 2002: Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany). *J. Hydrol.*, **267**(1–2), 53–64.

Mercier, F., A. Cazenave and C. Maheu, 2002: Interannual lake level fluctuations (1993–1999) in Africa from Topex/Poseidon: connections with ocean-atmosphere interactions over the Indian Ocean, *Global Planet. Change*, **32**, 141–163.

Metz, B., O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos and L. Meyer, Eds., 2005: *Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge University Press, Cambridge, 431 pp.

Middelkoop, H. and J.C.J. Kwadijk, 2001: Towards an integrated assessment of the implications of global change for water management: the Rhine experience. *Phys Chem Earth, Part B Hydrology, Oceans and Atmosphere*, **26**(7–8), 553–560.

Middelkoop, H., K. Daamen, D. Gellens, W. Grabs, J.C.J. Kwadijk, H. Lang, B.W.A.H. Parmet, B. Schädler, J. Schulla and K. Wilke, 2001: Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. *Climatic Change*, **49**, 105–128.

Miettinen, I., O. Zacheus, C. von Bonsdorff and T. Vartiainen, 2001: Waterborne epidemics in Finland in 1998–1999. *Water Sci. Technol.*, **43**, 67–71.

Miles, E.L., A.K. Snover, A. Hamlet, B. Callahan and D. Fluharty, 2000: Pacific Northwest Regional Assessment: the impacts of climate variability and climate change on the water resources of the Columbia River Basin. *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, **36**, 399-420.

Mileti, D., 1999: *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*. National Academy Press, Washington, DC, 376 pp.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005a: *Ecosystems and Human Well-being: Volume 2 – Scenarios*. Island Press, Washington, DC, 515 pp.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005b: *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC, 155 pp.

Miller, K.A. and D. Yates, 2006: *Climate Change and Water Resources: A Primer for Municipal Water Providers*. AWWA Research Foundation, Denver, CO, 83 pp.

Miller, K.A., S.L. Rhodes and L.J.MacDonnell, 1997: Water allocation in a changing climate: institutions and adaptation. *Climatic Change*, **35**, 157–177.

Miller, M.G. and A. Veltman, 2004: Proposed Canterbury Natural Resources Plan for river and groundwater allocation policies and the implications for irrigation dependent farming in Canterbury. *Proc. New Zealand Grassland Association*, **66**, 11–23.

Mills, E., 2005: Insurance in a climate of change. *Science*, **309**, 1040–1044.

Mills, E. and E. Lecomte, 2006: *From Risk to Opportunity: How Insurers Can Proactively and Profitably Manage Climate Change*. Ceres, Boston, MA, 42 pp.

Mills, P.F., 1994: The agricultural potential of northwestern Canada and Alaska and the impact of climatic change. *Arctic*, **47**(2), 115–123.

Milly, P.C.D., R.T. Wetherald, K.A. Dunne and T.L. Delworth, 2002: Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, **415**, 514–517.

Milly, P.C.D., K.A. Dunne and A.V. Vecchia, 2005: Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, **438**(7066), 347–350.

Mimikou, M., E. Blatas, E. Varanaou and K. Pantazis, 2000: Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators. *J. Hydrol.*, **234**, 95-109.

Min, S.K., W.T. Kwon, E.H. Park and Y. Choi, 2003: Spatial and temporal comparisons of droughts over Korea with East Asia. *Int. J. Climatol.*, **23**, 223–233.

Ministry for the Environment, 2004: *Climate Effects and Impacts Assessment: a Guidance Manual for Local Government in New Zealand*. Prepared by David Wratt, Brett Mullan and Jim Salinger (NIWA), Sylvia Allen and Tania Morgan (MWH New Zealand Ltd.) and Gavun Kenny (Earthwise Consulting). Ministry for the Environment Report ME 513, Wellington, 153 pp.

Mirza, M.M.Q., 2002: Global warming and changes in the probability of occurrence of floods in Bangladesh and implications. *Global Environ. Chang.*, **12**, 127–138.

Mirza, M.M.Q., 2003: Three recent extreme floods in Bangladesh: a hydro-meteorological analysis. *Nat. Hazards*, **28**, 35–64.

Mirza, M.M.Q., 2004: *Climate Change and the Canadian Energy Sector: Report on Vulnerability and Adaptation*. Adaptation and Impacts Research Group, Atmospheric Climate Science Directorate, Meteorological Service of Canada Downsview, Ontario, 52 pp.

Mirza, M.M.Q., R.A. Warrick and N.J. Ericksen, 2003: The implications of climate change on floods of the Ganges, Brahmaputra and Meghna Rivers in Bangladesh. *Climatic Change*, **57**, 287–318.

Mitchell, T.D. and P.D. Jones, 2005: An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int. J. Climatol.*, **25**, 693–712.

Mitchell, W., J. Chittleborough, B. Ronai and G.W. Lennon, 2001: Sea level rise in Australia and the Pacific. *Proc. Science Component. Linking Science and Policy*. Pacific Islands Conference on Climate Change, Climate Variability and Sea Level Rise. 3-7 April 2000, Rarotonga, Cook Islands, National Tidal Facility, The Flinders University of South Australia, Adelaide, 47–58.

Moench, M., A. Dixit, S. Janakarajan, M.S. Rathore and S. Mudrakartha, 2003: *The Fluid Mosaic: Water Governance in the Context of Variability, Uncertainty and Change – A Synthesis Paper*. Nepal Water Conservation Foundation, Kathmandu, 71 pp.

Mohseni, O., H.G. Stefan and J.G. Eaton, 2003: Global warming and potential changes in fish habitat in U.S. streams. *Climatic Change*, **59**, 389-409.

Mölg, T., D.R. Hardy, N. Cullen and G. Kaser, 2005: Tropical glaciers in the context of climate change and society: focus on Kilimanjaro (East Africa). *Contribution to Mountain Glaciers and Society Workshop*. California University Press, Wengen, 28 pp.

Monson, R.K., D.L. Lipson, S.P. Burns, A.A. Turnipseed, A.C. Delany, M.W. Williams and S.K. Schmidt, 2006: Winter forest soil respiration controlled by climate and microbial community composition. *Nature*, **439**(7077), 711–714.

Monteny, G.-J., A. Bannink and D. Chadwick, 2006: Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. *Agri. Ecosys. Environ.*, **112**, 163-170.

Mool, P.K., D. Wangda and S.R. Bajracharya, 2001: *Inventory of Glaciers, Glacial Lakes and Glacial Lake Outburst Floods: Monitoring and Early Warning Systems in the Hindu Kush-Himalayan Region: Bhutan*. ICIMOD, Kathmandu, 227 pp.

Moonen, A.C., L. Ercoli, M. Mariotti and A. Masoni, 2002: Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. *Agr. Forest Meteorol.*, **111**, 13-27.

Mooney, H., A. Cropper and W. Reid, 2005: Confronting the human dilemma. *Nature*, **434**, 561-562.

Moore, M.V., M.L. Pace, J.R. Mather, P.S. Murdoch, R.W. Howarth, C.L. Folt, C.Y. Chen, H.F. Hemond, P.A. Flebbe and C.T. Driscoll,

1997: Potential effects of climate change on freshwater ecosystems of the New England/Mid-Atlantic region. *Hydrol. Process.*, **11**, 925–947.

Morris, J.D. and L.A.J. Thomson, 1983: The role of trees in dryland salinity control. *Proc. Roy. Soc. Victoria*, **95**, 123-131.

Morton, J., 2006: Pastoralist coping strategies and emergency livestock market intervention. *Livestock Marketing in Eastern Africa: Research and Policy Challenges,* J.G. McPeak and P.D. Little, Eds., ITDG Publications, Rugby, 227-246.

Mosier, A.R., A.D. Halvorson, G.A. Peterson, G.P. Robertson and L. Sherrod, 2005: Measurement of net global warming potential in three agroecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems,* **72**, 67-76.

Moss, B., D. Mckee, D. Atkinson, S.E. Collings, J.W. Eaton, A.B. Gill, I. Harvey, K. Hatton, T. Heyes and D. Wilson, 2003: How important is climate? Effects of warming, nutrient addition and fish on phytoplankton in shallow lake microcosms. *J. Appl. Ecol.*, **40**, 782–792.

Mote, P., A.F. Hamlet, M.P. Clark and D.P. Lettenmaier, 2005: Declining mountain snowpack in western North America. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **86**, doi: 10.1175/BAMS-1186-1171-1139.

Mote, P.W., D.J. Canning, D.L. Fluharty, R.C. Francis, J.F. Franklin, A.F. Hamlet, M. Hershman, M. Holmberg, K.N. Gray-Ideker, W.S. Keeton, D.P. Lettenmaier, L.R. Leung, N.J. Mantua, E.L. Miles, B. Noble, H. Parandvash, D.W. Peterson, A.K. Snover and S.R. Willard, 1999: *Impacts of Climate Variability and Change, Pacific Northwest*, 110 pp. http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/pnw.pdf.

Mote, P.W., E.A. Parson, A.F. Hamlet, W.S. Keeton, D. Lettenmaier, N. Mantua, E.L. Miles, D.W. Peterson, D.L. Peterson, R. Slaughter and A.K. Snover, 2003: Preparing for climatic change: the water, salmon, and forests of the Pacific Northwest. *Climatic Change*, **61**, 45-88.

Moulton, R. and D. Cuthbert, 2000: Cumulative impacts/risk assessment of water removal or loss from the Great Lakes–St. Lawrence River system. *Can. Water Resour. J.*, **25**, 181-208.

Mountain Agenda, 1997: *Mountains of the World: Challenges of the 21st Century*. Mountain Agenda, Bern, 36 pp.

MRAE (Ministry of Rural Affairs and the Environment, Malta), 2004: *The First Communication of Malta to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, Ministry for Rural Affairs and the Environment, Malta.

MRC, 2003: *State of the Basin Report: 2003*. Mekong River Commission, Phnom Penh, 300 pp.

Mueller, D.R., W.F. Vincent and M.O. Jeffries, 2003: Break-up of the largest Arctic ice shelf and associated loss of an epishelf lake. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 2031, doi:10.1029/2003GL017931.

Mullan, A.B., A. Porteous, D. Wratt and M. Hollis, 2005: *Changes in Drought Risk with Climate Change*. NIWA Report WLG2005. http://www.mfe.govt.nz/publications/climate/drought-risk-may05/drought-risk-climate-change-may05.pdf.

Munich Re, 2004: *Annual Review of Natural Catastrophes 2003*. Munich, 8 pp. http://www.munichre.com/app_resources/pdf/ts/geo_risks/topicsgeo_2003_siebert_en.pdf.

MWD, 2005: *The Family of Southern California Water Agencies. Metropolitan Water District of Southern California*. http://www.bewaterwise.com/index.html.

Myers, N., 1997: The world's forests and their ecosystem services. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. G.C. Daily, Ed., Island Press, Washington, DC, 215-235.

Naess, L.O., G. Bang, S. Eriksen and J. Vevatne, 2005: Institutional adaptation to climate change: flood responses at the municipal level in Norway. *Global Environ. Chang.*, **15**, 125–138.

Nagy, G.J., R.M. Caffera, M. Aparicio, P. Barrenechea, M. Bidegain, J.C. Jiménez, E. Lentini, G. Magrin and Co-authors, 2006: *Understanding the Potential Impact of Climate Change and Variability in Latin America and the Caribbean*. Report prepared for the Stern Review on the Economics of Climate Change, 34 pp. http://www.sternreview.org.uk.

Nakićenović, N. and R. Swart, Eds., 2000: *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, 599 pp.

Namjou, P. and Co-authors, 2006: The integrated catchment study of Auckland City (New Zealand): long-term groundwater behaviour and assessment. *Proc. World Environmental and Water Resources Congress 2006,* R. Graham, Ed., May 21-25, 2006, Omaha, Nebraska, doi:10.1061/40856(200)311.

NAST, 2000: *Climate Change Impacts in the United States, Overview*. Report for the U.S. Global Change Research Program. National Assessment Synthesis Team Members (NAST), 154 pp.

Natsagdorj, L., P. Gomboluudev and P. Batima, 2005: Climate change in Mongolia. *Climate Change and its Projections*, P. Batima and B.Myagmarjav, Eds., Admon Publishing, Ulaanbaatar, 39–84.

NC-Colombia, 2001: *1st National Communication to the UNFCCC*, 267 pp. http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/items/2979.php.

NC-Ecuador, 2000: *1st National Communication to the UNFCCC*, 128 pp. http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/items/2979.php.

NC-Nicaragua, 2001: *Impacto del Cambio Climático en Nicaragua*. Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, PNUD/MARENA, 127 pp.

NC-Perú, 2001: *1st National Communication to the UNFCCC*, 155 pp. http://unfccc.int/resource/docs/natc/pernc1.pdf.

Nchito, M., P. Kelly, S. Sianongo, N.P. Luo, R. Feldman, M. Farthing and K.S. Baboo, 1998: *Cryptosporidiosis* in urban Zambian children: an analysis of risk factors. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **59**, 435–437.

Ndikumana, J., J. Stuth, R. Kamidi, S. Ossiya, R. Marambii and P. Hamlett, 2000: *Coping Mechanisms and their Efficacy in Disaster-prone Pastoral Systems of the Greater Horn of Africa: Effects of the 1995-97 Drought and the 1997-98 El Niño Rains and the Responses of Pastoralists and Livestock*. ILRI Project Report. A-AARNET (ASARECA-Animal Agriculture Research Network), Nairobi, Kenya, GL-CRSP LEWS (Global Livestock- Collaboratve Research Support Program Livestock Early Warning System), College Station, Texas, USA, and ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, 124 pp.

NEAB (National Environment Advisory Board, St Vincent and the Grenadines), 2000: *Initial National Communication on Climate Change*, National Environment Advisory Board and Ministry of Health and the Environment, 74 pp.

Nearing, M.A., F.F. Pruski and M.R. O'Neal, 2004: Expected climate change impacts on soil erosion rates: a review. *J. Soil Water Conserv.*, **59**, 43-50.

NEB, 2006: *Canada's Oil Sands: Opportunities and Challenges to 2015: An Update*. National Energy Board, Calgary, Alberta, 85 pp.

Neff, R., H. Chang, C. Knight, R. Najjar, B. Yarnal and H. Walker, 2000: Impact of climate variation and change on Mid-Atlantic Region hydrology and water resources. *Climate Res.*, **14**, 207-218.

Nelson, F.E., 2003: (Un)frozen in time. *Science*, **299**, 1673–1675.

New, M., 2002: Climate change and water resources in the southwestern Cape, South Africa. *S. Afri. J. Sci.*, **96**, 369–373.

Nicholls, K.H., 1999: Effects of temperature and other factors on summer phosphorus in the inner Bay of Quinte, Lake Ontario: implications for climate warming. *J. Great Lakes Res.*, **25**(5), 250–262.

Nicholson, S., 2005: On the question of the "recovery" of the rains in

the West African Sahel. *J. Arid Environ.*, **63**, 615–641.

Nicholson, S.E. and J.C. Selato, 2000: The influence of La Niña on African rainfall. *Int. J. Climatol.,* **20**, 1761–1776.

Nicholson, S.E., B. Some and B. Kone, 2000: An analysis of recent rainfall conditions in West Africa, including the rainy seasons of the 1997 El Niño and the 1998 La Niña years. *J. Clim.*, **13**, 2628–2640.

Nilsson, C., C.A. Reidy, M. Dynesius and C. Revenga, 2005: Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, **308**, 405–408.

NLWRA, 2001: *Australian Water Resources Assessment 2000*. National Land and Water Resources Audit, Land and Water Australia.

NOAA, 2005: *Hazards/Climate Extremes*. National Climatic Data Center, U.S. Department of Commerce, http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2005/aug/hazards.html.Flooding.

Noone, D. and I. Simmonds, 2002: Annular variations in moisture transport mechanisms and the abundance of $\delta^{18}O$ in Antarctic snow. *J. Geophys. Res.*, **107**, 4742, doi:10.1029/2002JD002262.

Norrant, C. and A. Douguédroit, 2006: Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean. *Theor. Appl. Climatol.*, **83**, 89–106.

Nurse, L. and Co-authors, 2001: Small Island States. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* J.J. McCarthy, O. F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 843–876.

Nuttall, M., F. Berkes, B. Forbes, G. Kofinas, T. Vlassova and G. Wenzel, 2005: Hunting, herding, fishing and gathering: indigenous peoples and renewable resource use in the Arctic. *Arctic Climate Impacts Assessment, ACIA*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 649–690.

O'Reilly, C., S. Alin, P. Plisnier, A. Cohen and B. McKee, 2003: Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa. *Nature*, **424**, 766-768.

Oba, G., 2001: The importance of pastoralists' indigenous coping strategies for planning drought management in the arid zone of Kenya. *Nomadic Peoples*, **5**, 89-119.

OECD, 2003: *Development and climate change in Nepal: focus on water resources and hydropower*. COM/ENV/EPOC/DCD/DAC(2003)1/FINAL, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 64 pp.

Oenema, O., N. Wrage, G.L. Velthof, J.W. van Groenigen, J. Dolfing and P.J. Kuikman, 2005: Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems,* **72**, 51-65.

Ogle, S.M., F.J. Breidt and K. Paustian, 2005: Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochem.,* **72,** 87-121.

Oki, T. and S. Kanae, 2006: Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, **313**, 1068–1072.

Oki, T., Y. Agata, S. Kanae, T. Saruhashi and K. Musiake, 2003: Global water resources assessment under climatic change in 2050 using TRIP. *Water Resources: Systems Water Availability and Global Change,* S.W. Franks, G. Böschl, M. Kumagai, K. Musiake and D. Rosbjerg, Eds., IAHS Publication, 124–133.

Olesen, J.E. and M. Bindi, 2002: Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European J. Agronomy*, **16**, 239–262.

Olesen, J.E., T.R. Carter, C.H. Díaz-Ambrona, S. Fronzek, T. Heidmann, T. Hickler, T. Holt, M.I. Minguez, P. Morales, J. Palutikov, M. Quemada, M. Ruiz-Ramos, G. Rubæk, F. Sau, B. Smith, B. and M. Sykes, 2006: Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climatic Change*, **81**(Suppl. 1), doi: 10.1007/s10584-006-9216-1.

Olsen, J.R., 2006: Climate change and floodplain management in the United States, *Climatic Change*, **76**, 407–426.

Oltchev, A., J. Cermak, J. Gurtz, A. Tishenko, G. Kiely, N. Nadezhdina, M. Zappa, N. Lebedeva, T. Vitvar, J.D. Albertson, F. Tatarinov, D. Tishenko, V. Nadezhdin, B. Kozlov, A. Ibrom, N. Vygodskaya and G. Gravenhorst 2002: The response of the water fluxes of the boreal forest region at the Volga source area to climatic and land-use changes. *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C*, **27**, 675–690.

Opopol, N., R. Corobov, A. Nicolenco and V. Pantya, 2003: Climate change and potential impacts of its extreme manifestations on health. *Curier Medical,* **5**, 6-9.

Orlove, B.S., J.C.H. Chiang and M.A. Cane, 2000: Forecasting Andean rainfall and crop yield from the influence of El Niño on Pleiades visibility. *Nature*, **403**, 68-71.

Osman-Elasha, B., N. Goutbi, E. Spanger-Siegfried, B. Dougherty, A. Hanafi, S. Zakieldeen, A. Sanjak, H.A. Atti and H.M. Elhassan, 2006: *Adaptation Strategies to Increase Human Resilience Against Climate Variability and Change: Lessons from the Arid Regions of Sudan*. AIACC Working Paper No. 42, Assessment of Impacts and Adaptation to Climate Change in Multiple Regions and Sectors Programme, 42 pp.

Osterkamp, T.E., L. Vierek, Y. Shur, M.T. Jorgenson, C. Racine, A. Doyle and R.D. Boone, 2000: Observations of thermokarst and its impact on boreal forests in Alaska, U.S.A. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, **32**, 303–315.

Ouranos, 2004: *Adapting to Climate Change*. Ouranos, Montreal, ON, 91 pp. http://www.ouranos.ca/cc/climang5.pdf.

Paavola, J. and W. Adger, 2002: *Justice and Adaptation to Climate Change*. Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich, 24 pp. http://www.tyndall.ac.uk/publications/working_papers/wp23.pdf.

Pabón, J.D., 2003: El cambio climático global y su manifestación en Colombia. *Cuadernos Geograf.*, **12**, 111-119.

Pachauri, R., 2004: Climate change and its implications for development: the role of IPCC assessments. *Inst. Devel. Stud. Bull.*, **35**, 11.

PAGASA (Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration), 2001: *Documentation and Analysis of Impacts of and Responses to Extreme Climate Events*. Climatology and Agrometeorology Branch Technical Paper No. 2001-2, 55 pp.

PAHO, 2003: *Status Report on Malaria Programs in the Americas*. 44th Directing Council, 55th Session of the Regional Comité. Pan American Health Organization, Washington, DC.

Palmer, T.N. and J. Räisänen, 2002: Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature*, **415**, 512–514.

Pan, X.L., W. Deng and D.Y. Zhang, 2003: Classification of hydrological landscapes of typical wetlands in northeast China and their vulnerability to climate change. *Res. Environ. Sci.*, **16**(1), 14–18.

Pan, Z.T.,M. Segal, R.W.Arritt and E.S. Takle, 2004: On the potential change in solar radiation over the US due to increases of atmospheric greenhouse gases. *Renew. Energ.*, **29**, 1923-1928.

Parkinson, A.J. and J.C. Butler, 2005: Potential impacts of climate change on infectious diseases in the Arctic. *Int. J. Circumpolar Health*, **64**, 478–486.

Parrotta, J.A., 2002: Restoration and management of degraded tropical forest landscapes. *Modern Trends in Applied Terrestrial Ecology,* R.S. Ambasht and N.K. Ambasht, Eds., Kluwer Academic/Plenum Press, New York, 135-148.

Parry, M., C.A. Rosenzweig, M. Iglesias, M. Livermore and G. Fisher, 2004: Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socioeconomic scenarios. *Global Environ. Chang.,* **14**(1), 53–67.

Parry, M.L., Ed., 2000: *Assessment of potential effects and adaptations to climate change in Europe: The Europe Acacia Project*. Report of concerted action of the environment programme of the Research Directorate General of the Commission of the European Communities, Jackson Environmental Institute, University of East Anglia, Norwich, 320 pp.

Parson, E.A., P.W. Mote, A. Hamlet, N. Mantua, A. Snover, W. Keeton, E. Miles, D. Canning and K.G. Ideker, 2001: Potential consequences of climate variability and change for the Pacific Northwest. *Climate Change Impacts on the United States - The Potential Consequences of Climate Variability and Change-Foundation Report*, National Assessment Synthesis Team, Ed., Cambridge University Press, Cambridge, 247-280.

Parson, E.A., R.W. Corell, E.J. Barron, V. Burkett, A. Janetos, L. Joyce, T.R. Karl, M. MacCracken, J. Melillo, M.G. Morgan, D.S. Schimel and T. Wilbanks, 2003: Understanding climatic impacts, vulnerabilities and adaptation in the United States: building a capacity for assessment. *Climatic Change*, **57**, 9-42.

Pascual, M., J.A. Ahumada, L.F. Chaves, X. Rodo and M. Bouma, 2006: Malaria resurgence in the East African highlands: temperature trends revisited. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 5829-5834.

Pattanayak, S. and R. Kramer, 2000: Worth of watersheds: a producer surplus approach for valuing drought control in eastern Indonesia. *Environment and Development Economics,* **6**, 123-146.

Patz, J.A., 2002: A human disease indicator for the effects of recent global climate change. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **99**, 12506-12508.

Patz, J.A., D. Campbell-Lendrum, T. Holloway and J.A.N. Foley, 2005: Impact of regional climate change on human health. *Nature*, **438**, 310-317.

Paustian, K., B.A. Babcock, J. Hatfield, R. Lal, B.A. McCarl, S. McLaughlin, A. Mosier, C. Rice, G.P. Robertson, N.J. Rosenberg, C. Rosenzweig, W.H. Schlesinger and D. Zilberman, 2004: *Agricultural Mitigation of Greenhouse Gases: Science and Policy Options*. CAST (Council on Agricultural Science and Technology) Report, R141 2004, Ames, Iowa, 120 pp.

Payne, J.T., A.W. Wood, A.F. Hamlet, R.N. Palmer and D.P. Lettenmaier, 2004: Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River basin. *Climatic Change*, **62**(1–3), 233–256.

Penalba, O.C. and W.M. Vargas, 2004: Interdecadal and interannual variations of annual and extreme precipitation over central-northeastern Argentina. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1565-1580.

Peters, D.L., T.D. Prowse, A. Pietroniro and R. Leconte, 2006: Establishing the flood hydrology of the Peace–Athabasca Delta, northern Canada. *Hydrol. Process.*, **20**, 4073-4096.

Petersen, T.C., M.A. Taylor, R. Demeritte, D.L. Duncombe, S. Burton, F. Thompson, A. Porter, M. Mercedes, E. Villegas, R. Semexant Fils, A. Klein Tank, A. Martis, R. Warner, A. Joyette, W. Mills, L. Alexander and B. Gleason, 2002: Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. *J. Geophys. Res.*, **107 D21**, 4601, doi:10.1029/2002JD002251.

Peterson, A.T. and J. Shaw, 2003: *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *Int. J. Parasitol.*, **33**, 919-931.

Peterson, A.T., C. Martínez-Campos, Y. Nakazawa and E. Martínez-Meyer, 2005: Time-specific ecological niche modeling predicts spatial dynamics of vector insects and human dengue cases. *T. Roy. Soc. Trop. Med. H.*, **99**, 647-655.

Peterson, B.J., R.M. Holmes, J.W. McClelland, C.J. Vorosmarty, R.B. Lammers, A.I. Shiklomanov, I.A. Shiklomanov and S. Rahmstorf, 2002: Increasing river discharge to the Arctic Ocean. *Science*, **298**, 2172–2173.

Peterson, T.C. and R.S. Vose, 1997: An overview of the Global Historical Climatology Network temperature database. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **78**, 2837–2848.

Peterson, T.C., V.S. Golubev and P.Y. Groisman, 1995: Evaporation losing its strength. *Nature*, **377**, 687–688.

Petheram, C., G. Walker, R. Grayson, T. Thierfelder and L. Zhang, 2001: Towards a framework for predicting impacts of land-use on recharge. *Aust. J. Soil Res.*, **40**, 397-417.

Pielke, R.A., Jr and M.W. Downton, 2000: Precipitation and damaging floods: trends in the United States, 1932–97. *J. Climate*, **13**, 3625-3637.

Pienitz, R., M.S.V. Douglas and J.P. Smol, 2004: *Long-term Environmental Change in Arctic and Antarctic Lakes*. Springer Verlag, Berlin, 562 pp.

Pilon-Smits, E.A.H., M.J. Ebskamp, M. Ebskamp, M. Paul, M. Jeuken, P. Weisbeek and S. Smeekens, 1995: Improved performance of transgenic fructan-accumulating tobacco under drought stress. *Plant Physiol.*, **107**, 125-130.

Pittock, B., 2003: *Climate Change: An Australian Guide to the Science and Potential Impacts*. Australian Greenhouse Office, Canberra, 239 pp.

Polemio, M. and D. Casarano, 2004: *Rainfall and Drought in Southern Italy (1821–2001)*. UNESCO/IAHS/IWHA, Pub. 286.

Polsky, C. and W.E. Easterling, 2001: Adaptation to climate variability and change in the US Great Plains: a multi-scale analysis of Ricardian climate sensitivities. *Agr. Ecosyst. Environ.*, **85**, 133-144.

Porter, J.R. and M.A. Semenov, 2005: Crop responses to climatic variation. *Philos. Trans. R. Soc. B: Biological Sciences*, **360**, 2021–2035.

Pounds, J.A. and R. Puschendorf, 2004: Ecology: clouded futures. *Nature*, **427**, 107–109.

Pounds, J. A., M. R. Bustamante, L.A. Coloma, J.A. Consuegra, M.P.L. Fogden, P.N. Foster, E. La Marca, K.L. Masters, A. Merino-Viteri, R. Puschendorf, S.R. Ron, G.A. Sanchez-Azofeifa, C.J. Still and B. E. Young, 2006: Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, **439**(7073), 161–167.

Premier of Victoria, 2006: Ballarat's future water supplies secured by major Bracks government action plan. Media release, 17 October 2006. http://www.premier.vic.gov.au/newsroom/news_item.asp?id=978.

Protopapas, L., S. Katchamart and A. Platonova, 2000: Weather effects on daily water use in New York City. *J. Hydrol. Eng.*, **5**, 332–338.

Prowse, T.D. and S. Beltaos, 2002: Climatic control of river-ice hydrology: a review. *Hydrol. Process.*, **16**, 805-822.

Prowse, T.D., F.J. Wrona and G. Power, 2004: *Threats to Water Availability in Canada*. Environment Canada, NWRI Scientific Assessment Report No. 3, 9–18.

Prowse, T.D. and Co-authors, 2006: Historical changes in Arctic freshwater ecosystems. *Ambio*, **35**(7), 339–346.

Prudhomme, C. and H. Davies, 2006: Comparison of different sources of uncertainty in climate change impact studies in Great Britain. Hydrological Processes: Special Issue of International Workshop "Climatic and Anthropogenic Impacts on Water Resources Variability". *Technical Document in Hydrology No.* **80** / *Document technique en hydrologie No.* **80**, UNESCO, Paris / UMR 5569, HydroSciences Montpellier, 2007, 183-190. http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001502/150251M.pdf.

Prudhomme, C., D. Jakob and C. Svensson, 2003: Uncertainty and climate change impact on the flood regime of small UK catchments. *J. Hydrol.*, **277**, 1–23.

Psenner, R. and R. Schmidt, 1992: Climate-driven pH control of remote Alpine lakes and effects of acid deposition. *Nature*, **356**, 781-783.

Pulwarty, R., K. Jacobs and R. Dole, 2005: The hardest working river: drought and critical water problems on the Colorado. *Drought and Water Crises: Science, Technology and Management,* D. Wilhite Ed., Taylor and Francis Press, Boca Raton, FL, 249-285.

Pulwarty, R.S. and T.S. Melis, 2001: Climate extremes and adaptive management on the Colorado River: lessons from the 1997–1998 ENSO event. *J. Environ. Manage.*, **63**, 307-324.

Qian, T. and Co-authors, 2006a: Simulation of global land surface conditions from 1948–2004. Part I: Forcing data and evaluations. *J. Hydrometeorol.*, **7**, 953–975.

Qian, Y. and Co-authors, 2006b: More frequent cloud-free sky and less surface solar radiation in China from 1955 to 2000. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L01812, doi:10.1029/2005GL024586.

Qin, D.H., 2002: *Assessment of Environment Change in Western China, 2nd Volume, Prediction of Environment Change in Western China*. Science Press, Beijing, 64, 73, 115, 132, 145-154, 160-161.

Quadrelli, R. and J.M. Wallace, 2004: A simplified linear framework for interpreting patterns of Northern Hemisphere wintertime climate variability. *J. Climate*, **17**, 3728–3744.

Quayle, W.C., L.S. Peck, H. Pet, J.C. Ellis-Evans and P.R. Harrigan, 2002: Extreme responses to climate change in Antarctic lakes. *Science*, **295**(5555), 645–645.

Quayle, W.C., P. Convey, L.S. Peck, J.C. Ellis-Evans, H.G. Butler and H.J. Peat, 2003: Ecological responses of maritime Antarctic lakes to regional climate change. *Antarctic Peninsula Climate Variability: Historical and Palaeoenvironmental Perspectives*. E. Domack, A. Leventer, A. Burnett, R. Bindschadler, P. Convey and M. Kirby, Eds., American Geophysical Union, Washington, DC, 159–170.

Queensland Government, 2005: *Queensland Water Plan 2005-2010*. Queensland Government, 27 pp. http://www.nrw.qld.gov.au/water/pdf/qld_water_plan_05_10.pdf.

Ragab, R. and C. Prudhomme, 2002: Climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: prospective and challenges for the 21st century. *Biosys. Engineering*, **81**, 3–34.

Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstieg, A., Döscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, H.E.M., Samuelson, P. and Willén, U., 2004: European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Clim. Dyn.*, **22**, 13–31.

Ramírez, E., B. Francou, P. Ribstein, M. Descloitres, R. Guérin, J. Mendoza, R.Gallaire, B. Pouyaud and E. Jordan, 2001: Small glaciers disappearing in the tropicalAndes: a case study in Bolivia: the Chacaltaya glacier, 16°S. *J. Glaciol.*, **47**, 187–194.

Rawlins, S. C., A. Chen, M. Ivey, D. Amarakoon and K. Polson, 2005: The impact of climate change/variability events on the occurrence of dengue fever in parts of the Caribbean: a retrospective study for the period 1980-2002. *West Indian Med. J. Suppl.*, **53**(2), 54.

Reay, D.S., K.A. Smith and A.C. Edwards, 2003: Nitrous oxide emission from agricultural drainage waters. *Global Chang. Biol.*, **9**, 195-203.

Reilly, J. and Co-authors, 2003: U.S. agriculture and climate change: new results. *Climatic Change*, **57**, 43–69.

Reilly, J.M., Ed., 2002: *Agriculture: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 136 pp.

Reist, J.D. and Co-authors, 2006a: General effects of climate change on arctic fishes and fish populations. *Ambio*, **35**(7), 370–380.

Reist, J.D. and Co-authors, 2006b: An overview of effects of climate change on selected arctic freshwater and anadromous fishes. *Ambio,* **35**(7), 381–387.

Reist, J.D. and Co-authors, 2006c: Effects of climate change and UV radiation on fisheries for arctic freshwater and anadromous species. *Ambio*, **35**(7), 402–410.

Republic of Vanuatu, 1999: *Vanuatu National Communication to the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, 55 pp.

Resck, D.V.S., C.A. Vasconcellos, L. Vilela and M.C.M Macedo, 2000: Impact of conversion of Brazilian cerrados to cropland and pastureland on soil carbon pool and dynamics. *Global Climate Change and Tropical Ecosystems,* R. Lal, J.M. Kimble and B.A. Stewart, Eds., CRC-Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 169-195.

Reynard, N., S. Crooks, R. Wilby and A. Kay, 2004: Climate Change and Flood Frequency in the UK. *Proc. 39th DEFRA Flood and Coastal Management Conference*, York. Defra, London, 11.1.1-11.1.12.

Richardson, D., 2002: Flood risk: the impact of climate change. *Proc. Inst. Civil Engineers-Civil Engineering*, **150**, 22–24.

Riebsame, W.E., K.M. Strzepek, J.L. Wescoat, Jr, R. Perrit, G.L. Graile, J. Jacobs, R. Leichenko, C. Magadza, H. Phien, B.J. Urbiztondo, P. Restrepo, W.R. Rose, M. Saleh, L.H. Ti, C. Tucci and D. Yates, 1995: Complex river basins. *As Climate Changes: International Impacts and Implications,* K.M. Strzepek and J.B. Smith, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 57–91.

Rivera, A., G. Casassa, R. Thomas, E. Rignot, R. Zamora, D. Antúnez, C. Acuña and F. Ordenes, 2005: Glacier wastage on Southern Adelaide Island and its impact on snow runway operations. *Ann. Glaciol.*, **41**, 57-62.

Robeson, S.M., 2002: Increasing growing-season length in Illinois during the 20th century. *Climatic Change*, **52**, 219-238.

Robock, A. and Co-authors, 2000: The global soil moisture data bank. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **81**, 1281–1299.

Robock, A. and Co-authors, 2005: Forty five years of observed soil moisture in Ukraine: no summer desiccation (yet). *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L03401, doi:10.0129/2004GL021914.

Rockstrom, J., 2003: Water for food and nature in drought-prone tropics: vapour shift in rain-fed agriculture. *Philos. Trans. Roy. Soc. London - Series B*, **358**, 1997–2009.

Roderick, M.L. and G.D. Farquhar, 2004: Changes in Australian pan evaporation from 1970 to 2002. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1077-1090.

Roderick, M.L. and G.D. Farquhar, 2005: Changes in New Zealand pan evaporation since the 1970s. *Int. J. Climatol.*, **25**, 2031-2039.

Rogora, M., R. Mosello and S. Arisci, 2003: The effect of climate warming on the hydrochemistry of Alpine lakes. *Water Air Soil Pollut.*, **148**, 347-361.

Ronchail, J., L. Bourrel, G. Cochonneau, P. Vauchel, L. Phillips, A. Castro, J.L. Guyot and E. Oliveira, 2005: Inundations in the Mamoré Basin (south-western Amazon-Bolivia) and sea-surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *J. Hydrol.*, **302**, 223-238.

Root, T.L. and S.H. Schneider, 2002: Climate change: overview and implications for wildlife. *Wildlife Responses to Climate Change: North American Case Studies*, S.H. Schneider and T.L. Root, Eds., Island Press, Washington, DC, 1–56.

Root, T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig and J.A. Pounds, 2003: Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, **421**(6918), 57–60.

Rosenberg, N.J., D.J. Epstein, D. Wang, L. Vail, R. Srinivasan and J.G. Arnold, 1999: Possible impacts of global warming on the hydrology of the Ogallala aquifer region. *Climatic Change*, **42**, 677-692.

Rosenberg, N.J., R.A. Brown, C. Izaurralde and A.M. Thomson, 2003: Integrated assessment of Hadley Centre HadCM2 climate change projections on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States. I. Climate change scenarios and impacts on irrigation water supply simulated with the HUMUS model. *Agri. Forest Meteorol.*, **117**(1–2), 73–96.

Rosenzweig, C. and F.N. Tubiello, 2007: Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **12**, 855-873.

Rosenzweig, C., F.N. Tubiello, R. Goldberg, E. Mills and J. Bloomfield, 2002: Increased crop damage in the US from excess precipitation

under climate change. *Global Environ. Chang.*, **12**, 197–202.

Ross, M.S., J.F. Meeder, J.P. Sah, P.L. Ruiz and G.J. Telesnicki, 2000: The southeast saline Everglades revisited: 50 years of coastal vegetation change. *J. Vegetation Sci.,* **11**, 101–112.

Rowell, A. and P.F. Moore, 2000: *Global Review of Forest Fires*. WWF/IUCN, Gland, 66 pp. http://www.iucn.org/themes/fcp/publications/files/global_review_forest_fires.pdf.

Ruhland, K.M., A. Priesnitz and J.P. Smol, 2003: Paleolimnological evidence from diatoms for recent environmental changes in 50 lakes across Canadian Arctic treeline. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, **35**, 110–123.

Ruosteenoja, K., T.R. Carter, K. Jylhä, and H. Tuomenvirta, 2003: *Future Climate in World Regions: An Intercomparison of Model-Based Projections for the New IPCC Emissions Scenarios*. The Finnish Environment **644**, Finnish Environment Institute, Helsinki, 83 pp.

Ruth, M., B. Davidsdottir and A. Amato, 2004: Climate change policies and capital vintage effects: the case of U.S. pulp and paper, iron and steel, and ethylene, *J. Environ. Manage.*, **70**, 235–252.

Saintilan, N. and R.J. Williams 1999: Mangrove transgression into saltmarsh environments in south east Australia. *Global Ecol. Biogeogr.*, **8**(2), 117–124.

Sala, O.A., F.S. Chapin III, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.M. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N.L. Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker and D.H. Wall, 2000: Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, **287**, 1770-1774.

Salewicz, A., 1995: Impact of climate change on the operation of Lake Kariba hydropower scheme on the Zambezi River. *Water Resources Management in the Face of Climatic and Hydrologic Uncertainties,* Z. Kaczmarek, Ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 395 pp.

Salinger, M. J., 2001: Climate variation in New Zealand and the Southwest Pacific. *The Physical Environment. A New Zealand Perspective*, A. Sturman and R. Spronken-Smith, Eds., Oxford University Press, Victoria, 35 pp.

Sanders, C. and M. Phillipson, 2003: UK adaptation strategy and technical measures: the impacts of climate change on buildings. *Build. Res. Inf.*, **31**(3–4), 210–221

Sand-Jensen, K. and N.L. Pedersen, 2005: Broad-scale differences in temperature, organic carbon and oxygen consumption among lowland streams. *Freshw. Biol.*, **50**, 1927–1937.

Sankaran, M., N.P. Hanan, R.J. Scholes, J. Ratnam, D.J. Augustine, B.S. Cade, J. Gignoux, S.I. Higgins, X. le Roux, F. Ludwig, J. Ardo, F. Banyikwa, A. Bronn, G. Bucini, K.K. Caylor, M.B. Coughenour, A. Diouf, W. Ekaya, C.J. Feral, E.C. February, P.G.H. Frost, P. Hiernaux, H. Hrabar, K.L. Metzger, H.H.T. Prins, S. Ringrose, W. Sea, J. Tews, J. Worden and N. Zambatis, 2005: Determinants of woody cover in African savannas. *Nature*, **438**, 846-849.

Santos**,** F.D., K. Forbes and R. Moita, Eds., 2002: *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*. SIAM Project Report, Gradiva, Lisbon, 456 pp.

Sanz, J.J., T.J. Potti, J. Moreno, S. Merion and O. Frias, 2003: Climate change and fitness components of a migratory bird breeding in the Mediterranean region, *Global Change Biol.*, **9**, 461–472.

Scaife, A., J. Knight, G. Vallis and C.K. Folland, 2005: A stratospheric influence on the winter NAO and North Atlantic surface climate. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L18715, doi: 10.1029/2005GL023226.

Scavia, D., J.C. Field, D.F. Boesch, R. Buddemeier, D.R. Cayan, V. Burkett, M. Fogarty, M. Harwell, R. Howarth, C. Mason, D.J. Reed, T.C. Royer, A.H. Sallenger and J.G. Titus, 2002: Climate change impacts on U.S. coastal and marine ecosystems. *Estuaries*, **25**, 149–164.

Schallenberg, M., C.J. Hall and C.W. Burns, 2003: Consequences of climate-induced salinity increases on zooplankton abundance and diversity in coastal lakes. *Marine Ecol. Prog. Ser.*, **251**, 181–189.

Schär, C., P.L. Vidale, D. Luthi, C. Frei, C. Haberli, M.A. Liniger and C. Appenzeller, 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, **427**(6972), 332–336.

Scheffer, M., S. Carpenter, J.A. Foley, C. Folke and B. Walker, 2001: Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, **413**, 591-596.

Schiermeier, Q., 2006: Insurers' disaster files suggest climate is culprit. *Nature*, **441**(7094), 674–675.

Schijven, J.F. and A.M. de Roda Husman, 2005: Effect of climate changes on waterborne disease in the Netherlands. *Water Sci. Technol.*, **51**, 79-87.

Schlenker, W., W.M. Hanemann and A.C. Fisher, 2005: Will U.S. agriculture really benefit from global warming? Accounting for irrigation in the hedonic approach. *American Economic Review*, **95**, 395–406.

Schlesinger, M.E. and N. Ramankutty, 1994: An oscillation in the global climate system of period 65–70 years. *Nature*, **367**, 723–726.

Schlesinger, W.H., 1999: Carbon sequestration in soils. *Science,* **284**, 2095.

Schneeberger, C., H. Blatter, A. Abe-Ouchi and M. Wild, 2003: Modelling changes in the mass balance of glaciers of the northern hemisphere for a transient 2× CO_2 scenario. *J. Hydrol.*, **282**(1–4), 145–163.

Schofield, N.J., 1992: Tree planting for dryland salinity control in Australia. *Agroforestry Sys.,* **20**, 1-23.

Schreider, S.Y., D.I. Smith and A.J. Jakeman, 2000: Climate change impacts on urban flooding. *Climatic Change*, **47**(1–2), 91–115.

Schröter D., W. Cramer, R. Leemans, I.C. Prentice, M.B. Araújo, N.W. Arnell, A. Bondeau, H. Bugmann, T.R. Carter, C.A. Gracia, A.C. de la Vega-Leinert, M. Erhard, F. Ewert, M. Glendining, J.I. House, S. Kankaanpää, R.J.T. Klein, S. Lavorell, M. Linder, M.J. Metzger, J. Meyer, T.D. Mitchell, I. Reginster, M. Rounsevell, S. Sabaté, S. Sitch, B. Smith, J. Smith, P. Smith, M.T. Sykes, K. Thonicke, W. Thuiller, G. Tuck, S. Zaehle and B. Zierl, 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, **310**, 1333–1337.

Schulze, E.-D., 1982: Plant life forms and their carbon, water and nutrient relations. *Physiology and Plant Ecology II. Water Relations and Carbon Assimilation,* O.L. Lange, C.B. Osmond and H. Ziegler, Eds., Springer-Verlag, Berlin, 615-676.

Schuster, C.J., A. Ellis, W.J. Robertson, J.J. Aramini, D.F. Charron and B. Marshall, 2005: Drinking water related infectious disease outbreaks in Canada, 1974-2001. *Can. J. Public Health*, **94**, 254-258.

Scott, D., 2005: Ski industry adaptation to climate change: hard, soft and policy strategies. *Tourism and Global Environmental Change*, S. Gossling and M. Hall, Eds. Routledge, Oxford. 265–285.

Scott, D. and B. Jones, 2006: *Climate Change and Seasonality in Canadian Outdoor Recreation and Tourism,* Climate Change Action Fund, University of Waterloo, Faculty of Environmental Studies, Waterloo, ON, 33 pp.

Scudder, T., 2005: *The Future of Large Dams*. Earthscan, London, 408 pp.

Semenov, S.M., V.V. Yasukevich and E.S. Gel'ver, 2006: *Identification of Climatogenic Changes*. Publishing Centre, Meteorology and Hydrology, Moscow, 325 pp.

Senate of Canada, 2003: *Climate change: We are at Risk*. Final Report, Standing Senate Committee on Agriculture and Forestry, Ottawa.

Senhorst, H.A. and J.J. Zwolsman, 2005: Climate change and effects on water quality: a first impression. *Water Sci. Technol.*, **51**, 53–59.

Seo, S. N. and R. Mendelsohn, 2006: Climate change impacts on animal husbandry in Africa: a Ricardian analysis. *CEEPA Discussion Paper No.***9**. Special Series on Climate Change and Agriculture in Africa. The Centre for Environmental Economics and Policy in Africa, University of Pretoria, Pretoria, 42 pp.

Serreze, M.C. and Co-authors, 2003: Large-scale hydro-climatology of the terrestrial Arctic drainage system. *J. Geophys. Res.*, **108**(D2), 8160.

Shabbar, A. and W. Skinner, 2004: Summer drought patterns in Canada and the relationship to global sea surface temperatures. *J. Clim.*, **17**, 2866–2880.

Shanks, G.D., S.I. Hay, D.I. Stern, K. Biomndo and R.W. Snow, 2002: Meteorologic influences on *Plasmodium falciparum* malaria in the highland tea estates of Kericho, western Kenya. *Emerg. Infect. Dis.*, **8**, 1404-1408.

Shen, X.T., Z.C. Mao and J.R. Zhu, 2003: *Saltwater Intrusion in the Changjiang Estuary*. China Ocean Press, Beijing, 175 pp (in Chinese).

Sherbinin, A., A. Schiller and A. Pulsipher, 2007: The vulnerability of global cities to climate hazards. *Environ. Urbaniz.*, **12**(2), 93–102.

Shiklomanov, I.A., Shiklomanov, A.I., Lammers, R.B., Peterson, B.J. and Vorosmarty, C.J., 2000: The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean. *The Freshwater Budget of the Arctic Ocean*, E.L. Lewis, E.P. Jones, T.D. Prowse and P. Wadhams, Eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 281–296.

Shrestha, A.B., C.P. Wake, J.E. Dibb and P.A. Mayewski, 2000: Precipitation fluctuations in the Nepal Himalaya and its vicinity and relationship with some large-scale climatological parameters. *Int. J. Climatol.*, **20**, 317–327.

Shrestha, M.L. and A.B. Shrestha, 2004: *Recent Trends and Potential Climate Change Impacts on Glacier Retreat/Glacier Lakes in Nepal and Potential Adaptation Measures*. ENV/EPOC/GF/SD/RD(2004)6/FINAL, OECD, Paris, 23 pp.

Shukla, P.R., M. Kapshe and A. Garg, 2005: Development and climate: impacts and adaptation for infrastructure assets in India. *Proc. OECD Global Forum on Sustainable Development: Development and Climate Change*, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 38 pp.

Silander, J., B. Vehviläinen, J. Niemi, A. Arosilta, T. Dubrovin, J. Jormola, V. Keskisarja, A. Keto, A. Lepistö, R. Mäkinen, M. Ollila, H. Pajula, H. Pitkänen, I. Sammalkorpi, M. Suomalainen and N. Veijalainen, 2006: *Climate Change Adaptation for Hydrology and Water Resources*. FINADAPT Working Paper 6, Finnish Environment Institute Mimeographs 336, Helsinki, 54 pp.

Silvestri, G.E. and C.S. Vera, 2003: Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 2115, doi:10.1029/2003GL018277.

Simonovic, S.P. and L.H. Li, 2003: Methodology for assessment of climate change impacts on large-scale flood protection system. *J. Water Res. Pl.-ASCE*, **129**(5), 361–371.

Sims, R.E.H., A. Hastings, B. Schlamadinger, G. Taylor and P. Smith, 2006: Energy crops: current status and future prospects. *Global Change Biol.*, **12**, 1-23.

Sinclair, M.R., J.A. Renwick and J.W. Kidson, 1997: Low-frequency variability of Southern Hemisphere sea level pressure and weather system activity. *Mon. Weather Rev.*, **125**, 2531–2543.

Sinclair, T.R. and L.C. Purcell, 2005: Is a physiological perspective relevant in a 'genocentric' age? *J. Exp. Bot.*, **56**, 2777-2782.

Singh, R.B.K., S. Hales, N. de Wet, R. Raj, M. Hearnden and P. Weinstein, 2001: The influence of climate variation and change on diarrhoeal disease in the Pacific Islands. *Environ. Health Persp.*, **109**, 155–1594.

Small, C. and R.J. Nicholls, 2003: A global analysis of human settlement in coastal zones. *J. Coastal Res.*, **19**, 584–599.

Smeets, E.M.W., A.P.C. Faaij, I.M. Lewandowski and W.C. Turkenburg, 2007: A bottom up quickscan and review of global bio-energy potentials to 2050. *Prog. Energy Comb. Sci.*, **33**, 56-106.

Smit, B. and E. Wall, 2003: *Adaptation to Climate Change Challenges and Opportunities: Implications and Recommendations for the Canadian Agri-Food Sector,* Senate Standing Committee on Forestry and Agriculture, Ottawa, Canada. http://www.parl.gc.ca/37/2/parlbus/commbus/senate/Com-e/agri-e/power-e/smith-e.htm.

Smith, K.A. and F. Conen, 2004: Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use Manage.*, **20**, 255-263.

Smith, L.C., Y. Sheng, G.M. MacDonald and L.D. Hinzman, 2005: Disappearing Arctic lakes. *Science*, **308**, 1429.

Smith, S.D., T.E. Huxman, S.F. Zitzer, T.N. Charlet, D.C. Housman, J.S. Coleman, L.K. Fenstermaker, J.R. Seemann and R.S. Nowak, 2000: Elevated CO_2 increases productivity and invasive species success in an arid ecosystem. *Nature*, **408**, 79 - 82.

Smith, V.R., 2002: Climate change in the sub-Antarctic: an illustration from Marion Island. *Climatic Change,* **52**(3), 345–357.

Smol, J.P. and Co-authors, 2005: Climate driven regime shifts in the biological communities of arctic lakes. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **102**(12), 4397–4402.

SOE, 2001: *Australia State of the Environment 2001*, Independent Report to the Commonwealth Minister for the Environment and Heritage. Australian State of the Environment Committee, CSIRO Publishing on behalf of the Department of the Environment and Heritage, 129 pp. http:/www.ea.gov.au/soe/2001.

Solanes, M. and A. Jouravlev, 2006: *Water Governance for Development and Sustainability*. Economic Commission for Latin America and the Caribbean, Santiago, 84 pp.

Somlyódy, L., 2002: *Strategic Issues of the Hungarian Water Resources Management*. Academy of Science of Hungary, Budapest, 402 pp (in Hungarian).

Sommaruga-Wograth, S., K.A. Koinig, R. Schmidt, R. Sommaruga, R. Tessadri and R. Psenner, 1997: Temperature effects on the acidity of remote alpine lakes. *Nature*, **387**, 64-67.

Sorensen, I., P. Stone and B. Rogers, 2000: Effect of time of sowing on yield of a short and a long-season maize hybrid. *Agronomy New Zealand*, **30**, 63–66.

SRA, 2005: Sequía en el Chaco genera fuerte pérdidas. Comunicado de prensa de la Sociedad Rural Argentina. http://www.ruralarg.org.ar/.

Stakhiv, E.Z., 1998: Policy implications of climate change impacts on water resource management. *Water Policy*, **1**, 159–175.

Steenvoorden, J. and T. Endreny, 2004: *Wastewater Re-use and Groundwater Quality*. IAHS Publication 285, 112 pp.

Stern, N., 2007: *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press, Cambridge, 692 pp.

Stewart, I.T., D.R. Cayan and M.D. Dettinger, 2005: Changes toward earlier streamflow timing across western North America. *J. Climate*, **18**, 1136–1155.

Stige, L.C., J. Stave, K.S. Chan, L. Ciannelli, N. Pettorelli, Glantz, P., H.R Herren and N.C. Stenseth, 2006: The effect of climate variation on agro-pastoral production in Africa. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 3049–3053.

Straile, D., D.M. Livingstone, G.A. Weyhenmeyer and D.G. George, 2003: The response of freshwater ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*, Geophysical Monograph, 134. American Geophysical Union, Washington, DC, 279 pp.

Suarez, P., W. Anderson, V. Mahal and T.R. Lakshmanan, 2005: Impacts of flooding and climate change on urban transportation: a systemwide performance assessment of the Boston Metro Area. *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, **10**(3), 231–244.

Summit Environmental Consultants, 2004: *Trepanier Landscape Unit (Westside) Water Management Plan*. Regional District of Central Okanagan and British Columbia, Ministry of Sustainable Resource Management, Kelowna, 300 pp.

Sutherland, K., B. Smit, V. Wulf, and T. Nakalevu, 2005: Vulnerability

to climate change and adaptive capacity in Samoa: the case of Saoluafata village. *Tiempo*, **54**, 11–15.

Sutherst, R.W., 2004: Global change and human vulnerability to vector-borne diseases. *Clin. Microb. Rev.*, **17**, 136–173.

Sutton, R.T. and D.L.R. Hodson, 2003: Influence of the ocean on North Atlantic climate variability 1871–1999. *J. Clim.*, **16**, 3296–3313.

Sutton, R.T. and D.L.R. Hodson, 2005: Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate. *Science*, **290**, 2133–2137.

Swank, W.T. and J.E. Douglass, 1974: Streamflow greatly reduced by converting deciduous hardwood stands to pine. *Science*, **185**, 857-859.

Swarup, A., M.C. Manna and G.B. Singh, 2000: Impact of land use and management practices on organic carbon dynamics in soils of India. *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*, R. Lal, J.M. Kimble and B.A. Stewart, Eds., CRC-Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 261-282.

Swiss Re, 1998: *Floods: An Insurable Risk*, Swiss Reinsurance Company, Zurich, 51 pp.

Syvitski, J.P.M., 2002: Sediment discharge variability in Arctic rivers: implications for a warmer future. *Polar Res.*, **21**(2), 323–330.

Syvistki, J.P.M., C.J. Vorosmarty, A.J. Kettner and P. Green, 2005: Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, **308**, 376–380.

Szolgay, J., K. Hlavcova, S. Kohnová and R. Danihlik, 2004: Assessing climate change impact on river runoff in Slovakia. *Characterisation of the Runoff Regime and its Stability in the Tisza Catchment. Proc. XXII Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. Brno, 30 August–2 September 2004. Brno, 2004. CD-edition.

Tao, F., M. Yokozawa, Y. Hayashi and E. Lin, 2003a: Changes in agricultural water demands and soil moisture in China over the last half-century and their effects on agricultural production. *Agri. Forest Meteorol.*, **118**, 251–261.

Tao, F., M. Yokozawa, Y. Hayashi and E. Lin, 2003b: Future climate change, the agricultural water cycle, and agricultural production in China. *Agri. Eco. Environ.*, **95**, 203–215.

Tao, F., M. Yokozawa, Z. Zhang, Y. Hayashi, H. Grassl and C. Fu, 2004: Variability in climatology and agricultural production in China in association with the East Asia summer monsoon and El Niño South Oscillation, *Clim. Res.*, **28**, 23–30.

Tao, F.L., M. Yokozawa, Y. Hayashi and E. Lin, 2005: A perspective on water resources in China: interactions between climate change and soil degradation. *Climatic Change*, **68**(1–2), 169–197.

Tebakari, T., J. Yoshitani, and C. Suvanpimol, 2005: Time-space trend analysis in pan evaporation over kingdom of Thailand. *J. Hydrol. Eng.*, **10**, 205-215.

Thanh, T.D., Y. Saito, D.V. Huy, V.L. Nguyen, T.K.O. Ta and M. Tateishi, 2004: Regimes of human and climate impacts on coastal changes in Vietnam. *Reg. Environ. Change*, **4**, 49–62.

The Water Page, 2001: BPD business partners for development water and sanitation clusters. http://www.africanwater.org/bpd.htm.

Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont, Y.C. Collingham, B.F.N. Erasmus, M.F. de Siqueira and Co-authors, 2004: Extinction from climate change. *Nature*, **427**, 145-148.

Thomas, J.M.G., K.J. Boote, L.H. Allen Jr., M. Gallo-Meagher and J.M. Davis, 2003: Elevated temperature and carbon dioxide effects on soybean seed composition and transcript abundance. *Crop Science*, **43**(4), 1548–1557.

Thomas, M.K., D.F. Charron, D. Waltner-Toews, C. Schuster, A.R. Maarouf and J.D. Holt, 2006: A role of high impact weather events in waterborne disease outbreaks in Canada, 1975-2001. *Int. J. Environ. Health Res.*, **16**, 167-180.

Thomson, A.M., N.J. Rosenberg, R.C. Izaurralde and R.A. Brown, 2005a: Climate change impacts for the conterminous USA: an integrated assessment Part 5. Irrigated agriculture and national grain crop production. *Climatic Change*, **69**, 89-105.

Thomson, M.C., S.J. Mason, T. Phindela and S.J. Connor, 2005b: Use of rainfall and sea surface temperature monitoring for malaria early warning in Botswana. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **73**, 214-221.

Thomson, M.C., F.J. Doblas-Reyes, S.J. Mason, R. Hagedorn, S.J. Connor, T. Phindela, A.P. Morse and T.N. Palmer, 2006: Malaria early warnings based on seasonal climate forecasts from multi-model ensembles. *Nature*, **439**, 576-579.

Thornton, P.K., P.G. Jones, T.M. Owiyo, R.L. Kruska, M. Herero, P. Kristjanson, A. Notenbaert, N. Bekele and A Omolo, with contributions from V. Orindi, B. Otiende, A. Ochieng, S. Bhadwal, K. Anantram, S. Nair, V. Kumar and U. Kulkar, 2006: *Mapping Climate Vulnerability and Poverty in Africa*. Report to the Department for International Development, ILRI, Nairobi, 200 pp.

Treacy, J.M., 1994: *Las Chacras de Coparaque: Andenes y Riego en el Valle de Colca*. Instituto de Estudios Peruanos, Lima, 298 pp.

Trenberth, K.E., 1990: Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **71**, 988–993.

Trenberth, K.E. and J.M. Caron, 2000: The Southern Oscillation revisited: sea level pressures, surface temperatures and precipitation. *J. Clim.*, **13**, 4358–4365.

Trenberth, K.E and T.J. Hoar, 1997. El Niño and climate change. *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 3057–3060.

Trenberth, K.E., and D.J. Shea, 2006: Atlantic hurricanes and natural variability in 2005, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L12704, doi:10.1029/2006GL026894.

Trenberth, K.E. and D.P. Stepaniak, 2001: Indices of El Niño evolution. *J. Clim.*, 14, 1697–1701.

Trenberth, K.E., A.G. Dai, R.M. Rasmussen and D.B. Parsons, 2003: The changing character of precipitation. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **84**, 1205–1217.

Trenberth, K.E., D.P. Stepaniak and L. Smith, 2005: Interannual variability of the patterns of atmospheric mass distribution. *J. Clim.*, **18**, 2812–2825.

Trnka, M., M. Dubrovski and Z. Zalud, 2004: Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic. *Climatic Change*, **64**, 227–255.

Tuchman, N.C., K.A. Wahtera, R.G. Wentzel and J.A. Teeri, 2003: Elevated atmospheric CO_2 alters leaf litter quality for stream ecosystems: an *in situ* leaf decomposition study. *Hydrobiologica*, **495**, 203-211.

Tumerbaatar, D., 2003: *Annual report on permafrost: potential impacts of climate change, vulnerability and adaptation assessment for grassland ecosystem and livestock sector in Mongolia*, AIACC Project Report.

UCV, 2005: Análisis de las lluvias diarias y acumuladas durante Febrero de 2005 en la región central capital. Facultad de Ingeniería, Instituto de Mecánica de Fluidos Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

UK Water Industry Research, 2004: *Climate Change and the Hydraulic Design of Sewerage Systems: Summary Report*. Report 03/CC/10/0, UKWIR, London.

UN, 2002: *CEO Briefing on Climate Change and the Financial Services Industry*. Environment Programme Finance Initiatives (UNEP FI).

UN, 2003: *World Water Development Report: Water for Life, Water for People*. UNESCO, Paris and Berghahn Books, Barcelona, 36 pp.

UN, 2006: *World Water Development Report 2: Water, a Shared Responsibility*. UNESCO, Paris, 601 pp.

UNCHS, 2003: *Local Action for Global Goals: Water and Sanitation in the World's Cities 2003*. Earthscan, London.

UNCHS, 2006: *Meeting Development Goals in Small Urban Centres:*

Water and Sanitation in the World's Cities 2006. Earthscan, London, 273 pp.

UNDP, 2006: *Beyond Scarcity: Power, Poverty, and the Global Water Crisis*. Human Development Report 2006. United Nations Development Program, New York.

UNEP/GRID-Arendal, 2002: *Vital Climate Graphics*. United Nations Environment Programme. http://www.grida.no/climate/vital/index.htm.

UN-HABITAT, 2003: *The Challenge of Slums: Global Report on Human Settlements 2003*, Earthscan Publications, London, 310 pp.

United States Environmental Protection Agency, 1997: Need for American Indian and Alaska Native water systems. *Drinking Water Infrastructure Needs Survey First Report to Congress*. EPA 812-R-97-001, UNEPA, Washington, DC, 27-33. http://www.epa.gov/ogwdw/needssurvey/pdfs/1997/report_needssurvey_1997_findings-tribal.pdf

Unkovich, M., 2003: Water use, competition, and crop production in low rainfall, alley farming systems of south-eastern Australia. *Australian J. Agri. Res.*, **54**, pp. 751-762.

UNMSM, 2004: Calor intenso y largas sequías. Especials, Perú. http://www.unmsm.edu.pe/Destacados/contenido.php?mver=11.

UNWWAP (United Nations World Water Assessment Programme), 2003: *Water for People, Water for Life - UN World Water Development Report,* UNESCO, Paris, and Berghahn Books, Oxford, 688 pp.

UNWWAP (United Nations World Water Assessment Programme), 2006: *Water: A Shared Responsibility*. UNESCO, Paris, and Berghahn Books, Oxford, 600 pp.

US Department of the Interior, 2005: *Water 2025: Preventing Crises and Conflict in the West*. Water 2025 Status Report, Washington, DC, 36 pp. http://www.doi.gov/water2025.

US Global Change Research Program, 2000: *Water: the Potential Consequences of Climate Variability and Change for the Water Resources of the United States*. National Water Assessment Group, U.S. Global Change Research Program, 160 pp. http://www.gcrio.org/NationalAssessment/water/water.pdf.

Uyarra, M., I. Cote, J. Gill, R. Tinch, D. Viner and A.L Watkinson, 2005: Island-specific preferences of tourists for environmental features: implications of climate change for tourism-dependent states. *Environ. Cons.*, **32**(1), 11–19.

van Lieshout, M., R.S. Kovats, M.T.J. Livermore and P. Martens, 2004: Climate change and malaria: analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global Environ. Chang.*, **14**, 87-99.

Van Rheenen, N.T., A.W. Wood, R.N. Palmer and D.P. Lettenmaier, 2004: Potential implications of PCM climate change scenarios for Sacramento–San Joaquin River Basin hydrology and water resources. *Climatic Change*, **62**, 257-281.

Vandenberghe, J., 2002: The relation between climate and river processes, landforms and deposits during the Quaternary. *Quaternary Int.*, **91**, 17–23.

VanRheenen, Vasilev, V., 2003: Variability of Shigella flexneri serotypes during a period in Israel, 2000-2001. *Epidemiol. Infect.*, **132**, 51–56.

Vásquez, O.C., 2004: *El Fenómeno El Niño en Perú y Bolivia: Experiencias en Participación Local*. Memoria del Encuentro Binacional Experiencias de prevención de desastres y manejo de emergencias ante el Fenómeno El Niño, Chiclayo, Peru. ITDG, 209 pp.

Vasquez-Leon, M., C.T. West, and T.J. Finan, 2003: A comparative assessment of climate vulnerability: agriculture and ranching on both sides of the US-Mexico border. *Global Environ. Chang.*, **13,** 159-173.

Venegas, S.A. and L.A. Mysak, 2000: Is there a dominant timescale of natural climate variability in the Arctic? *J. Clim.*, **13**, 3412–3434.

Vesely, J., V. Majer, J. Kopacek and S.A. Norton, 2003: Increasing temperature decreases aluminium concentrations in Central European lakes recovering from acidification. *Limnol. Oceanogr.*, **48**, 2346-2354.

Vic DSE, 2006: *Wimmera Mallee Pipeline*. Department of Sustainability and Environment, Victoria.

Villagrán de León, J., J. Scott, C. Cárdenas and S. Thompson, 2003: *Early Warning Systems in the American Hemisphere: Context, Current Status, and Future Trends*. Final Report. Hemispheric Consultation on Early Warning, Antigua, 15 pp.

Vincent, J.R., 1995: Timber trade, economics and tropical forest management. *Ecology, Conservation and Management of Southeast Asia Rainforests*, B.R. Primack and T.E. Lovejoy, Eds., Yale University Press, New Haven, CN, 241-261.

Viner, D., M. Sayer, M. Uyarra and N. Hodgson, 2006: *Climate Change and the European Countryside: Impacts on Land Management and Response Strategies*. Report prepared for the Country Land and Business Association, CLA, Norwich, 180 pp.

Viney, N.R., Bates, B.C., Charles, S.P., Webster, I.T., Bormans, M. and Aryal, S.K., 2003: Impacts of climate variability on riverine algal blooms. *Proc. International Congress on Modelling and Simulation, MODSIM 2003 14–17 July*, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand Inc., 23–28. http://mssanz.org.au/modsim03/Media/Articles/Vol%201%20Articles/23-28.pdf.

Vörösmarty, C.J., P.J. Green, J. Salisbury and R.B. Lammers, 2000: Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*, **289**, 284–288.

Vörösmarty, C.J., E.M. Douglas, A.A. Green and C. Ravenga, 2005: Geospatial indicators of emerging water stress: an application to Africa. *Ambio*, **34**(3), 230–236.

Vuille, M., R.S. Bradley, M. Werner and F. Keimig, 2003: 20th century climate change in the tropical Andes: observations and model results. *Climatic Change*, **59**, 75-99.

Wahab, H.M., 2005: The impact of geographical information system on environmental development. *Unpublished MSc Thesis*, Faculty of Agriculture, Al-Azhar University, Cairo, 149 pp.

Wall, E., and B. Smit, 2005: Climate change adaptation in light of sustainable agriculture. *J. Sustainable Agric.*, **27**, 113–123.

Walsh, J.E. and Co-authors, 2005: Cryosphere and hydrology. *Arctic Climate Impacts Assessment, ACIA*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 183–242.

Walsh, M.E., D.G. de la Torre Ugarte, H. Shapouri and S.P. Slinsky, 2003: Bioenergy crop production in the United States. *Environ. Res. Econ.*, **24**, 313-333.

Walter, M.T., D.S. Wilks, J.Y. Parlange and B.L. Schneider, 2004: Increasing evapotranspiration from the conterminous United States. *J. Hydrometeorol.*, **5**, 405-408.

Wang, T., 2003: Study on desertification in China. Contents of desertification research. *J. Desert Res.*, **23**(5), 477–482.

Warren, J., J. Berner and J. Curtis, 2005: Climate change and human health: infrastructure impacts to small remote communities in the North. *Int. J. Circumpolar Health*, **64**(5), 498.

Warren, R., N. Arnell, R. Nicholls, P. Levy and J. Price, 2006: *Understanding the Regional Impacts of Climate Change*. Research Report prepared for the Stern Review on the Economics of Climate Change. Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 90, UEA, Norwich, 223 pp

Wassmann, R., X.H. Nguyen, T.H. Chu and P.T. To, 2004: Sea-level rise affecting the Vietnamese Mekong Delta: water elevation in the flood season and implications for rice production. *Climatic Change*, **66**, 89-107.

Water 21, 2002: Joining forces. *Magazine of the International Water Association*, **October**, 55-57.

Water Corporation, 2006: *Planning for New Sources of Water*. West Australian Water Corporation. http://www.watercorporation.com.au/W/water_sources_new.cfm.

Waters, D., W.E. Watt, J. Marsalek and B.C. Anderson, 2003: Adaptation of a storm drainage system to accommodate increased rainfall resulting from climate change *J. Environ. Plan. Manag.*, **46**, 755–770.

Watson, R.T. and W. Haeberli, 2004: Environmental threats, mitigation strategies and high mountain areas. Mountain Areas: A Global Resource. *Ambio*, **13**, 2-10.

Watson, R.T., M.C. Zinyowera and R.H. Moss, Eds., 1997: *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, 517 pp.

WDR, 2003: *World Disaster Report: Focus on Ethics in Aid*. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, 240 pp.

WDR, 2004: *World Disaster Report: Focus on Community Resilience*. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, 240 pp.

Webster, P.J., V.O. Magana, T.N. Palmer, J. Shukla, R.A. Tomas, M. Yanagi and T. Yasunari, 1998: Monsoons: processes, predictability and the prospects for prediction. *J. Geophys. Res.*, **103**, 14451–14510.

Werritty, A., 2001: Living with uncertainty: climate change, river flow and water resources management in Scotland. *Sci. Total Environ.*, **294**, 29–40.

West, T.O. and G. Marland, 2003: Net carbon flux from agriculture: carbon emissions, carbon sequestration, crop yield, and land-use change. *Biogeochem.*, **63**, 73-83.

West, T.O. and W.M. Post, 2002: Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **66**, 1930-1946.

Wheaton, E., V. Wittrock, S. Kulshretha, G. Koshida, C. Grant, A. Chipanshi and B. Bonsal, 2005: *Lessons Learned from the Canadian Drought Years of 2001 and 2002: Synthesis Report*. Saskatchewan Research Council Publication No. 11602-46E03, Saskatoon, Saskatchewan. http://www.agr.gc.ca/pfra/drought/info/11602-46E03.pdf.

White, M.A., N.S. Diffenbaugh, G.V. Jones, J.S. Pal and F. Giorgi, 2006: Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **103**, 11217-11222.

Whittington, H. and S.W. Gundry, 1998: Global climate change and hydroelectric resources. *Eng. Sci. Ed. J.*, **7**, 29-34.

WHO (World Health Organization), 2003: *Report of Synthesis Workshop on Climate Change and Health in Small Islands States*, 1-4 December 2003, Republic of the Maldives. World Health Organization, Geneva, 95 pp.

WHO (World Health Organization), 2004: *Guidelines for Drinking Water Quality. Volume 1: Recommendations*, Third Edition, WHO, Geneva, 366 pp.

WHO (World Health Organization), 2005: *Water Safety Plans: Managing Drinking Water Quality from Catchment to Consumer*. Prepared by A. Davison and Co-authors, WHO/SDE/WSH/05.06, WHO, Geneva, 235 pp.

WHO/UNICEF, 2000: *Global water supply and sanitation assessment 2000 report*. World Health Organization with UNICEF, Geneva, 79 pp. http://www.who.int/docstore/water_sanitation_healt/Globassessment/GlobalTOC.htmWHO/UNICEF.

Wijeratne, M.A., 1996: Vulnerability of Sri Lanka tea production to global climate change. *Water Air Soil Poll.*, Historical Archive, 87–94.

Wilby, R.L., 2006: When and where might climate change be detectable in UK river flows? *Geophys. Res. Lett.*, **33**(19), L19407, doi:10.1029/2006GL027552.

Wilby R.L. and I. Harris, 2006: A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resour. Res.*, **42**, W02419, doi:10.1029/2005WR004065.

Williams, K.L., K.C. Ewel, R.P. Stumpf, F.E. Putz and T.W. Workman, 1999: Sea-level rise and coastal forest retreat on the west coast of Florida. *Ecology*, **80**, 2045–2063.

Williams, R.H., E.D. Larson and H. Jin, 2006: Synthetic fuels in a world of high oil and carbon prices. *Proc. 8th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, Trondheim, Norway, June.

Williams, S.E., E.E. Bolitho and S. Fox, 2003: Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe. *P. Roy. Soc. Lond. B Bio.*, **270**, 1887-1892.

Winter, T.C. and M.K. Woo, 1990: Hydrology of lakes and wetlands. *Surface Water Hydrology,* M.G. Wolman and H.C. Riggs, Eds., Geological Society of America, Boulder, CO, Vol. 0-1, 159–188.

Woo, M.K., R.D. Rowsell and R.G. Clark, 1993: *Hydrological Classification of Canadian Prairie Wetlands and Prediction of Wetland Inundation in Response to Climatic Variability*. Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Ottawa, ON, 23 pp.

Woodruff, R.E. and Co-authors, 2002: Predicting Ross River virus epidemics from regional weather data. *Epidemiology*, **13**, 384–393.

Woodruff, R.E., C.S. Guest, M.G. Garner, N. Becker and M. Lindsay, 2006: Early warning of Ross River virus epidemics: combining surveillance data on climate and mosquitoes. *Epidemiology*, **17**(5), 569–575.

Woods, R.A. and C. Howard-Williams, 2004: Advances in freshwater sciences and management. *Freshwaters of New Zealand*, J.S. Harding, M.P. Mosley, C.P. Pearson and B.K. Sorrell, Eds., New Zealand Hydrological Society Inc. and New Zealand Limnological Society Inc., Christchurch, 764 pp.

Woodworth, P.L. and D.L. Blackman, 2004: Evidence for systematic changes in extreme high waters since the mid-1970s. *J. Climate*, **17**, 1190-1197.

World Bank, 2000: *Cities, Seas and Storms: Managing Change in Pacific Island Economies. Vol. IV, Adapting to Climate Change*. The World Bank, Washington, DC, 72 pp.

World Bank, 2002: *World Development Indicators*, CD-ROM, The World Bank, Washington, DC.

World Bank, 2004a: *Water Resources Sector Strategy: Strategic Directions for World Bank Engagement*. Pub. No. 28114, The World Bank, Washington, DC, 88 pp.

World Bank, 2004b: *Modelled Observations on Development Scenarios in the Lower Mekong Basin*. Mekong Regional Water Resources Assistance Strategy, prepared for theWorld Bank with Mekong River Commission cooperation, Washington, DC and Vientiane, 142 pp. http://www. mrcmekong.org/free_download/report.htm.

World Commission on Dams, 2000: *Dams and Development: A New Framework for Decision-Making*. Earthscan, London, 442 pp.

World Water Council, 2006: *Final Report of the 4th World Water Forum*. National Water Commission of Mexico, Mexico City, 262 pp.

World Water Forum, 2000: *The Africa Water Vision for 2025: Equitable and Sustainable Use of Water for Socioeconomic Development*. World Water Forum, The Hague, 30 pp.

Wright, K.R. and A. Valencia Zegarra, 2000: *Machu Picchu: A Civil Engineering Marvel*. American Society of Civil Engineers Press, Reston, Virginia, 144 pp.

Wrona, F.J. and Co-authors, 2005: Freshwater ecosystems and fisheries. *Arctic Climate Impact Assessment, ACIA*, C. Symon, L. Arris and B. Heal, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 353–452.

Wrona, F.J., T.D. Prowse, J.D. Reist, J.E. Hobbie, L.M.J. Lévesque

and W.F. Vincent, 2006: Climate change effects on aquatic biota, ecosystem structure and function. *Ambio*, **35**(7), 359–369.

WWF, 2005: *An Overview of Glaciers, Glacier Retreat, and Subsequent Impacts in Nepal, India and China*. WWF Nepal Programme, 79 pp. http://assets.panda.org/downloads/himalayaglaciersreport2005.pdf.

Xu, C.X., 2003: *China National Offshore and Coastal Wetlands Conservation Action Plan*. China Ocean Press, Beijing, 116 pp (in Chinese).

Yamada, T., 1998: *Glacier Lake and its Outburst Flood in the Nepal Himalaya*. Monograph No. 1, March 1998, Data Center for Glacier Research, Japanese Society of Snow and Ice, Tokyo, 96 pp.

Yan, X., T. Ohara and H. Akimoto, 2003: Development of region-specific emission factors and estimation of methane emission from rice field in East, Southeast and South Asian countries. *Global Change Biology,* **9**, 237-254.

Yang, D., B. Ye and A. Shiklomanov, 2004a: Discharge characteristics and changes over the Ob River watershed in Siberia. *J. Hydrometeorol*., **5**, 595–610.

Yang, D., B. Ye and D.L. Kane, 2004b: Streamflow changes over Siberian Yenisei River basin. *J. Hydrol*., **296**, 59–80.

Yang, D.Q., D.L. Kane, L.D. Hinzman, X. Zhang, T. Zhang and H. Ye, 2002: Siberian Lena River hydrologic regime and recent change. *J. Geophys. Res*., **107**(D23), 4694, doi:10.1029/2002JD002542.

Yin, Y.Y., Q.L. Miao and G.S. Tian, 2003: *Climate Change and Regional Sustainable Development*. Science Press, Beijing, 224 pp.

Yoshikawa, K. and L.D. Hinzman, 2003: Shrinking thermokarst ponds and groundwater dynamics in discontinuous permafrost. *Permafrost Periglac. Proc*., **14**(2), 151–160.

Young, R.A., 2005: *Determining the Economic Value of Water: Concepts and Methods*. Resources for the Future Press, Washington, DC, 300 pp.

Zavaleta, E.S. and K.B. Hulvey, 2004: Realistic species losses disproportionately reduce grassland resistance to biological invaders. *Science*, **306**, 1175-1177.

Zebisch, M., T. Grothmann, D. Schroeter, C. Hasse, U. Fritsch and W. Cramer, 2005: *Climate Change in Germany: Vulnerability and Adaptation of Climate Sensitive Sectors*. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Dessau, 205 pp.

Zeidler, R.B., 1997: Continental shorelines: climate change and integrated coastal management. *Ocean Coast. Manage*., **37**(1), 41–62.

Zhai P. and X. Pan, 2003: Trends in temperature extremes during 1951–1999 in China. *Geophys. Res. Lett*., **30**(17), 1913, doi:10.1029/2003GL018004.

Zhai, P.M., 2004: Climate change and meteorological disasters. *Sci. Techn. Rev*., **193**(7), 11–14.

Zhai, P.M., A. Sun, F. Ren, X. Liu, B. Gao and Q. Zhang, 1999: Changes of climate extremes in China. *Climatic Change*, **42**, 203–218.

Zhang, T.J., O.W. Frauenfeld, M.C. Serreze, A. Etringer, C. Oelke, J. McCreight, R.G. Barry, D. Gilichinsky, D.Q. Yang, H.C. Ye, F. Ling and S. Chudinova, 2005: Spatial and temporal variability in active layer thickness over the Russian Arctic drainage basin. *J. Geophys. Res*., **110**(D16), D16101, doi:10.1029/2004JD005642.

Zhang, Y., W. Chen and J. Cihlar, 2003: A process-based model for quantifying the impact of climate change on permafrost thermal regimes, *J. Geophys. Res*., **108**(D22), 4695 doi:10.1029/2002JD003354.

Zhou, G., N. Minakawa, A.K. Githeko and G. Yan, 2004: Association between climate variability and malaria epidemics in the East African highlands. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, **101**, 2375-2380.

Zhou, Y. and R.S.J. Tol, 2005: Evaluating the costs of desalination and water transport. *Water Resourc. Res*., **41**, 1–10.

Zierl, B. and H. Bugmann, 2005: Global change impacts on hydrological processes in Alpine catchments. *Water Resourc. Res*., **41**(2), 1–13.

Apéndice I: Descripciones de modelos climáticos

Modelo	Grupo de origen	Resolución (lat/lon)	Referencia descriptiva del modelo (véase más abajo)
CGCM1	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Canadá	Componente atmosférico : ~3,7° x 3,7° Componente oceánico: ~1,8° x 1,8°	Flato et al., 2000
HadCM2	Met Office Hadley Centre, Reino Unido	2,5° x 3,75°	Johns et al., 1997
HadCM3	Met Office Hadley Centre,Reino Unido	2,5° x 3,75°	Gordon et al., 2000 Pope et al., 2000
RegCM2	National Centre for Atmospheric Research, Estados Unidos.	~50 km	Giorgi et al., 1993a, b
ECHAM4 (con OPYC3)	Max Planck Institut für Meteorologie (MPI) y Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ), Alemania	~2,8° x 2,8°	Roeckner et al., 1996

Referencias:

Flato, G.M., G.J. Boer, W.G. Lee, N.A. McFarlane, D. Ramsden, M.C. Reader and A.J. Weaver, 2000: The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis global coupled model and its climate. *Clim. Dyn.*, **16**, 451-467.

Johns, T.C., R.E. Carnell, J.F. Crossley, J.M. Gregory, J.F.B. Mitchell, C.A. Senior, S.F.B. Tett and R.A. Wood, 1997: The second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: model description, spinup and validation. *Clim. Dyn.*, **13**, 103-134.

Gordon, C., C. Cooper, C.A. Senior, H.T. Banks, J.M. Gregory, T.C. Johns, J.F.B. Mitchell and R.A. Wood, 2000: The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Clim. Dyn.*, **16**, 147-168.

Pope, V., M.L. Gallani, P.R. Rowntree and R.A. Stratton, 2000: The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model: HadAM3. *Clim. Dyn.*, **16**, 123-146.

Giorgi, F., M.R. Marinucci and G. T. Bates, 1993: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part I Boundary layer and radiative transfer processes. *Mon. Weather Rev.*, **121**, 2794-2813.

Giorgi, F., M.R. Marinucci, G. T. Bates and G. DeCanio, 1993: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part II Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Mon. Weather Rev.*, **121**, 2814-2832.

Roeckner, E., K. Arpe, L. Bengtsson, M. Christoph, M. Claussen, L. Dümenil, M. Esch, M. Giorgetta, U. Schlese and U. Schulzweida, 1996: *The atmospheric general circulation model ECHAM-4: model description and simulation of present-day climate*. Max-Planck Institute for Meteorology, Report No.218, Hamburg, Germany, 90 pp.

Apéndice II: Glosario

Responsable de edición: Jean Palutikof (Reino Unido)
Corresponsables de edición: Clair Hanson (Reino Unido), Bryson Bates (Australia)

Este Glosario está basado en los ya publicados en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC

Las cursivas del texto indican: *referencias a otros términos del Glosario; referencias secundarias del Glosario* (es decir, términos que figuraban ya en alguno de los glosarios de las contribuciones de los Grupos de trabajo del IPCC al 4IE o que están definidos en el texto de alguna de las entradas del presente Glosario).

A.

Cambio climático abrupto

El carácter no lineal del *sistema climático* puede inducir *cambios climáticos* abruptos, denominados también *cambios climáticos rápidos, episodios abruptos*, o incluso *sorpresas*. El término *abrupto* denota generalmente escalas de tiempo más rápidas que la escala de tiempo típica del forzamiento que induce los cambios. Sin embargo, no todos los cambios climáticos abruptos responden necesariamente a un *forzamiento externo*. Se han sugerido episodios abruptos de reorganización cualitativa de la circulación termohalina, de desglaciación rápida y deshielo masivo de *permafrost*, o de aumento de la respiración de los suelos hasta el punto de inducir cambios rápidos en el *ciclo de carbono*. Otros, verdaderamente inesperados, estarían ocasionados por un proceso de forzamiento rápido e intenso de un sistema no lineal.

Capa activa

Capa del terreno sometida a ciclos anuales de deshielo y congelación en áreas con subsuelo de *permafrost*.

Adaptación

Iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un *cambio climático*. Existen diferentes tipos de adaptación; por ejemplo: *anticipatoria* y *reactiva, privada* y *pública*, y *autónoma* y *planificada*. Son ejemplos de adaptación la construcción de diques fluviales o costeros, la sustitución de plantas sensibles al choque térmico por otras más resistentes, etc.

Capacidad adaptativa

Conjunto de capacidades, recursos e instituciones que permitirían a un país o a una *región* implementar medidas de *adaptación* eficaces.

Aerosoles

Conjunto de partículas sólidas o líquidas presentes en el aire, de tamaño generalmente comprendido entre 0,01 y 10 micrómetros (millonésimas de metro), que permanecen en la atmósfera durante varias horas o más. Los aerosoles pueden ser de origen natural o *antropógeno*. Pueden influir en el *clima* de varias maneras: directamente, dispersando y *absorbiendo* radiación, o indirectamente, actuando como núcleos de condensación de nube o modificando las propiedades ópticas y el período de vida de las nubes.

Forestación

Plantación de nuevos bosques en tierras que históricamente no los han tenido (durante al menos 50 años). Para un análisis del término *bosque* y de los conceptos conexos de forestación, *reforestación* y *deforestación*, véase el Informe especial del IPCC sobre uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (IPCC, 2000).

Albedo

Fracción de *radiación solar* reflejada por una superficie u objeto, frecuentemente expresada en términos porcentuales. El albedo de los suelos puede adoptar valores altos, como en el caso de las superficies cubiertas de nieve, o valores bajos, como en el de las superficies cubiertas de vegetación y los océanos. El albedo del planeta Tierra varía principalmente en función de la nubosidad, de la nieve, del hielo, de la superficie foliar y de los cambios en la cubierta del suelo

Floración de algas

Explosión reproductiva de algas en un lago, río u océano.

Alpina

Zona biogeográfica constituida por laderas de altura superior a las lindes de la vegetación arbórea, caracterizada por la presencia de formaciones de plantas herbáceas en forma de roseta y de plantas leñosas arbustivas de escasa altura y lento crecimiento.

Países del Anexo I
Grupo de países incluidos en el Anexo I (según la versión enmendada de 1998) de la *Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas*; abarca todos los países pertenecientes a la OCDE en 1990 más los países de economía en transición. En virtud de los Artículos 4.2 a) y 4.2 b) de la Convención, los países del Anexo I se comprometen específicamente a retornar, por separado o conjuntamente, de aquí al año 2000 a sus niveles de emisión de *gases de efecto invernadero* de 1990. De no indicarse lo contrario, los demás países se denominarán *países no incluidos en el Anexo I*.

Países del Anexo II
Grupo de países incluidos en el Anexo II de *la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas*; abarca todos los países pertenecientes a la OCDE en 1990. En virtud del Artículo 4.2 g) de la Convención, estos países deberían proporcionar recursos financieros para ayudar a los países en desarrollo a cumplir sus obligaciones; por ejemplo, la preparación de sus informes nacionales. Los países del Anexo II deberían también promover la transferencia de tecnologías respetuosas con el medio ambiente a los países en desarrollo.

Países del Anexo B
Grupo de países del Anexo B del *Protocolo de Kyoto* que han acordado un objetivo respecto de sus emisiones de gases de efecto invernadero, incluidos todos los *países del Anexo I* (según la versión enmendada de 1998), excepto Turquía y Belarús. Véase *Protocolo de Kyoto*.

Modos anulares
Pautas preferentes de cambio de la circulación atmosférica, que corresponden a cambios, promediados zonalmente, de los vientos del oeste en latitudes medias. El *Modo Anular Septentrional* acusa preponderantemente la presencia del Atlántico Norte, y mantiene una amplia correlación con la *Oscilación del Atlántico Norte*. El *Modo Anular Austral* corresponde al Hemisferio Sur. La variabilidad de los vientos del oeste en latitudes medias se denomina también vacilación de *flujo* (o de *viento*) *zonal*, y se define mediante un *índice zonal*. [GTI, Recuadro 3.4].

Antropógeno
Resultante de la actividad de los seres humanos o producido por éstos.

Acuicultura
Cultivo gestionado de plantas o animales acuáticos, como el salmón o los mariscos, mantenidos en cautividad con fines productivos.

Acuífero
Estrato de roca permeable que contiene agua. Los acuíferos no confinados se alimentan directamente de las lluvias, ríos y lagos locales, y su tasa de recarga dependerá de la permeabilidad de las rocas y suelos que los cubren.

Región árida
Región terrestre de pluviosidad *baja*, entendiéndose generalmente por ello un valor inferior a 250 mm de precipitación anual.

Oscilación Multidecenal Atlántica (OMA)
Fluctuación multidecenal (entre 65 y 75 años) de las *temperaturas en la superficie del mar* en el Atlántico Norte, que atravesaron fases más cálidas entre 1860 y 1880 y entre 1930 y 1960, y más frías entre 1905 y 1925 y entre 1970 y 1990, dentro de un intervalo del orden de 0,4ºC.

Atmósfera
Envoltura gaseosa que rodea la Tierra. La atmósfera seca está compuesta casi enteramente por nitrógeno (coeficiente de mezclado volumétrico: 78,1 %) y oxígeno (coeficiente de mezclado volumétrico: 20,9%), más cierto número de gases vestigiales, como el argón (coeficiente de mezclado volumétrico: 0,93%), el helio, y ciertos gases invernadero radiativamente activos, como el *dióxido de carbono* (coeficiente de mezclado volumétrico: 0,035%) o el *ozono*. La atmósfera contiene además vapor de agua, también de efecto invernadero, en cantidades muy variables aunque, por lo general, con un coeficiente de mezclado volumétrico de 1%. La atmósfera contiene también nubes y *aerosoles*.

Capa límite atmosférica
Capa atmosférica adyacente a la superficie de la Tierra que resulta afectada por el rozamiento con ésta y, posiblemente, por el transporte de calor y de otras variables a lo largo de esa superficie (AMS, 2000). Los diez metros inferiores de la capa límite, aproximadamente, en los que predomina la generación mecánica de turbulencias, se denominan *capa límite superficial*, o *capa superficial*.

Atribución
Véase *Detección y atribución*.

B.

Impedimento
Todo obstáculo que se oponga a la consecución de una meta o de un potencial de *adaptación* o de *mitigación* que sea posible superar o atenuar mediante la adopción de una política, programa o medida. La *eliminación de impedimentos* incluye la corrección de fallos del mercado de manera directa, o reduciendo costos de transacción en los sectores público y privado mediante, por ejemplo, el mejoramiento de la capacidad institucional, la reducción de riesgos y de incertidumbres, la facilitación de las transacciones de mercado y la observancia de políticas reguladoras.

Elemento de referencia, estado de referencia
Elemento o estado de una cantidad mensurable respecto del cual puede medirse un resultado alternativo (por ejemplo: un *escenario* de no intervención utiliza do como referencia para analizar escenarios de intervención).

Cuenca
Superficie de drenaje de un arroyo, río o lago.

Biodiversidad / diversidad biológica
Toda la diversidad de organismos y ecosistemas existentes en diferentes escalas espaciales (desde el tamaño de un gen hasta la escala de un *bioma*).

Bioenergía
Energía procedente de biomasa.

Biocombustible
Combustible producido a partir de materia orgánica o de aceites combustibles de origen vegetal. Son biocombustibles el alcohol, la lejía negra derivada del proceso de fabricación de papel, la madera, o el aceite de soja.

Biomasa
Masa total de organismos vivos presentes en un área o volumen dados; el material vegetal recientemente muerto suele estar conceptuado como biomasa muerta. La cantidad de biomasa se expresa mediante su peso en seco o mediante su contenido de *energía*, de carbono o de nitrógeno.

Bioma
Uno de los principales elementos regionales de la *biosfera*, claramente diferenciado, generalmente constituido por varios ecosistemas (por ejemplo: *bosques*, ríos, estanques, o pantanos) de una misma *región* con condiciones climáticas similares. Los biomas están caracterizados por determinadas comunidades vegetales y animales típicas.

Biosfera (terrestre y marina)
Parte del sistema Tierra que abarca todos los *ecosistemas* y organismos vivos de la *atmósfera*, de la tierra firme (*biosfera terrestre*) o de los océanos (*biosfera marina*), incluida la materia orgánica muerta resultante (por ejemplo, restos, materia orgánica del suelo o desechos oceánicos).

Biota
Conjunto de organismos vivos de determinada área; la flora y la fauna consideradas como un todo.

Carbono negro
Especie de *aerosol* definida a efectos prácticos en términos de absorción de luz, de reactividad química y/o de estabilidad térmica; está compuesto por hollín, carbón vegetal y/o posible materia orgánica refractaria capaz de absorber luz.

Tremedal
Humedal ácido que acumula *turba*.

Bosque boreal
Extensión boscosa de pinos, piceas, abetos y alerces que abarca desde la costa oriental de Canadá hacia el oeste, hasta Alaska, y que continúa desde Siberia, atravesando toda Rusia, hasta la llanura europea.

Capa límite
Véase: *Capa límite atmosférica*.

C.

Plantas C_3
Plantas que producen un compuesto tricarbonado durante la *fotosíntesis*; se incluyen en esta categoría la mayoría de los árboles y cultivos agrícolas, como arroz, trigo, haba de soja, papa o patata, y hortalizas.

Plantas C_4
Plantas, en su mayor parte de origen tropical, que producen un compuesto tetracarbonado durante la *fotosíntesis*; esta categoría abarca numerosos tipos de hierbas y ciertos cultivos de importancia agrícola, como el maíz, la caña de azúcar, el mijo o el sorgo.

Captación y almacenamiento de (dióxido de) carbono (CAC)
Proceso consistente en la separación del *dióxido de carbono* de fuentes industriales y del sector de la energía, su transporte hasta un lugar de almacenamiento y su aislamiento de la *atmósfera* durante largos periodos.

Ciclo del carbono
Término utilizado para describir el flujo del carbono (en diversas formas; por ejemplo, como *dióxido de carbono*) en la *atmósfera*, los océanos, la *biosfera* terrestre y la litosfera.

Dióxido de carbono (CO_2)
Gas que existe espontáneamente, y también como subproducto del quemado de combustibles fósiles procedentes de depósitos de carbono de origen fósil, como el petróleo, el gas o el carbón, del quemado de *biomasa*, o de los *cambios de uso de la tierra* y otros procesos industriales. Es el *gas invernadero antropógeno* que más afecta al equilibrio radiativo de la Tierra. Es también el gas de referencia para la medición de otros gases de efecto invernadero y, por consiguiente, su *potencial de calentamiento mundial* es igual a 1.

Enriquecimiento en dióxido de carbono (CO_2)
Véase: *Fertilización por dióxido de carbono (CO_2)*.

Fertilización por dióxido de carbono (CO_2)
Intensificación del crecimiento vegetal por efecto de una mayor concentración de *dióxido de carbono* (CO_2) en la atmósfera. En función de su mecanismo de *fotosíntesis*, ciertos tipos de plantas son más sensibles que otros a las variaciones de la concentración de CO_2 de la atmósfera.

Secuestro de carbono
Incorporación de sustancias que contienen carbono, y en particular de *dióxido de carbono*. Véase: *Secuestro*.

Cuenca de captación
Área que capta y drena el agua de lluvia.

Cólera
Infección intestinal trasmitida por el agua y causada por una bacteria (*Vibrio cholerae*), que se manifiesta en deposiciones frecuentes y acuosas, dolores abdominales espasmódicos y, finalmente, desvanecimiento por deshidratación y shock.

Mecanismo para un desarrollo limpio (MDL)
Definido en el Artículo 12 del *Protocolo de Kyoto*, el mecanismo para un desarrollo limpio persigue dos objetivos: 1) ayudar a las Partes no incluidas en el *Anexo I* a lograr un *desarrollo sostenible* y a contribuir al objetivo último de la Convención, y 2) ayudar

a las Partes del Anexo I a dar cumplimiento a sus compromisos de limitación y reducción de emisiones cuantificados. Las unidades de reducción de emisiones certificadas vinculadas a proyectos MDL emprendidos en países no incluidos en el Anexo I que limiten o reduzcan las emisiones de GEI, siempre que hayan sido certificadas por entidades operacionales designadas por la Conferencia de las Partes o por las reuniones de las Partes, pueden ser contabilizadas en el haber del inversor (estatal o industrial) por las Partes del *Anexo B*. Una parte de los beneficios de las actividades de proyecto certificadas se destina a cubrir gastos administrativos y a ayudar a países Partes en desarrollo particularmente vulnerables a los efectos adversos del *cambio climático*, para cubrir los costos de *adaptación*.

Clima

El clima se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años. El período de promediación habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes correspondientes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento). En un sentido más amplio, el clima es el estado del *sistema climático* descrito, en particular, en términos estadísticos.

Cambio climático

Cambio del estado del *clima* identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones de su valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El *cambio climático* puede deberse a procesos internos naturales, a *forzamientos externos* o a cambios *antropógenos* persistentes de la composición de la *atmósfera* o del *uso de la tierra*. La *Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas*, en su Artículo 1, define el cambio climático como "cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". La CMCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales. Véase también *Variabilidad climática; Detección y atribución*.

Retroefecto climático

Mecanismo de interacción entre procesos del *sistema climático* en virtud del cual el resultado de un proceso inicial desencadena cambios en un segundo proceso que, a su vez, influye en el proceso inicial. Un retroefecto positivo intensifica el proceso original, mientras que un retroefecto negativo lo reduce.

Modelo climático

Representación numérica del *sistema climático* basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de *retroefecto*, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático se puede representar mediante modelos de diverso grado de complejidad; en otras palabras, para cada componente o conjunto de componentes es posible identificar un espectro o jerarquía de modelos que difieren en aspectos tales como el número de dimensiones espaciales, el grado en que aparecen explícitamente representados los procesos físicos, químicos o biológicos, o el grado de utilización de parametrizaciones empíricas. Los modelos de circulación general atmósfera/marino (MCGAO) acoplados proporcionan una de las más completas representaciones del sistema climático actualmente disponibles. Se está evolucionando hacia modelos más complejos que incorporan química y biología interactivas (véase GTI, Capítulo 8). Los modelos climáticos se utilizan como herramienta de investigación para estudiar y simular el *clima* y para fines operacionales, en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales.

Proyección climática

Proyección de la respuesta del *sistema climático* a diversos *escenarios* de *emisiones* o de concentraciones de *gases de efecto invernadero* y *aerosoles*, o a escenarios de *forzamiento radiativo*, frecuentemente basada en simulaciones mediante *modelos climáticos*. La diferencia entre proyecciones climáticas y predicciones climáticas estriba en que las primeras dependen del escenario de emisiones/concentraciones/forzamiento radiativo utilizado, basado en diversos supuestos, por ejemplo respecto a un futuro socioeconómico y tecnológico que podría o no materializarse y que está sujeto, por consiguiente, a un grado de *incertidumbre* considerable.

Escenario climático

Representación plausible y en ocasiones simplificada del *clima* futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherente definido explícitamente para investigar las posibles consecuencias del *cambio climático antropógeno*, y que puede introducirse como datos entrantes en los modelos de impacto. Las *proyecciones climáticas* suelen utilizarse como punto de partida para configurar escenarios climáticos, aunque éstos requieren habitualmente información adicional, por ejemplo sobre el clima actual observado. Un *escenario de cambio climático* es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual.

Sistema climático

El sistema climático es un sistema muy complejo que consta de cinco componentes principales: *atmósfera*, *hidrosfera*, *criosfera*, superficie terrestre y *biosfera*, y de las interacciones entre ellos. El sistema climático evoluciona en el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y por efecto de *forzamientos externos*, como las erupciones volcánicas o las variaciones solares, y de forzamientos *antropógenos*, como el cambio de composición de la atmósfera o el *cambio de uso de la tierra*.

Variabilidad climática

El concepto de variabilidad climática hace referencia a las variaciones del estado medio y a otras características estadísticas

(desviación típica, sucesos extremos, etc.) del *clima* en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del *sistema climático (variabilidad interna)* o a variaciones del *forzamiento externo antropógeno* o natural (*variabilidad externa*). Véase también *Cambio climático*.

CO_2
Véase : *Dióxido de carbono*.

Fertilización por CO_2
Véase: *Fertilización por dióxido de carbono*.

Confianza
En el presente documento técnico, el nivel de confianza en el acierto de un resultado se expresa mediante la terminología universal definida en el Recuadro 1.1. Véase también *verosimilitud; incertidumbre*.

Sesión de control
Sesión de un modelo efectuada para establecer unos *elementos de referencia* que permitan efectuar comparaciones con experimentos sobre el cambio climático. En la sesión de control se utilizan valores constantes del *forzamiento radiativo* causado por *gases de efecto invernadero* correspondientes a la era *preindustrial*.

Coral
El término '*coral*' tiene diversos significados, aunque suele hacer referencia al nombre común del orden taxonómico *Scleractinia*, cuyos especímenes poseen esqueletos de caliza duros, y se clasifican en corales de arrecife y no de arrecife, o en corales de aguas frías y templadas. Véase: *Arrecifes de coral*.

Arrecife de coral
Estructura caliza de apariencia rocosa creada por *corales* a lo largo de las costas oceánicas (*arrecifes litorales*), o sobre riberas o plataformas sumergidas a escasa profundidad (*barreras coralinas, atolones*), y especialmente conspicua en los océanos tropicales y subtropicales.

Costo
Consumo de recursos (tiempo de trabajo, capital, materiales, combustibles, etc.) como consecuencia de una actividad. En economía, todos los recursos se valoran en términos de su *costo de oportunidad*, es decir, del valor de la utilización alternativa más valiosa del recurso. Los costos se definen de diversas maneras y basándose en una serie de supuestos que afectan a su valor. Existen diversos tipos de costos: *costos administrativos, costos de damnificación* (de ecosistemas, personas o economías, por los efectos negativos del *cambio climático*), y *costos de implementación* por cambios de las normas y reglamentaciones existentes o por actividades de creación de capacidad, información, formación y educación, etc. Los *costos privados* son los que recaen sobre personas, empresas u otras entidades privadas que emprenden una actividad, en tanto que los *costos sociales* incluyen además los costos externos que recaen sobre el medio ambiente y sobre la sociedad en su conjunto. La contrapartida de los costos son los beneficios (denominados también a veces *costos negativos*). Una vez descontados los beneficios, se denominan *costos netos*.

Criosfera
Componente del *sistema climático* que abarca la totalidad de la nieve, el hielo y el *terreno congelado* (incluido el *permafrost*) situados encima y debajo de la superficie terrestre y oceánica. Véase también *Glaciar; Manto de hielo*.

D.

Deforestación
Conversión de una extensión boscosa en no boscosa. Con respecto al término *bosque* y otros términos similares, como *forestación, reforestación* o *deforestación*, véase el Informe del IPCC sobre uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (IPCC, 2000).

Dengue
Enfermedad infecciosa vírica propagada por mosquitos, denominada también fiebre quebrantahuesos, ya que se caracteriza por un fuerte dolor de las articulaciones y de la espalda. Sucesivas infecciones de este virus pueden provocar la fiebre hemorrágica del dengue (FHD) y el síndrome de choque por dengue (SCD), que pueden ser mortales.

Desierto
Región de muy bajos niveles de precipitación, entendiéndose generalmente por ello un valor inferior a 100 mm de precipitación anual.

Desertificación
Degradación de las tierras en extensiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas por efecto de diversos factores, en particular las variaciones climáticas y las actividades humanas. La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación define la degradación de las tierras como la reducción o pérdida de la productividad biológica o económica y de la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, ocasionada, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de poblamiento, tales como: (i) la *erosión* del suelo causada por el viento o el agua, (ii) el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo, y (iii) la pérdida duradera de vegetación natural.

Detección y atribución
El *clima* varía constantemente en todas las escalas de tiempo. El proceso de ***detección*** del *cambio climático* consiste en demostrar que el clima ha cambiado en un sentido estadístico definido, sin indicar las razones del cambio. El proceso de ***atribución*** de causas del cambio climático consiste en establecer las causas más probables del cambio detectado con cierto grado de *confianza* definido.

Vía o recorrido de desarrollo
Proceso evolutivo basado en un conjunto de características tecnológicas, económicas, sociales, institucionales, culturales y biofísicas que determinan las interacciones entre los *sistemas humanos* y los naturales, incluidas las pautas de producción y consumo de todos los países, a lo largo del tiempo y para una escala dada. Las *vías de desarrollo alternativas* son diferentes trayectorias de desarrollo posibles, y la continuación de las tendencias actuales es únicamente una de ellas.

Régimen de alteración
Frecuencia, intensidad y tipo de alteración; por ejemplo, incendios, invasiones de insectos o plagas, inundaciones, o *sequías*.

Reducción de escala
Método consistente en extraer información en escalas local a regional (de 10 a 100 km) de modelos o análisis de datos de mayor escala. Existen básicamente dos métodos: el *dinámico*, y el *empírico/estadístico*. El método dinámico está basado en los resultados de *modelos climáticos* regionales, de modelos mundiales con resolución espacial variable, o de modelos mundiales de alta resolución. El método empírico/estadístico está basado en el desarrollo de relaciones estadísticas que vinculen las variables atmosféricas de gran escala con las variables climáticas de escala local/regional. En todos los casos, la calidad del producto obtenido dependerá de la calidad del modelo utilizado.

Sequía
En términos generales, la sequía es una "ausencia prolongada o insuficiencia acentuada de precipitación", o bien una "insuficiencia que origina escasez de agua para alguna actividad o grupo de personas", o también "un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas suficientemente prolongado para que la ausencia de precipitación ocasione un serio desequilibrio hidrológico" (Heim, 2002). La sequía ha sido definida en términos diversos. La *sequía agrícola* se evidencia en el déficit de humedad existente en el metro más externo de espesor del suelo (la zona radicular), que afecta a los cultivos; la *sequía meteorológica* se manifiesta principalmente en un déficit prolongado de precipitación; y la *sequía hidrológica* se caracteriza por un caudal fluvial o por un nivel de lagos y aguas subterráneas inferior a los valores normales. Las *megasequías* son sequías prolongadas y extensas que duran mucho más de lo normal, generalmente un decenio o más.

Dique
Muro artificial de contención a lo largo de una costa construido para evitar la inundación de tierras bajas.

Modelo de vegetación mundial dinámico (MVMD)
Modelo que simula el desarrollo y la dinámica de la vegetación en el espacio y en el tiempo por efecto del *clima* y de otros cambios medioambientales.

Descarga de hielo dinámica
Descarga de hielo proveniente de *mantos de hielo* o *casquetes de hielo* causada por la dinámica del manto o casquete de hielo (por ejemplo, en forma de flujos de *glaciar*, corrientes de hielo o icebergs desgajados), y no por el deshielo o la *escorrentía*.

E.

Comunidad ecológica
Comunidad de plantas y animales caracterizada por una combinación de especies típica, cada una de ellas con su nivel de abundancia. Véase también *Ecosistema*.

Ecosistema
Sistema constituido por organismos vivos que interactúan entre sí y con su entorno físico. Los límites atribuibles a un ecosistema son en cierta medida arbitrarios, y dependen del aspecto considerado o estudiado. Así, un ecosistema puede abarcar desde escalas espaciales muy pequeñas hasta la totalidad del planeta Tierra.

El Niño-Oscilación Austral (ENOA)
El término El Niño se refería inicialmente a una corriente de aguas cálidas que discurre periódicamente a lo largo de la costa de Ecuador y Perú, alterando la pesquería local. En la actualidad, designa un calentamiento del agua en toda la cuenca del Océano Pacífico tropical al este de la línea horaria. Este fenómeno está asociado a cierta fluctuación de una pauta mundial de presiones en la superficie tropical y subtropical, denominada *Oscilación Austral*. Este fenómeno *atmósfera*-océano acoplado, cuya escala de tiempo más habitual abarca entre dos y aproximadamente siete años, es conocido como *El Niño-Oscilación Austral* o *ENOA*. Su presencia suele cuantificarse en función de la anomalía de presión en superficie entre Darwin y Tahití y de las temperaturas de la superficie del mar en la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial. Durante un episodio de ENOA, los vientos alisios habituales se debilitan, reduciendo el flujo ascendente y alterando las corrientes oceánicas, con lo que aumenta la temperatura superficial del mar, lo cual debilita a su vez los vientos alisios. Este fenómeno afecta considerablemente a las pautas de viento, de temperatura superficial del mar y de precipitación en el Pacífico tropical. Sus efectos influyen en el clima de toda la *región* del Pacífico y de muchas otras partes del mundo mediante teleconexiones en toda la extensión del planeta. La fase fría de ENOA se denomina *La Niña*.

Escenario de emisiones
Representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que podrían ser radiativamente activas (por ejemplo, *gases de efecto invernadero, aerosoles*), basada en un conjunto coherente de supuestos sobre las fuerzas que las dinamizan (por ejemplo, el desarrollo demográfico y socioeconómico, la evolución tecnológica) y en las principales relaciones entre ellos. Los *escenarios de concentraciones*, obtenidos a partir de los escenarios de emisiones, se introducen en un *modelo climático* para obtener *proyecciones del clima*. Véase: *Escenarios IE-EE*.

Endémico
Circunscrito a una localidad o región, o peculiar de una de ellas. En relación con la salud humana, el término endémico puede

denotar una enfermedad o agente presente o habitualmente prevalente en una población o área geográfica en todo momento.

Energía
Cantidad de trabajo o de calor producido. La energía se clasifica en varios tipos, y es útil para los fines humanos cuando fluye de un lugar a otro, o cuando es transformada en un tipo de energía diferente. La *energía primaria* (conocida también como *fuentes de energía*) es la que contienen los recursos naturales (por ejemplo, carbón, crudo, gas natural o uranio) antes de experimentar conversiones antropógenas. Para ser *utilizable* (por ejemplo, en forma de luz), la energía primaria ha de ser convertida y transportada. La *energía renovable* se obtiene de las corrientes de energía continuas o repetitivas del medio ambiente natural, y abarca tecnologías no de carbono, como la solar, la hidroeléctrica, la eólica, la energía de mareas y olas, o el calor geotérmico, así como tecnologías neutras en carbono, como las de biomasa. La *energía contenida* es la que se utiliza para producir una sustancia material (como los metales procesados, o los materiales de construcción), teniendo en cuenta la energía utilizada en la instalación productora (de orden cero), la empleada para producir los materiales utilizados por la instalación productora (de primer orden), y así sucesivamente.

Agregado
Grupo de simulaciones paralelas mediante modelos utilizadas para obtener *proyecciones climáticas*. La variación de los resultados de uno a otro elemento del agregado proporciona una estimación del grado de *incertidumbre*. Los agregados obtenidos de un mismo modelo con condiciones iniciales diferentes caracterizan únicamente la incertidumbre vinculada a la *variabilidad climática* interna, mientras que los conjuntos multimodelo, que incorporan simulaciones de diversos modelos, reflejan también el efecto de las diferencias entre éstos. Los agregados de parámetros perturbados, cuyos parámetros son sometidos a variaciones de manera sistemática, tienen por objeto obtener una estimación de la incertidumbre de los modelos más objetiva que la alcanzable mediante los agregados multimodelo tradicionales.

Epidémico
Que sobreviene súbitamente con unas tasas de incidencia claramente superiores a las normalmente esperadas; se aplica especialmente a las *enfermedades infecciosas*, pero es también aplicable a cualquier enfermedad, lesión u otra alteración de la salud que sobrevenga en un brote de esas características.

Línea de equilibrio
Frontera entre la región de un *glaciar* en que se produce una pérdida anual neta de masa de hielo (área de ablación) y la región en que se produce una ganancia anual neta (área de acumulación). La altitud de esa frontera se denomina *altitud de la línea de equilibrio*.

Erosión
Proceso de detracción y transporte de suelo y rocas por desgaste externo o desmoronamiento, o por efecto de corrientes de agua, *glaciares*, olas, vientos o aguas subterráneas.

Eutrofización
Proceso en virtud del cual una extensión de agua (frecuentemente poco profunda) se enriquece (de manera natural o por efecto de la polución) en nutrientes disueltos, con una deficiencia estacional de oxígeno disuelto.

Evaporación
Proceso de transición entre el estado líquido y el gaseoso.

Evapotranspiración
Proceso combinado de evaporación en la superficie de la Tierra y de transpiración de la vegetación.

Forzamiento externo
Agente de forzamiento ajeno al *sistema climático,* que induce un cambio en éste. Son forzamientos externos las erupciones volcánicas, las variaciones solares, los cambios *antropógenos* de la composición de la atmósfera y los cambios de uso de la tierra.

Extinción
Desaparición completa de una especie biológica.

Extirpación
Desaparición de una especie de parte de su territorio; *extinción* local.

Fenómeno meteorológico extremo
Fenómeno meteorológico raro en determinado lugar y época del año. Aunque hay diversas definiciones de "raro", la rareza normal de un fenómeno meteorológico extremo sería igual o superior a los percentilos 10 o 90 de la función de densidad de probabilidad observada. Por definición, las características de un *estado del tiempo extremo* pueden variar en función del lugar en sentido absoluto. Un fenómeno extremo, por sí solo, no puede ser atribuido simple y llanamente a un *cambio climático antropógeno*, ya que hay siempre una probabilidad finita de que haya sobrevenido de manera natural. Cuando una pauta de actividad atmosférica extrema persiste durante algún tiempo (por ejemplo, durante una estación), puede clasificarse como *episodio climático extremo*, especialmente si arroja un promedio o un total que es en sí mismo un valor extremo (por ejemplo, *sequías* o lluvias intensas a lo largo de una estación).

F.

Retroefecto
Véase: *Retroefecto climático*.

Cadena alimentaria
Cadena de *relaciones tróficas* que se establece cuando varias especies se alimentan unas de otras. Véase: *Trama alimentaria*.

Seguridad alimentaria
Situación en que una población tiene acceso seguro a cantidades suficientes de alimentos inocuos y nutritivos para su crecimiento y desarrollo normal y para una vida activa y sana. La *inseguridad alimentaria* puede deberse a la falta de alimentos, a un poder adquisitivo insuficiente, o a la distribución o uso inapropiados de los alimentos en la unidad familiar.

Trama alimentaria
Red de *relaciones tróficas* en una *comunidad ecológica,* que abarca varias *cadenas alimentarias* interconectadas.

Forzamiento
Véase: *Forzamiento externo*.

Bosque
Tipo de vegetación en que predominan los árboles. Las definiciones de bosque en distintos lugares del mundo son muy diversas, en consonancia con la diversidad de condiciones biogeofísicas y de estructuras sociales y económicas. En el marco del *Protocolo de Kyoto* rigen ciertos criterios particulares. Este término y otros de parecida índole, como *forestación, reforestación* o *deforestación*, se examinan en el Informe especial del IPCC sobre uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (IPCC, 2000).

Combustibles de origen fósil, combustibles fosílicos
Combustibles básicamente de carbono, procedentes de depósitos de hidrocarburos de origen fósil, como el carbón, la turba, el petróleo o el gas natural.

Convención Marco sobre el Cambio Climático
Véase: *Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas*.

Lentejón de agua dulce
Masa lenticular subterránea de agua dulce situada bajo una isla oceánica. Está situada sobre aguas salinas.

Terreno congelado
Suelo o masa rocosa en que el agua de los poros se encuentra total o parcialmente congelada. El *permafrost* es un caso particular de terreno congelado. Cuando experimenta un ciclo anual de congelación-fusión se denomina *terreno estacionalmente congelado*.

G.
Modelo de Circulación General
Véase: *Modelo climático*.

Lago glacial
Lago de agua de *glaciar* fundida, situado en la cara anterior (*lago proglacial*), en la superficie (*lago supraglacial*), en el interior (*lago englacial*) o en el lecho de un glaciar (*lago subglacial*).

Glaciar
Masa de hielo terrestre que fluye pendiente abajo por efecto de la gravedad (mediante deformación interna y/o deslizamiento de su base), constreñida por el estrés interno y por el rozamiento de su base y de sus lados. Los glaciares son mantenidos por la acumulación de nieve en grandes altitudes, compensada por la fusión en altitudes bajas o por la descarga vertida al mar. Véase: *Balance másico*.

Calentamiento mundial, calentamiento global
Aumento gradual, observado o proyectado, de la temperatura de la superficie mundial como una de las consecuencias del forzamiento radiativo causado por las emisiones antropógenas.

Globalización
Integración e interpendencia crecientes de los países del mundo, debidas al mayor volumen y diversidad de transacciones transfronterizas de bienes y servicios, a la libertad de circulación de capitales entre países, y a la mayor rapidez y extensión con que se difunden la tecnología, la información y la cultura.

Gobernanza
El sentido en que se entendía el concepto de gobierno ha cambiado, en respuesta a los cambios sociales, económicos y tecnológicos de los últimos decenios. Consecuentemente, el término gobierno, definido estrictamente en términos de Estado-nación, ha dado paso al concepto más amplio de gobernanza, que reconoce los aportes de diversos niveles de gobierno (mundial, internacional, regional, local) y los papeles desempeñados por el sector privado, por los actores no gubernamentales y por la sociedad civil.

Efecto invernadero
Los *gases de efecto invernadero* absorben eficazmente la radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, por la propia *atmósfera* debido a esos mismos gases, y por las nubes. La radiación atmosférica es emitida en todas direcciones, en particular hacia la superficie de la Tierra. Por ello, los gases de efecto invernadero retienen calor en el sistema superficie-*troposfera*. Este fenómeno se denomina *efecto invernadero*. La radiación infrarroja térmica de la troposfera está fuertemente acoplada a la temperatura existente a la altitud en que se emite. En la troposfera, la temperatura suele disminuir con la altura. De hecho, la radiación infrarroja emitida hacia el espacio proviene de una altitud cuya temperatura promedia es de -19ºC, en equilibrio con la radiación solar entrante neta, mientras que la superficie de la Tierra se mantiene a una temperatura mucho más alta, de +14ºC en promedio. Una mayor concentración de gases invernadero da lugar a una mayor opacidad infrarroja de la atmósfera y, por consiguiente, a una radiación efectiva hacia el espacio desde una altitud mayor y a una temperatura menor. Ello origina un *forzamiento radiativo* que intensifica el efecto invernadero, suscitando así el denominado *efecto invernadero intensificado*.

Gas de efecto invernadero (GEI), gas invernadero (GI)
Componente gaseoso de la *atmósfera*, natural o *antropógeno*, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, por la atmósfera y por las nubes. Esta propiedad ocasiona el *efecto invernadero*. El vapor de agua (H_2O), *el dióxido de carbono* (CO_2), el *óxido nitroso* (N_2O), el *metano* (CH_4) y el *ozono* (O_3) son los gases invernadero primarios de la atmósfera terrena. Esta última contiene, además, cierto número de gases invernadero enteramente antropógenos, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, contemplados en el Protocolo de Montreal. Además del CO_2, del N_2O y del CH_4, el *Protocolo de Kyoto* contempla

los gases de efecto invernadero hexafloururo de azufre (SF_6), hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos (PFC).

Producto interno bruto (PIB)
Valor monetario del conjunto de bienes y servicios producidos en el ámbito de una nación.

Producto nacional bruto (PNB)
Valor monetario del conjunto de bienes y servicios producidos en el ámbito de la economía de una nación; incluye los ingresos generados en otros países por quienes residen en ellos, pero no los generados por extranjeros.

Producción primaria bruta
Cantidad total de carbono fijada por las plantas mediante *fotosíntesis*.

Recarga de agua subterránea
Proceso en virtud del cual la zona de saturación de un *acuífero* recibe agua del exterior, que se incorpora directamente en determinada formación o indirectamente mediante otra formación.

H.
Hábitat
Entorno o lugar de residencia natural en el que viven determinada planta, animal o grupo de organismos estrechamente relacionados.

Circulación de Hadley
Circulación retornante de origen térmico, con estructura de celda atmosférica, consistente en un flujo de aire hacia los polos en la *troposfera* superior, un movimiento descendente hacia los anticiclones subtropicales, una corriente de retorno en forma de vientos alisios en las inmediaciones de la superficie, y un movimiento ascendente cerca del Ecuador, en la denominada Zona de Convergencia Intertropical.

Herbácea
Planta no leñosa con floración.

Respiración heterotrófica
Conversión de materia orgánica en *dióxido de carbono* por organismos no vegetales.

Holoceno
Era geológica que abarca desde hace 11.600 años aproximadamente hasta el momento actual.

Sistema humano
Todo sistema en el cual las organizaciones humanas desempeñan un papel de primer orden. Frecuentemente, aunque no siempre, es sinónimo de *sociedad*, o de *sistema social*; por ejemplo, los sistemas agrícolas, políticos, tecnológicos o económicos.

Ciclo hidrológico
Ciclo en virtud del cual el agua se evapora de los océanos y de la superficie de la tierra, es transportada sobre la Tierra por la circulación atmosférica en forma de vapor de agua, se condensa para formar nubes, se precipita nuevamente en forma de lluvia o nieve, es interceptada por los árboles y la vegetación, genera *escorrentía* en la superficie terrestre, se infiltra en los suelos, recarga las aguas subterráneas, afluye a las corrientes fluviales y, en la etapa final, desemboca en los océanos, de los que se evaporará nuevamente (AMS, 2000). Los distintos sistemas que intervienen en el ciclo hidrológico suelen denominarse *sistemas hidrológicos*.

Sistemas hidrológicos
Véase: *Ciclo hidrológico*.

Hidrosfera
Componente del *sistema climático* que incluye las superficies en estado líquido y las aguas subterráneas, y que abarca océanos, mares, ríos, lagos de agua dulce, capas freáticas, etc.

Hipolimnético
Referente a la parte de un lago situada bajo la *termoclina*, constituida por agua estancada y con una temperatura esencialmente uniforme, excepto durante el período de renuevo.

I.
Casquete de hielo
Masa de hielo en forma de cúpula que suele cubrir un área elevada y que es considerablemente menos extensa que un *manto de hielo*.

Manto de hielo
Masa de hielo terrestre de espesor suficiente para recubrir en su mayor parte la topografía del lecho rocoso subyacente, de tal modo que su forma viene determinada principalmente por su dinámica (es decir, por el flujo del hielo al deformarse su estructura interna y/o deslizarse en su base). Un manto de hielo fluye desde una altiplanicie central de hielo con una pendiente poco acentuada, en promedio. Las márgenes suelen tener una pendiente más pronunciada, y la mayoría del hielo afluye en corrientes de hielo rápidas o *glaciares* de aflujo, a veces hacia el mar o hacia plataformas de hielo que flotan sobre el mar. En la actualidad, existen sólo tres grandes mantos de hielo: uno en Groenlandia y dos en la Antártida (los mantos de hielo antárticos oriental y occidental), separados por la Cordillera Transantártica. En los períodos glaciales ha habido otros mantos de hielo.

Plataforma de hielo
Manto de hielo flotante de espesor considerable conectado a una costa (generalmente de gran extensión, y con una superficie llana o levemente inclinada), que suele ocupar los entrantes costeros de los *mantos de hielo*. Casi todas las plataformas de hielo se encuentran en la Antártida

Impactos (de un cambio climático)
Efectos de un *cambio climático* sobre los *sistemas humanos* y naturales. Según se considere o no el proceso de *adaptación*, cabe distinguir entre impactos potenciales e impactos residuales:

- *Impactos potenciales*: Todo impacto que podría materializarse si sobreviniera un cambio proyectado del clima, sin tener en cuenta la *adaptación*.
- *Impactos residuales*: Impactos del cambio climático que sobrevendrían después de una *adaptación*.

Véase también: *Impactos de mercado*, e *Impactos no de mercado*.

Pueblos indígenas

No hay ninguna definición internacionalmente aceptada de pueblo indígena. Algunas características comunes frecuentemente contempladas en el derecho internacional y por los organismos de las Naciones Unidas para caracterizar los pueblos indígenas son: residencia en o vinculación a hábitats tradicionales geográficamente diferenciados, o a territorios ancestrales, y a sus recursos naturales; conservación de la identidad cultural y social, y mantenimiento de instituciones sociales, económicas, culturales y políticas paralelas a las de las sociedades y culturas predominantes o dominantes; proveniencia de grupos de población presentes en un área dada, por lo general desde antes de que se crearan los estados o territorios modernos y se definieran las fronteras actuales; e identificación de sí propio como parte de un grupo cultural indígena diferenciado, y deseo de preservar esa identidad cultural.

Efecto aerosol indirecto

Los *aerosoles* pueden actuar como núcleos de condensación de nube, o modificar las propiedades ópticas y el período de vida de las nubes, induciendo de ese modo un *forzamiento radiativo* indirecto del *sistema climático*. Cabe distinguir dos tipos de efectos indirectos:

Efecto sobre el albedo de las nubes: Forzamiento radiativo inducido por un aumento de los *aerosoles antropógenos*, que origina un aumento inicial de la concentración de gotículas y una disminución del tamaño de las gotículas para un contenido dado de agua en estado líquido, y que produce un aumento del *albedo* de las nubes.

Efecto sobre el período de vida de las nubes: Forzamiento inducido por un aumento de los *aerosoles antropógenos* que origina una disminución del tamaño de las gotículas, reduciendo así la eficiencia de la precipitación y modificando, en consecuencia, el contenido de agua en estado líquido, y el espesor y período de vida de las nubes.

Además de estos efectos indirectos, los *aerosoles* pueden producir efectos semidirectos. Éstos consisten en la absorción de radiación solar por aerosoles, que eleva la temperatura del aire y tiende a incrementar la estabilidad estática respecto de la superficie. Además, puede ocasionar la *evaporación* de las pequeñas gotas de las nubes.

Enfermedad infecciosa

Cualquier enfermedad causada por agentes microbianos que puede transmitirse entre personas, o de animales a personas. El contagio puede producirse por contacto físico directo, por la utilización de un objeto que contenga organismos infecciosos, por conducto de un portador de la enfermedad o de agua contaminada, o mediante gotitas infectadas expulsadas al aire por efecto de la tos o de la respiración.

Infraestructura

Equipo, sistemas de suministro, empresas productivas, instalaciones y servicios básicos indispensables para el desarrollo, funcionamiento y crecimiento de una organización, ciudad o nación.

Gestión integrada de recursos hídricos (GIRH)

Concepto habitual en el ámbito de la gestión de recursos hídricos que, sin embargo, no ha sido definido inequívocamente. La GIRH está basada en cuatro principios formulados por la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, celebrada en Dublín en 1992: 1) el agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para el sostenimiento de la vida, del desarrollo y del medio ambiente; 2) el desarrollo y gestión del agua deben estar planteados en términos participativos, incorporando de ese modo a usuarios, planificadores y responsables de políticas en todos los niveles; 3) las mujeres desempeñan un papel esencial en el abastecimiento, gestión y protección de los recursos hídricos; 4) el agua tiene un valor económico en todos sus usos que suscitan competencia, y debe ser reconocida como un bien económico.

Oscilación Pacífica Interdecenal (OPI)

También conocida como *Oscilación Decenal del Pacífico (ODP)*. Véase: *Índice del Pacífico Norte*. Para más detalles, consúltese GTI, Recuadro 3.4.

Variabilidad interna

Véase: *Variabilidad climática*.

Eficiencia de utilización de agua de riego

Cantidad de *biomasa* o de semillas producida por unidad de agua de riego aplicada; suele cifrarse en aproximadamente una tonelada de materia seca por cada 100 mm de agua aplicada.

Escenarios IS92

Véase: *Escenarios de emisiones*.

Isostasia

Este término caracteriza la respuesta viscoelástica de la litosfera y del manto a las variaciones de la carga en la superficie. Cuando la carga de la litosfera y/o del manto varía como consecuencia de una alteración de la masa de hielo terrestre, de la masa oceánica, de la sedimentación, de la erosión o del crecimiento montañoso, se producen ajustes isostáticos verticales tendentes a equilibrar la nueva carga.

K.

Protocolo de Kyoto

El Protocolo de Kyoto de la *Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas* fue adoptado en 1997 en Kyoto, Japón, en el tercer período de sesiones de la Conferencia de las Partes (COP) de la CMCC. Contiene compromisos jurídicamente vinculantes, que vienen a sumarse a los señalados en la CMCC. Los países del *Anexo B* del Protocolo (la mayoría de los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico, y los países de economía en transición) acordaron reducir, entre 2008 y 2012, sus emisiones *de gases*

invernadero antropógenos (*dióxido de carbono*, *metano*, *óxido nitroso*, hidrofluorocarbonos, perfluorcarbonos y hexafloruro de azufre) en un 5% como mínimo respecto de los niveles de 1990 en el periodo comprometido 2008-2012. El *Protocolo de Kyoto* entró en vigor el 16 de febrero de 2005.

L.

La Niña

Véase: *El Niño/Oscilación Austral (ENOA)*.

Uso de la tierra y cambio de uso de la tierra

El ***uso de la tierra*** es el conjunto de disposiciones, actividades e insumos (conjunto de actividades humanas) adoptados para cierto tipo de cubierta terrestre. Designa también los fines sociales y económicos que persigue la gestión de la tierra (por ejemplo, pastoreo o extracción y conservación de madera).

El cambio de uso de la tierra es un cambio del uso o gestión de la tierra por los seres humanos que puede inducir un cambio de la cubierta terrestre. Los cambios de la cubierta terrestre y de uso de la tierra pueden influir en el *albedo* superficial, en la *evapotranspiración*, en las *fuentes* y *sumideros* de *gases de efecto invernadero* o en otras propiedades del *sistema climático*, por lo que pueden producir un *forzamiento radiativo* y/o otros impactos sobre el *clima*, a escala local o mundial. Véase también el Informe del IPCC sobre uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (IPCC, 2000).

Vertedero

Lugar destinado a la evacuación de desechos, que son depositados a nivel del terreno o a un nivel superior o inferior. Está limitado a emplazamientos técnicamente acondicionados con materiales de cobertura, disposición controlada de los desechos y gestión de líquidos y gases. Se excluye la evacuación de desechos no controlada.

Deslizamiento de tierra

Masa de material que se desliza pendiente abajo por efecto de la gravedad, frecuentemente con ayuda del agua cuando el material está saturado; movimiento rápido de una masa de suelo, rocas o material suelto por una pendiente.

Tasa de disminución

Tasa de variación de una variable atmosférica, por lo general la temperatura, en función de la altura. Se considera positiva cuando la variable disminuye con la altura.

Flujo de calor latente

Flujo de calor que se transmite desde la superficie de la Tierra a la *atmósfera*, vinculado a la evaporación o condensación de vapor de agua en la superficie; es uno de los componentes del presupuesto de energía en superficie.

Lixiviación

Arrastre de elementos del suelo o de productos químicos a él aplicados por percolación del agua a través del suelo.

Verosimilitud

La posibilidad de que ocurra determinado evento o resultado, siempre que sea posible estimarla por métodos probabilísticos, se expresa en este informe mediante una terminología estándar definida en el Recuadro 1.1. Véase también *incertidumbre*, *confianza*.

Pequeña Era Glacial (PEG)

Período comprendido entre 1400 y 1900 aproximadamente, en que las temperaturas del Hemisferio Norte eran, por lo general, más frías que ahora, sobre todo en Europa.

M.

Paludismo

Enfermedad parasitaria endémica o epidémica causada por una especie del género *Plasmodium* (protozoos) y transmitida a los seres humanos por mosquitos del género *Anopheles*; produce accesos de fiebre alta y trastornos sistémicos, y afecta a unos 300 millones de personas en todo el mundo, de las que fallecen unos 2 millones cada año.

Impactos de mercado

Impactos que pueden cuantificarse en términos monetarios y que afectan directamente al *producto interno bruto*; por ejemplo, las variaciones de precio de los insumos y/o bienes agrícolas. Véase también *Impactos no de mercado*.

Balance de masa (de glaciares, casquetes de hielo o mantos de hielo)

En una formación de hielo, diferencia entre el insumo de masa (acumulación) y la pérdida de masa (por ablación o desgajamiento de icebergs). El balance de masa contiene los términos siguientes:

Balance de masa específico: pérdida o ganancia neta de masa durante un *ciclo hidrológico* en un punto de la superficie de un *glaciar*.

Balance de masa total (del glaciar): resultado de integrar espacialmente el balance de masa específico para la superficie total del glaciar; masa total adquirida o perdida por un glaciar a lo largo de un ciclo hidrológico.

Balance de masa específico medio: balance de masa total por unidad de área del glaciar. Cuando se especifica la *superficie* (*balance de masa superficial específico*, etc.) no se toman en cuenta los aportes en forma de flujo de hielo; en caso contrario, el balance de masa recoge los flujos de hielo aportados y el desgajamiento de icebergs. El balance de masa superficial específico es positivo en el área de acumulación y negativo en el área de ablación.

Meningitis

Inflamación de las meninges (parte de la envoltura del cerebro), generalmente causada por bacterias, virus u hongos.

Circulación de renuevo meridional (CRM)

Circulación de renuevo meridional (norte-sur) de los océanos en gran escala, promediada zonalmente. En el Atlántico, transporta hacia el norte las aguas superiores del océano, relativamente cálidas, y hacia el sur las aguas profundas, relativamente más frías. La *Corriente del Golfo* es parte integrante de esta circulación atlántica.

Metano (CH_4)

El metano es uno de los seis *gases de efecto invernadero* que

el *Protocolo de Kyoto* se propone reducir. Es el componente principal del gas natural, y está asociado a todos los hidrocarburos utilizados como combustibles, a la ganadería y a la agricultura. El *metano de lecho de carbón* es el que se encuentra en las vetas de carbón.

Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)
Conjunto de metas, cuantificadas y limitadas en el tiempo, encaminadas a combatir la pobreza, el hambre, las enfermedades, el analfabetismo, la discriminación de las mujeres y la degradación del medio ambiente, y acordadas por la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas en el año 2000.

Ciénaga
Humedal que acumula *turba*. Véase *Tremedal*.

Mitigación
Cambios y sustituciones tecnológicos que reducen el insumo de recursos y las emisiones por unidad de producción. Aunque hay varias políticas sociales, económicas y tecnológicas que reducirían las emisiones, la mitigación, referida al *cambio climático*, es la aplicación de políticas de reducción de las emisiones de *gases de efecto invernadero* y de potenciación de los *sumideros*.

Monzón
En las regiones tropical y subtropical, inversión estacional de los vientos de superficie y de la precipitación a ellos asociada, por efecto de las diferencias entre el calentamiento de la masa terrestre a escala continental y el del océano adyacente. Las lluvias monzónicas caen principalmente sobre tierra firme, durante los veranos.

Montana
Zona biogeográfica constituida por laderas altas relativamente húmedas y frescas, situadas bajo la zona *subalpina*, que se caracteriza por una mezcla de bosques caducifolios en las elevaciones bajas y bosques de coníferas, de hoja perenne, en las más altas.

Morbilidad
Tasa de casos de enfermedad o de otros trastornos de salud relativa a una población, considerando las tasas de morbilidad específicas por edades. Son indicadores de morbilidad la incidencia/prevalencia de enfermedades crónicas, las tasas de hospitalización, las consultas de atención primaria, los días de baja por incapacidad (es decir, los días de ausencia del trabajo), o la prevalencia de síntomas.

Mortalidad
Tasa de casos de defunción en una población; se calcula considerando las tasas de defunción específicas por edades y permite, por consiguiente, cifrar la esperanza de vida y la cantidad de muertes prematuras.

N.

Producción ecosistémica neta (PEN)
La producción ecosistémica neta es la *producción primaria neta (PPN)* menos la *respiración heterotrófica* (en su mayor parte, descomposición de materia orgánica muerta) de un *ecosistema* en una misma área.

Producción primaria neta (PPN)
La producción primaria neta es la *producción primaria bruta* menos la *respiración* autotrófica, es decir, la suma de los procesos metabólicos necesarios para el crecimiento y mantenimiento de las plantas, en una misma área.

Óxido nitroso (N_2O)
Uno de los seis tipos de *gases de efecto invernadero* que el *Protocolo de Kyoto* se propone reducir. La principal fuente antropógena de óxido nitroso es la agricultura (la gestión de la tierra y del estiércol), pero recibe también aportaciones importantes del tratamiento de aguas de desecho, del quemado de combustibles fósiles y de los procesos industriales químicos. Asimismo, el óxido nitroso es producido naturalmente por muy diversas fuentes biológicas presentes en el suelo y en el agua, y particularmente por la acción microbiana en los bosques tropicales pluviales.

Política sin perjuicios
Política que generaría beneficios sociales y/o económicos netos independientemente de que sobreviniera o no un *cambio climático antropógeno*.

Organización no gubernamental (ONG)
Grupo o asociación sin ánimo de lucro organizado al margen de las estructuras políticas institucionales para conseguir determinados objetivos sociales y/o medioambientales o defender la causa de determinados partidarios.

No linealidad
Se dice que un proceso es 'no lineal' cuando no hay una relación proporcional simple entre causa y efecto. El *sistema climático* contiene muchos procesos no lineales, por lo que su comportamiento es potencialmente muy complejo.

Impactos no de mercado
Impactos que afectan a los *ecosistemas* o al bienestar humano y que no son fácilmente expresables en términos monetarios; por ejemplo, un mayor riesgo de muerte prematura, o un aumento del número de personas amenazadas por el hambre. Véase también: *Impactos de mercado*.

Oscilación Noratlántica (ONA)
Oscilación consistente en variaciones de signo opuesto de la presión barométrica en las proximidades de Islandia y de las Azores. Se corresponde con fluctuaciones de la intensidad de los principales vientos atlánticos del oeste hacia Europa y, por consiguiente, con fluctuaciones de los ciclones subsumidos junto con los frentes a éstos asociados. Véase GTI, Recuadro 3.4.

Índice del Pacífico Norte (IPN)
Promedio de las anomalías de presión al nivel medio del mar en la depresión de las Aleutianas sobre el golfo de Alaska (30°N-65°N, 160°E-140°W). Es un índice de la *Oscilación*

Decenal del Pacífico (ODP) (también conocida como *Oscilación Pacífica Interdecenal del Pacífico*. Para más detalles, consúltese GTI, Recuadro 3.4.

O.

Arenas alquitranadas y esquisto bituminoso

Arenas porosas no consolidadas, areniscas de roca y esquistos que contienen material bituminoso extraíble mediante minería y convertible en combustible líquido.

Tremedal ombrotrófico

Humedal ácido en que se acumula *turba*, alimentado por agua de lluvia (y no por agua subterránea) y que, por consiguiente, es particularmente pobre en nutrientes.

Ozono (O_3)

Forma triatómica del oxígeno (O_3); uno de los componentes gaseosos de la *atmósfera*. En la *troposfera*, el ozono se genera tanto espontáneamente como mediante reacciones fotoquímicas de gases resultantes de actividades humanas (smog). El ozono troposférico actúa como *gas de efecto invernadero*. En la *estratosfera*, el ozono es generado por la interacción entre la radiación ultravioleta solar y las moléculas de oxígeno (O_2). El ozono estratosférico desempeña un papel preponderante en el equilibrio radiativo de la estratosfera. Su concentración alcanza un valor máximo en la capa de ozono.

P.

Oscilación Decenal del Pacífico (ODP)

Conocida también como Oscilación Pacífica Interdecenal (OPI). Véase: *Índice del Pacífico Norte,* [GTI, Recuadro 3.4]

Pauta Pacífico-Norteamericana (PNA)

Pauta atmosférica ondulatoria de gran escala que exhibe una sucesión de anomalías troposféricas en los sistemas de alta y de baja presión desde la parte occidental del Pacífico subtropical hasta la costa oriental de América del Norte, [GTI, Recuadro 3.4]

Turba

La turba se forma a partir de la vegetación muerta, normalmente de musgos del género *Sphagnum*, que se descomponen tan sólo parcialmente, por estar sumergidos permanentemente en agua y por la presencia de sustancias conservantes, como los ácidos húmicos.

Turbera

Humedal (por ejemplo, una *ciénaga*) que acumula lentamente *turba*.

Percentilo

Valor que indica, sobre una escala de cero a cien, el porcentaje de valores de un conjunto de datos que son iguales o inferiores a él. Suele utilizarse para estimar los extremos de una distribución. Por ejemplo, el percentilo 90 (10) denota el umbral de los valores extremos superiores (inferiores).

Permafrost

Terreno (suelo o roca, junto con el hielo y la materia orgánica que contienen) que permanece a un máximo de 0ºC durante al menos dos años consecutivos. Véase también: *Terreno congelado*.

pH

Unidad sin dimensiones que mide el grado de acidez del agua (o de una solución). El agua pura tiene un pH igual a 7. Las soluciones ácidas tienen un pH inferior a esa cifra, y las soluciones básicas, superior. El pH se mide según una escala logarítmica. Así, cuando el pH disminuye en una unidad, la acidez se multiplica por 10.

Fenología

Estudio de los fenómenos naturales que se repiten periódicamente en los sistemas biológicos (por ejemplo, etapas de desarrollo o migración) y de su relación con el *clima* y con los cambios estacionales.

Fotosíntesis

Proceso en virtud del cual las plantas verdes, las algas y ciertas bacterias toman *dióxido de carbono* del aire (o bicarbonato, en un medio acuático) para formar hidratos de carbono. Hay varias vías de fotosíntesis posibles, con diferentes respuestas a las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera. Véase: *Fertilización por dióxido de carbono*.

Plancton

Microorganismos que viven en las capas superiores de los sistemas acuáticos. Cabe diferenciar entre el *fitoplancton*, que depende de la fotosíntesis para abastecerse de energía, y el *zooplancton*, que se alimenta de fitoplancton.

Políticas

En el lenguaje de *la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas*, las políticas son adoptadas y/o encomendadas por los gobiernos, frecuentemente de consuno con las empresas y con la industria del país o con otros países, a fin de acelerar las medidas de *mitigación* y de *adaptación*. Por ejemplo, los impuestos sobre el carbono o sobre otras fuentes de energía, la implantación de normas de eficiencia de combustible para los automóviles, etc. Las *políticas comunes y coordinadas o armonizadas* son las adoptadas conjuntamente por las partes.

Producción primaria

Todas las modalidades de producción realizadas por las plantas, denominadas también productores primarios. Véase *Producción primaria bruta*, *Producción primaria neta* y *Producción ecosistémica neta*.

Proyección

Evolución futura que podría seguir una cantidad o conjunto de cantidades, frecuentemente calculada mediante un modelo. Se distingue entre proyecciones y predicciones para denotar que las proyecciones están basadas en supuestos relativos, por ejemplo, a eventualidades socioeconómicas y tecnológicas que podrían o no hacerse realidad y que conllevan, por consiguiente, un grado de *incertidumbre* considerable. Véase también: *Proyección climática*.

Indicador indirecto
Registro local cuya interpretación en base a ciertos principios físicos y biofísicos permite representar un conjunto de variaciones relacionadas con el clima en tiempos pasados. Los datos así obtenidos se denominan datos indirectos. Son datos indirectos los análisis de polen, los registros de crecimiento arbóreo anular, las características de los corales, o ciertos datos obtenidos de núcleos de hielo.

R.

Forzamiento radiativo
Cambio, expresado en vatios por metro cuadrado, W/m^2, de la irradiancia neta (la descendente menos la ascendente) en la tropopausa, debido a un cambio del dinamizante externo del *cambio climático*; por ejemplo, un cambio de la concentración de *dióxido de carbono* o de la energía emitida por el Sol. El forzamiento radiativo se calcula manteniendo fijas en un valor no perturbado todas las propiedades de la *troposfera* y dejando que las temperaturas de la *estratosfera*, una vez perturbadas, se reajusten hasta alcanzar el equilibrio dinámico-radiativo. Cuando no contempla como variable la temperatura de la estratosfera, se denomina forzamiento radiativo *instantáneo*. A los efectos del presente documento, el forzamiento radiativo se define específicamente como el cambio respecto de 1750 y, a menos que se indique lo contrario, denota un promedio mundial y anual.

Pastizal
Tierra de pastoreo, extensión arbustiva, *sabana* o *tundra* no gestionadas.

Reconstrucción
Utilización de indicadores *climáticos* como elementos auxiliares para determinar climas (generalmente del pasado).

Reforestación
Plantación de *bosques* en tierras que ya habían contenido bosque pero que estaban destinadas a otro uso. Para más detalles sobre el término *bosque* y otros términos de naturaleza similar, como *forestación*, reforestación y *deforestación*, véase el Informe del IPCC sobre uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (IPCC, 2000).

Régimen
Estados preferentes del *sistema climático*, que suelen representar una fase de las pautas o modos de variabilidad climática predominantes.

Región
Territorio caracterizado por determinados rasgos geográficos y climatológicos. El *clima* de una región resulta afectado por forzamientos de escala regional y local, como la topografía, las características de los *usos de la tierra*, los lagos, etc., y por influencias provenientes de regiones distantes.

Resevorio
Almacenamiento artificial o natural de agua (por ejemplo, lagos, estanques o *acuíferos*), del que puede extraerse agua, por ejemplo con fines de riego o de abastecimiento de agua.

Resiliencia
Capacidad de un sistema social o ecológico de absorber una alteración sin perder ni su estructura básica o sus modos de funcionamiento, ni su capacidad de autoorganización, ni su capacidad de adaptación al estrés y al cambio.

Respiración
Proceso en virtud del cual los organismos vivos convierten materia orgánica en *dióxido de carbono*, liberando energía y consumiendo oxígeno.

Ribereño
Relativo a, habitante de o situado en la ribera de un curso natural de agua (por ejemplo, un río), de un lago o de una costa baja.

Escorrentía
Parte de la precipitación que no se evapora ni es transpirada, sino que fluye sobre la superficie del terreno y retorna a las masas de agua. Véase: *Ciclo hidrológico*.

S.

Salinización
Acumulación de sales en los suelos.

Intrusión de agua salada
Desplazamiento de agua dulce superficial o subterránea debido a la irrupción de agua salada, que tiene mayor densidad. Suele producirse en áreas costeras y estuarios, como consecuencia de una menor influencia de los procesos terrestres (por ejemplo, una disminución de la *escorrentía* y de la correspondiente recarga de agua subterránea, o una detracción excesiva de agua de los acuíferos), o a una mayor influencia de los procesos marinos (por ejemplo, *el aumento del nivel del mar* relativo).

Sabana
Bioma de pastizal o bosque tropical o subtropical con arbustos dispersos, árboles diseminados o espesura arbórea muy rala, caracterizado en todos los casos por un *clima* seco (árido, semiárido o semihúmedo).

Escenario
Descripción plausible y frecuentemente simplificada de un futuro verosímil, basada en un conjunto consistente y coherente de supuestos sobre las fuerzas dinamizantes y sobre las relaciones más importantes. Los escenarios pueden estar basados en *proyecciones*, pero suelen basarse también en datos obtenidos de otras fuentes, acompañados en ocasiones de una descripción textual. Véase también *Escenarios IE-EE*; *Escenario climático*; *Escenario de emisiones*.

Hielo marino
Toda formación de hielo existente en el mar por congelación de sus aguas. Puede consistir en fragmentos discontinuos (*témpanos*) que flotan en la superficie del océano a merced del viento y de las corrientes (*hielo a la deriva*), o en un manto inmóvil anclado a la costa (*hielo fijo terrestre*).

Bioma de hielo marino
Bioma constituido por el conjunto de organismos marinos que

viven en el interior o en la superficie de los hielos marinos flotantes (agua de mar congelada) de los océanos polares.

Cambio del nivel del mar / Aumento del nivel del mar
El nivel del mar puede cambiar, tanto en términos mundiales como locales, como consecuencia de: i) cambios de configuración de las cuencas oceánicas, ii) cambios de la masa total de agua, o iii) cambios de la densidad del agua. En condiciones de calentamiento mundial, el aumento del nivel del mar puede estar inducido por un aumento de la masa de agua total procedente del deshielo de la nieve y hielo terrestres, o por un cambio de densidad del agua debido al incremento de la temperatura del agua del océano o a cambios de la salinidad. Se habla de *aumento del nivel del mar relativo* para referirse a un aumento local del nivel del océano respecto del terrestre, posiblemente por efecto de la elevación del océano y/o del hundimiento de la tierra.

Nivel del mar equivalente (NME)
Variación del promedio mundial del nivel del mar que se produciría si se incorporase en o detrajese de los océanos una cantidad de agua o de hielo dada.

Temperatura superficial del mar (TSM)
Temperatura másica de los primeros metros de espesor de la superficie del océano medida mediante buques, boyas o derivadores. A partir de los años 40, las mediciones dejaron de efectuarse mediante cubos de agua, que fueron sustituidos por muestras de la toma de agua del motor. Se efectúan también mediciones satelitales de la temperatura epidérmica (es decir, de una fracción de milímetro de espesor superficial) en el espectro infrarrojo, o de un centímetro de espesor superficial en microondas, aunque hay que ajustarlas para que sean compatibles con la temperatura másica.

Terreno estacionalmente congelado
Véase: *Terreno congelado*.

Región semiárida
Región de pluviosidad moderadamente baja, no muy productiva, que suele clasificarse como *pastizal*. Suele aceptarse como "moderadamente bajo" un nivel de precipitación anual de entre 100 y 250 mm. Véase también: *Región árida*.

Sensibilidad
Grado en que un sistema resulta afectado, positiva o negativamente, por el *cambio climático* o por la *variabilidad del clima*. Los efectos pueden ser *directos* (por ejemplo, un cambio del rendimiento de los cultivos en respuesta a un cambio de la temperatura media, del intervalo de temperaturas o de la variabilidad de la temperatura) o *indirectos* (por ejemplo, los daños causados por una mayor frecuencia de inundaciones costeras como consecuencia de un *aumento del nivel del mar*).

Secuestro
Almacenamiento de carbono en *reservorios* terrestres o marinos. El *secuestro biológico* consiste, en particular, en la detracción directa de CO_2 de la atmósfera mediante *cambios de uso de la tierra*, *forestación*, *reforestación*, almacenamiento de carbono en *vertederos*, y otras prácticas que enriquecen en carbono los suelos agrícolas.

Silvicultura
Cultivo, desarrollo y cuidado de los *bosques*.

Sumidero
Todo proceso, actividad o mecanismo que detrae de la *atmósfera* un *gas de efecto invernadero*, un *aerosol*, o alguno de sus precursores.

Banco de nieve
Acumulación estacional de nieve que se funde lentamente.

Agua de nieve equivalente
Volumen/masa de agua que se obtendría si se fundiera determinada masa de nieve o de hielo.

Humedad del suelo
Agua almacenada en o sobre la superficie terrestre que puede experimentar *evaporación*.

Fuente
Suele designar todo proceso, actividad o mecanismo que libera un *gas de efecto invernadero* o *aerosol*, o un precursor de cualquiera de ellos, a la *atmósfera*. Puede designar también, por ejemplo, una fuente de *energía*.

Índice de Oscilación Austral (IOA)
Véase: *El Niño/Oscilación Austral*.

Escala espacial y escala temporal
El *clima* puede variar en escalas temporales y espaciales muy diversas. Las *escalas espaciales* abarcan desde extensiones locales (inferiores a 100.000 km^2) hasta regionales (entre 100.000 y 10 millones de km^2) o continentales (de 10 a 100 millones de km^2). Las *escalas temporales* abarcan desde períodos estacionales hasta geológicos (de hasta centenares de millones de años).

Escenarios IE-EE
Escenarios de emisiones desarrollados en Nakićenović and Swart (2000) y utilizados, en particular, como base para algunas de las *proyecciones climáticas* indicadas en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Los términos siguientes ayudarán a comprender mejor la estructura y la manera en que se utiliza el conjunto de escenarios IE-EE:

- *Familia de escenarios*: Escenarios con líneas argumentales demográficas, sociales, económicas y técnicas similares. El conjunto de escenarios IE-EE está integrado por cuatro familias de escenarios, denominadas A1, A2, B1 y B2.
- *Escenario ilustrativo*: Escenario que tipifica alguno de los seis grupos de escenarios referidos en el Resumen para responsables de políticas de Nakićenović and Swart (2000). Contiene cuatro escenarios testimoniales revisados para los grupos de escenarios A1, A2, B1 y B2 y dos escenarios adicionales para los grupos A1FI y A1T. Todos los grupos

de escenarios son igualmente consistentes.

- *Escenario testimonial*: Borrador de escenario insertado originalmente en el sitio web del IE-EE para representar una familia de escenarios dada. Su selección se determinó en función de las cuantificaciones iniciales que mejor reflejaban la línea argumental y las particularidades de determinados modelos. Los escenarios testimoniales no son más verosímiles que otros escenarios, pero el equipo de redacción del IE-EE los consideró ilustrativos de determinada línea narrativa. Figuran, en versión revisada, en Nakićenović and Swart (2000). Estos escenarios fueron meticulosamente analizados por todo el equipo de redacción y mediante el proceso abierto del IE-EE. Se seleccionaron también escenarios ilustrativos de los otros dos grupos de escenarios.
- *Línea argumental*: Descripción textual de un escenario (o familia de escenarios) que expone sus principales características, las relaciones entre las principales fuerzas dinamizantes y la dinámica de su evolución.

Parte interesada
Persona u organización que tiene algún interés legítimo en un proyecto o entidad, o que resultaría afectada por determinada medida o *política*.

Marea de tempestad
Aumento episódico de la altura del mar en determinado lugar causado por condiciones meteorológicas extremas (presión atmosférica baja y/o vientos fuertes). Se define como la diferencia entre el nivel de la marea alcanzado y el esperado en un lugar y momento dados.

Trayectoria de tempestad
Originalmente, denotaba la trayectoria de determinado sistema atmosférico ciclónico, pero en la actualidad suele designar, en términos más generales, la *región* barrida por la trayectoria principal de una perturbación extratropical descrita en términos de sistemas de baja presión (ciclónicos) y de alta presión (anticiclónicos).

Línea argumental
Descripción textual de un escenario (o familia de escenarios) que expone sus principales características, las relaciones entre las principales fuerzas dinamizantes y la dinámica de su evolución.

Estratosfera
Región de la *atmósfera* muy estratificada, situada sobre la *troposfera*, que abarca desde los 10 km (9 km en latitudes altas y 16 km en los trópicos, en promedio) hasta los 50 km de altitud, aproximadamente.

Flujo fluvial/caudal
Flujo de agua que discurre por el cauce de un río, expresado por ejemplo en m^3/s. Sinónimo de descarga fluvial.

Subvención
Pago directo por un gobierno, o reducción de impuestos a una entidad privada, para la aplicación de una práctica que el gobierno desea fomentar. La reducción de las *emisiones de gases invernadero* se estimula mediante la reducción de subvenciones existentes que producen un aumento de las emisiones (por ejemplo, las subvenciones al uso de combustibles de origen fósil), o mediante la subvención de prácticas que reduzcan las emisiones o potencien los sumideros (por ejemplo, el recubrimiento aislante de edificios, o la plantación de árboles).

Suculenta
Planta (por ejemplo, los cactus) que posee órganos que almacenan agua, facilitando con ello su supervivencia en condiciones de *sequía*.

Desarrollo sostenible
Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades

T.

Taiga
Franja más septentrional de *bosques boreales* adyacente a la *tundra* ártica.

Tecnología
Aplicación práctica de los conocimientos para conseguir un fin específico haciendo uso tanto de artefactos técnicos (hardware, equipamiento) como de información (social) (software o *know-how* para la producción y utilización de artefactos).

Teleconexión
Conexión entre *variaciones climáticas* en lugares del planeta muy distantes entre sí. En términos físicos, las teleconexiones suelen reflejar movimientos de olas en gran escala que transfieren energía desde las regiones fuente a lo largo de trayectorias preferentes a través de la *atmósfera*.

Dilatación térmica
En relación con el *aumento del nivel del mar*, designa el aumento de volumen (y disminución de densidad) resultante del calentamiento del agua. El calentamiento del océano conlleva un aumento de volumen y, por consiguiente, un aumento del nivel del mar. Véase: *Cambio del nivel del mar*.

Termoclina
Región del océano mundial, situada normalmente a una profundidad de 1 km, en que la temperatura desciende rápidamente con la profundidad, y que señala la frontera entre la superficie y el océano.

Circulación termohalina (CTH)
Circulación oceánica de gran escala, determinada por la densidad, y causada por diferencias de temperatura y de salinidad. En el Atlántico Norte, la circulación termohalina consiste en un flujo hacia el norte de aguas templadas de la superficie, acompañado de un flujo hacia el sur de aguas frías en capas profundas, que origina un transporte neto de calor hacia el polo. El hundimiento de las aguas superficiales se produce en regiones muy restringidas de latitudes altas. Se denomina también *circulación de renuevo meridional* (CRM).

Termokarst
Topografía irregular salpicada de hoyos poco profundos, montículos y depresiones frecuentemente cubiertas de agua (lagunas), originada por la fusión de hielo terreno o de *permafrost*. Los procesos determinados por un aumento de temperatura que dan lugar a la formación de termokarst se denominan procesos de termokarst.

Umbral
En un sistema, grado de magnitud de un proceso que desencadena un cambio repentino y rápido. En un sistema ecológico, económico o de otro tipo, punto o grado de magnitud a partir del cual aparecen propiedades nuevas, que invalidan predicciones basadas en relaciones matemáticas válidas para grados de magnitud inferiores.

Transpiración
Evaporación de vapor de agua de la superficie de las hojas a través de estomas. Véase: *Evapotranspiración*.

Tendencia
En el presente documento, el término *tendencia denota* un cambio en el valor de una variable, generalmente monótono, a lo largo del tiempo.

Relación trófica
Relación ecológica que se establece cuando una especie se alimenta de otra.

Troposfera
Parte más inferior de la *atmósfera*, que abarca desde la superficie hasta unos 10 km de altitud en latitudes medias (de 9 km en latitudes altas a 16 km en los trópicos, en promedio), en la cual se producen las nubes y los fenómenos meteorológicos. En la troposfera, las temperaturas suelen disminuir con la altura.

Tundra
Llanura sin árboles, llana o suavemente ondulada, característica de las regiones ártica y subártica, caracterizada por temperaturas bajas y períodos vegetativos cortos.

U.

Incertidumbre
Expresión del grado de desconocimiento de determinado valor (por ejemplo, el estado futuro del *sistema climático*). Puede deberse a una falta de información o a un desacuerdo con respecto a lo que es conocido o incluso cognoscible. Puede reflejar diversos tipos de situaciones, desde la existencia de errores cuantificables en los datos hasta una definición ambigua de un concepto o término, o una *proyección* incierta de la conducta humana. Por ello, la incertidumbre puede representarse mediante valores cuantitativos (por ejemplo, un intervalo de valores calculados por diversos modelos), o mediante asertos cualitativos (que reflejen, por ejemplo, una apreciación de un equipo de expertos). Véase también *Confianza*; *Verosimilitud*.

Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas
Fue adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y rubricada ese mismo año en la Cumbre para la Tierra, celebrada en Río de Janeiro, por más de 150 países además de la Comunidad Europea. Su objetivo último es "la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático". Contiene cláusulas que comprometen a todas las Partes. En virtud de la Convención, las Partes incluidas en el *Anexo I* (todos los miembros de la OCDE en el año 1990 y los países de economía en transición) se proponen retornar, de aquí al año 2000, a los niveles de emisión de *gases de efecto invernadero* no controlados por el Protocolo de Montreal que existían en 1990. La Convención entró en vigor en marzo de 1994. Véase también *Protocolo de Kyoto*.

Urbanización
Conversión en ciudades de tierras que se encontraban en estado natural o en un estado natural gestionado (por ejemplo, las tierras agrícolas); proceso originado por una migración neta del medio rural al urbano, que lleva a un porcentaje creciente de la población de una nación o región a vivir en asentamientos definidos como *centros urbanos*.

V.

Vector
Organismo (por ejemplo, un insecto) que transmite un organismo patógeno de un portador a otro.

Enfermedad transmitida por vector
Enfermedad transmitida entre portadores por un organismo vector (por ejemplo, un mosquito o una garrapata); se incluyen en este concepto el *paludismo*, el *dengue* y la leishmaniosis.

Vulnerabilidad
Grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del *cambio climático*, y en particular la *variabilidad del clima* y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su *sensibilidad* y *capacidad adaptativa*.

W.

Consumo de agua
Cantidad de agua extraída que se pierde irremediablemente durante su utilización (por efecto de la evaporación y de la producción de bienes). El consumo de agua es igual a la detracción de agua menos el flujo de renuevo.

Seguridad hídrica
Existencias adecuadas de agua con una calidad apropiada y en suficiente cantidad como para preservar la salud, los medios de subsistencia, la producción y el medio ambiente.

Estrés hídrico
Se dice que un país padece estrés hídrico cuando la cantidad de agua dulce disponible en comparación con el agua que se extrae constriñe de manera importante el desarrollo. En las evaluaciones de escala mundial, se considera frecuentemente que una cuenca padece estrés hídrico cuando su disponibilidad de agua por

habitante es inferior a 1.000 m^3/año (en base al promedio de la escorrentía por largos períodos). Un indicador de estrés hídrico utilizado también en ocasiones es un volumen de detracción de agua superior al 20% del agua renovable disponible. Un cultivo experimenta estrés hídrico cuando la cantidad de agua disponible en el suelo, y por ende la *evapotranspiración* real, son menores que la demanda de evapotranspiración potencial.

Eficiencia de utilización de agua

Ganancia de carbono mediante *fotosíntesis* por unidad de agua perdida por *evapotranspiración*. En períodos cortos, puede expresarse como la ganancia de carbono fotosintético por unidad de agua perdida por transpiración y, a escala estacional, como el cociente entre la *producción primaria neta* o el rendimiento agrícola y la cantidad de agua disponible.

Humedal

Área de transición que se encharca regularmente, con suelos de drenaje deficiente, que suele estar situada entre un *ecosistema* acuático y uno terrestre, y que se recarga mediante lluvia, aguas superficiales o aguas subterráneas. Los humedales se caracterizan por la prevalencia en ellos de una vegetación ordenar alfabéticamente todas las entradas del Glosario adaptada para vivir en suelos saturados.

Referencias

AMS, 2000: *AMS Glossary of Meteorology,* 2ª edición. American Meteorological Society, Boston, MA. http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browse.

Heim, R.R., 2002: A review of twentieth century drought indices used in the United States. *Bull. Am. Meteorol. Soc,* 83, 1149-1165.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), 2000: *Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura,* R. T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo y D. J. Dokken, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 375 pp.

IUCN, 1980: *The World Conservation Strategy: living resource conservation for sustainable development*. IUCN/PNUMA/WWF, Gland.

Nakićenović, N. y R. Swart, Eds., 2000: *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, 599 pp.

Apéndice III: Siglas, símbolos químicos, unidades científicas

III.1 Siglas y símbolos químicos

EICA	Evaluación de impacto climático en el Ártico
SIDA	Síndrome de inmunodeficiencia adquirida
OMA	Oscilación Multidecenal Atlántica
MCGAO	Modelo de circulación general atmósfera-océano
4IE	Cuarto Informe de Evaluación (del IPCC)
FRD	Forestación, reforestación y deforestación
CAC	Captación y almacenamiento de carbono
MDL	Mecanismo para un desarrollo limpio
CH_4	Metano (véase el Glosario)
CO_2	Dióxido de carbono (véase el Glosario)
UIC	Unidad de Investigaciones Climáticas
DEF	diciembre, enero, febrero
CEPALC	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
ENOA	El Niño/Oscilación Austral
OCRT	Observación y ciencia de los recursos terrenos
RE	Resumen ejecutivo
UE	Unión Europea
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FAQ	Preguntas frecuentes
PIE	Primer Informe de Evaluación (del IPCC)
MCG	modelo de circulación general
PIB	Producto Interno Bruto
RMCH	Red Mundial de Climatología Histórica
GEI	Gas(es) de efecto invernadero
CDLG	Crecida por desbordamiento de lago glacial
PNB	Producto Nacional Bruto
CMCP	Centro Mundial de Climatología de la Precipitación
PMCP	Proyecto mundial de climatología de la precipitación
FAN	Floración de algas nocivas
VIH	virus de inmunodeficiencia humana
IIASA	Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
OPI	Oscilación Pacífica Interdecenal
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y sus recursos (Unión Mundial para la Naturaleza)
JJA	junio, julio, agosto
PEG	Pequeña Era Glacial
UTCUTS	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura
MARA/ARMA	Atlas de riesgo del paludismo en África
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio
CRM	Circulación de Renuevo Meridional
N_20	óxido nitroso (véase el Glosario)
MAS	Modo Anular Septentrional
ONA	Oscilación Noratlántica
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio
ONG	Organización no gubernamental
HN	Hemisferio Norte
OCDE	Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
BPC	bifenilos policlorados
OPD	Oscilación Pacífica Decenal
RDP	República Democrática Popular
PDSI	Índice Palmer de Severidad de Sequía
pH	Véase *pH* en el Glosario
PNA	Pacífico-Norteamericana (pauta)
ppm	partes por millón (véase el Apéndice III.2)
REPR/T	reconstrucción de la precipitación sobre tierra
PSA	Pacífico-Sudamericana (pauta)
MAA	Modo Anular A Palmer ustral
SIE	Segundo Informe de Evaluación (del IPCC)
DT	desviación típica
IID	índice de idoneidad
PEID	pequeños Estados insulares en desarrollo
NME	nivel del mar equivalente
MS	material suplementario
IOA	Índice de Oscilación Austral
ZCPS	Zona de Convergencia del Pacífico Sur
RRP	Resumen para responsables de políticas
IE-EE	Informe especial sobre escenarios de emisiones
TSM	temperatura de la superficie del mar
ENA	equivalente de nieve en agua
IdS	Informe de Síntesis (del Cuarto Informe de Evaluación del IPCC)
TIE	Tercer Informe de Evaluación (del IPCC)
RT	Resumen Técnico
NU	Naciones Unidas
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
CMCC-NU	Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas

UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia	GTI	Grupo de trabajo I (del IPCC)
		GTII	Grupo de trabajo II (del IPCC)
US$	dólar de Estados Unidos	GTIII	Grupo de trabajo III (del IPCC)
EUA	Estados Unidos de América	OMS	Organización Mundial de la Salud
PMC	Programa Mundial sobre el Clima	PSH	Plan de seguridad hídrica

III.2 Unidades científicas

Unidades SI (Sistema Internacional)

Magnitud física	*Nombre de la unidad*	*Símbolo*
longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg
tiempo	segundo	s
temperatura termodinámica	kelvin	K
energía	julio	J

Fracciones y múltiplos

Fracción	*Prefijo*	*Símbolo*	*Múltiplo*	*Prefijo*	*Símbolo*
10^{-1}	deci	d	10	deca	da
10^{-2}	centi	c	10^{2}	hecto	h
10^{-3}	milli	m	10^{3}	kilo	k
10^{-6}	micro	μ	10^{6}	mega	M
10^{-9}	nano	n	10^{9}	giga	G
10^{-12}	pico	p	10^{12}	tera	T
10^{-15}	femto	f	10^{15}	peta	P
10^{-18}	atto	a	10^{18}	exa	E

Unidades no SI, magnitudes, y abreviaturas conexas

°C	grado Celsius (0°C = 273 K aproximadamente); las diferencias de temperatura se indican también en °C (=K) aunque sería más correcto “grados Celsius”
ppm	coeficiente de mezclado (como indicador de la concentración de GEI): ppm (10^{6}) por unidad de volumen
vatio	potencia o flujo radiante; 1 vatio = 1 julio / segundo = 1 kg m^2 /s^3

Apéndice IV: Lista de autores

Bates, Bryson
CSIRO
Australia

Kundzewicz, Zbigniew W.
Academia de Ciencias de Polonia, Polonia, e
Instituto de Investigaciones sobre el Impacto Climático de Potsdam
Alemania

Wu, Shaohong
Instituto de Investigación en Ciencias Geográficas y Recursos Naturales
Academia de Ciencias de China
China

Arnell, Nigel
Walker for Climate System Research
Universidad de Reading
Reino Unido

Burkett, Virginia
US Geological Survey
Estados Unidos de América

Döll, Petra
Universidad de Frankfurt
Alemania

Gwary, Daniel
Universidad de Maiduguri
Nigeria

Hanson, Clair
Centro Hadley del Servicio Meteorológico del Reino Unido
Reino Unido

Heij, BertJan
Bergonda Science Communication
Países Bajos

Jiménez, Blanca Elena
Universidad Nacional Autónoma de México
México

Kaser, Georg
Universidad de Innsbruck
Austria

Kitoh, Akio
Servicio Meteorológico de Japón
Japón

Kovats, Sari
London School of Hygiene and Tropical Medicine
Reino Unido

Kumar, Pushpam
Universidad de Liverpool
Reino Unido

Magadza, Christopher H.D.
Universidad de Zimbabwe
Zimbabwe

Martino, Daniel
Carbosur
Uruguay

Mata, Luis José
Nord-Sud Zentrum für Entwicklungsforschung
Alemania /Venezuela

Medany, Mahmoud
Laboratorio Central sobre el Clima Agrícola
Egipto

Miller, Kathleen
National Center for Atmospheric Research
Estados Unidos de América

Oki, Taikan
Universidad de Tokio
Japón

Osman, Balgis
Consejo Superior de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Sudán

Palutikof, Jean
Centro Hadley del Servicio Meteorológico del Reino Unido
Reino Unido

Prowse, Terry
Environment Canada y Universidad de Victoria
Canadá

Pulwarty, Roger
NOAA/CIRES/ Climate Diagnostics Center
Estados Unidos de América/Trinidad y Tabago

Räisänen, Jouni
Universidad de Helsinki
Finlandia

Renwick, James
National Institute of Water and Atmospheric Research
Nueva Zelandia

Tubiello, Francesco Nicola
Columbia University
Estados Unidos de América/IIASA/Italia

Wood, Richard
Centro Hadley del Servicio Meteorológico del Reino Unido
Reino Unido

Zhao, Zong-Ci
Administración Meteorológica de China
China

Arblaster, Julie
National Center for Atmospheric Research, Estados Unidos de América, y Bureau of Meteorology, Australia

Betts, Richard
Centro Hadley del Servicio Meteorológico del Reino Unido
Reino Unido

Dai, Aiguo
National Center for Atmospheric Research
Estados Unidos de América

Milly, Christopher
US Geological Survey
Estados Unidos de América

Mortsch, Linda
Environment Canada
Canadá

Nurse, Leonard
University of the West Indies, Cave Hill Campus
Barbados

Payne, Richard
Departamento de Agricultura y Alimentación de Australia Occidental
Australia

Pinskwar, Iwona
Academia de Ciencias de Polonia
Polonia

Wilbanks, Tom
Oak Ridge National Laboratory
Estados Unidos de América

Apéndice V: Lista de revisores

Andressen, Rigoberto
Universidad de Los Andes
Venezuela

Asanuma, Jun
Universidad de Tsukuba
Japón

Bandyopadhyay, Jayanta
Instituto Indio de Gestión
India

Bayoumi, Attia
Ministerio de Recursos Hídricos e Irrigación
Egipto

Bergstrom, Sten
Servicio Sueco de Meteorología e Hidrología
Suecia

Bernstein, Leonard
International Petroleum Industry
Asociación para la Conservación del Medio Ambiente
Reino Unido

Bidegain, Mario
Uruguay

Bojariu, Roxana
Administración Meteorológica Nacional
Rumania

De Loë, Rob
Universidad de Guelph
Canadá

Diaz Morejón, Cristobel Felix
Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente
Cuba

Elgizouli, Ismail
Consejo Superior del Medio Ambiente y de Recursos Naturales
Sudán

Fobil, Julius
Universidad de Ghana, Legon
Ghana

Folland, Chris
Centro Hadley del Servicio Meteorológico del Reino Unido

Gallart, Francesc
CSIC
España

Gerten, Dieter
Instituto de Investigación de Impactos Climáticos de Potsdam
Alemania

Gillett, Nathan
Universidad de East Anglia
Reino Unido

Ginzo, Héctor
Ministerio de Relaciones Exteriores
Argentina

Grabs, Wolfgang
Organización Meteorológica Mundial
Suiza

Hatfield, Jerry
Departamento de Agricultura de Estados Unidos
Estados Unidos de América

Jacob, Daniela
Instituto de Meteorología Max Planck
Alemania

Jacobs, Katharine
Universidades de Arizona
Estados Unidos de América

Jeffrey, Paul
Universidad de Cranfield
Reino Unido

Jouzel, Jean
Institut Pierre-Simon Laplace
Francia

Byung-bok, Jin
Corporación de Gestión Medioambiental
República de Corea

Kadaja, Jüri
Instituto de Investigaciones Agrarias de Estonia
Estonia

Kaser, Georg
Universidad de Innsbruck
Austria

Kimball, Bruce
Departamento de Agricultura de Estados Unidos
Estados Unidos de América

Knutson, Thomas
Universidad de Princeton
Estados Unidos de América

Komen, Gerbrand
Real Instituto Meteorológico de Holanda
Países Bajos

Kotwicki, Vincent
Instituto de Investigaciones Científicas de Kuwait
Kuwait

Lai, Murari
CESDAC
India

Lapin, Milan
Universidad Comenius
Eslovaquia

León, Alejandro
Universidad de Chile
Chile

Liu, Chunzhen
Ministerio de Recursos Hídricos
China

Mares, Constantin
Academia Rumana de Ciencias Técnicas
Rumania

Mares, Ileana
Academia Rumana de Ciencias Técnicas
Rumania

Mariotti, Annarita
ENEA
Italia

Morgenschweis, Gerd
Gestión de Recursos Hídricos
Alemania

Miiller, Lars
Climate Strategy
Unión Europea (Alemania)

Njie, Momodou
Blue Gold Solutions
Gambia

Noda, Akira
Frontier Research Centre for Global Change
Japón

Parry, Martin
Copresidente del Grupo de Trabajo II del IPCC
Reino Unido

Ragab, Ragab
Centre for Ecology and Hydrology
Reino Unido

Ren, Guoyu
Centro Nacional sobre el Clima
China

Robock, Alan
Universidad de Rutgers
Estados Unidos de América

Roy, Rene
Ouranos, Consorcio sobre el cambio climático
Canadá

Savard, Martine M.
Natural Resources Canada
Canadá

Schipper, Lisa
Universidad de Chulalongkorn
Tailandia

Sen, Zekai
Universidad Técnica de Estambul
Turquía

Sherwood, Steve
Universidad de Yale
Estados Unidos de América

Shim, Kyo-moon
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas y Tecnología
República de Corea

Sorooshian, Soroosh
Universidad de California, Irvine
Estados Unidos de América

Szolgay, Jan
Universidad Tecnológica Eslovaca
Eslovaquia

Tabet-Aoul, Mahi
Centro de investigación de Antropología Social y Cultural (CRASC)
Argelia

Trenberth, Kevin
National Center for Atmospheric Research
Estados Unidos de América

van Walsum, Paul
Universidad y Centro de Investigación de Wageningen
Países Bajos

Wojciech, Majewski
Instituto de Meteorología y Gestión Hídrica
Polonia

Wratt, David
National Institute of Water and Atmospheric Research
Nueva Zelandia

Wurzler, Sabine
Agencia Estatal de Renania del Norte-Wesfalia para la Protección de la Naturaleza, del Medio Ambiente y del Consumidor
Alemania

Yabi, Ibouraima
LECREDE/DGAT/FLASH/UAC
República de Benin

Zhao, Zong-Ci
Administración Meteorológica China
China

Apéndice VI: Autorizaciones de publicación

Han autorizado la publicación de material propio los siguientes propietarios de derechos de autor:

Figura 3.2: Cortesía de Petra Döll.

Figura 3.3: Reproducida de: Lehner, B. and Co-authors, 2005: Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated assessment. *Climatic Change,* 75, 273-299, por cortesía de Springer Science y Business Media.

Figura 4.1(a): Reproducida de: Fischer, G. and Co-authors, 2002: Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century: methodology and results. Informe de Investigación RR-02-02. Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA), Laxenburg, Austria. Por cortesía del IIASA.

Figura 5.1: Reproducida de: O'Reilly, CM. and Co-authors, 2003: Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa. *Nature*, 424, 766-768. Copyright 2003. Por cortesía de Macmillan Publishers Ltd *[Nature]*.

Figura 5.3: Reproducida de: Hemp, A., 2005: Climate change-driven forest fires marginalize the impact of ice cap wasting on Kilimanjaro. *Glob. Change Biol*, 11, 1013-1023. Por cortesía de Blackwell Publishing Ltd.

Figura 5.4: Reproducida de: Arnell, N.W., 2006b: Climate change and water resources: a global perspective. *Avoiding Dangerous Climate change*, H.J. Schellnhuber, W. Cramer, N. Nakicenovic, T. Wigley and G. Yohe, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 167-175. Por cortesía de Cambridge University Press.

Figura 5.8(a): Reproducida de: M.R. and Co-authors, 2006: Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *J. Climate*, 19, 1490-1512. Por cortesía de la American Meteorological Society.

Figura 5.8(b): Reproducida de: Aguilar, E. and Co-authors, 2005: Changes in precipitación and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *J. Geophys. Res.*, 110, D23107, doi:10.1029/ 2005JD006119. Copyright (2005). Por cortesía de la American Geophysical Union.

Figura 5.12: Reproducida de: Smith, L.C. and Co-authors, 2005: Disappearing Arctic lakes. *Science*, 308, 1429. Por cortesía de la AAAS.

Índice temático

Nota: Los números de página en negrilla abarcan capítulos enteros. Los números de página en cursiva indican tablas, figuras y recuadros.

A

Adaptación, 4, 50-52
- autónoma, 50, 67
- ejemplos, *52*
- limites de, 51
- mitigación, posibles conflictos con, 128
- planificada, 50, 68
- opciones desde el punto de vista de la oferta y de la demanda, 50, *52*
- implicaciones del desarrollo sostenible, 137
- reducción de la vulnerabilidad por, 51
- *Véase también:* Mitigación

Adaptación, vulnerabilidad y desarrollo sostenible, 137-142
- África, *52, 89*
- agricultura, 66-70
- Asia, 93-94
- Australia y Nueva Zelandia, *52, 96-98*, *92*
- Economía, seguros, turismo, industria y transporte, 80
- Europa, *52,* 101
- salud humana, 73
- América Latina, *52,* 106-107, *107*
- América del Norte, *52,* 111-112
- regiones polares, *52,* 116
- asentamientos e infraestructura, 79
- islas pequeñas, *52,* 118, 119-122
- suministro de agua y saneamientos, 76-77

Procesos de aerosol, 15

Forestación, 4, 61, *126,* 129-130

África, 83-89, 139-140
- adaptación y vulnerabilidad, *52,* 89
- observaciones actuales, 84-85, *84-86*
- ecosistemas forestales, 62
- Kilimanjaro, Monte, *86*
- lagos y ríos, 36, 140
- estrategias de adaptación del pastoreo, *67*
- precipitación, 16, 26, 61
- cambios proyectados, 86-88, 139-140
- escorrentía, 23, 35
- vulnerabilidades, 70, 139

Agricultura, 61-70, 139
- adaptación, vulnerabilidad y desarrollo sostenible, 66
- biotecnología y, 69, *69*
- drenaje de tierras de cultivo, 132, *131*
- gestión de tierras de cultivo (menor roturación), *126,* 129, 132
- gestión de tierras de cultivo (agua), *126,* 128
- cultivos, 64-65
- uso de fertilizantes, 11, 129
- intensificación de, 128
- necesidades de agua de riego, 4, 10, 63, 65, 139
- medidas de mitigación y agua, *126,* 128
- modelización, 6
- observaciones, 60, *61*
- proyecciones, 63-65, 139
- producción de residuos, 132, *131*
- gestión hídrica y emisiones de GEI, *131*
- calidad del agua, efectos sobre la, 10
- *Véase también* Agricultura: aspectos regionales; Riego

Agricultura: aspectos regionales
- África, 87, 88, *88*
- Asia, 92, 93
- Australia y Nueva Zelandia, 96
- Europa, 101
- América Latina, 102, 106
- América del Norte, 108
- Islas pequeñas, 119

Agrosilvicultura, 128

Floraciones de algas, 57, 71, 71

Ecosistemas alpinos, 60

Anfibios, 57, 60, 110

Modos anulares, -23, 32
Acuicultura, 70
Áreas áridas y semiáridas
cambios observados, 40
cambios proyectados, 64, 137, 139
vulnerabilidad, 3, 137
Véase también Sequías
Asia, 90-95, 139
adaptación y vulnerabilidad, *52,* 93-94
crecidas, 37, 91
glaciares, 91, *91,* 140
lagos y ríos, 36
impactos observados, 90-92
precipitación, 16, 26
impactos proyectados y vulnerabilidades, 92-93, 140
escorrentía, 21, 30, 46-47
suministro de agua, 44, 140
Atribución del cambio climático, 15, 16-17
Australia y Nueva Zelandia, 95-100, 140
adaptación y vulnerabilidad, *52,* 98-99, *97*
sequías, 40,70
aguas subterráneas, 38
infraestructura, 140
cambios observados, 95-96, *95*
precipitación, 16, 61
cambios proyectados, 96-98, 140

B
Cultivos bioenergéticos, 4, 125-127, *126*
Biodiversidad, 57, 139
África, 86, 89-90, *88*
Asia, 92
Australia y Nueva Zelandia, 96-98
Europa, 101
América Latina, 103-104, 106
América del Norte, 111
regiones polares, 115
islas pequeñas, 119
Biocombustibles, 70
Retroefectos biogeoquímicos, 24
Electricidad biomásica, *126,* 127
Biotecnología, 69, *69*
Edificios, 79, *126,* 128

C
Campilobacteriosis, 68
Ciclo del carbono, retroefectos, 24
Dióxido de carbono y dinámica hídrica, 62
Véase también Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)
Dióxido de carbono, captación y almacenamiento de (CAC), 125-132, *126*
Fertilización por dióxido de carbono, 61
Sumideros de carbono, 24
Caribe, 27, 118
Véase también Islas pequeñas
Glaciar de Chacaltaya, 35, *105*
Clima
complejidad de respuesta, 15
retroefectos con el ciclo hidrológico, 15, 23-24
modelos *(véase* Modelos climáticos)
cambios observados, 15-23
cambios proyectados, 24-31
variabilidad, pautas en gran escala, 22-23, 31
Cambio climático, 13-31
agravación de otros estreses por el, 4, 141
atribución del, 15, 16-17
impactos sobre el desarrollo sostenible, *47,* **135-142**
impactos sobre los recursos hídricos, 35-47, *49,* **135-141**
medidas de mitigación *(véase* Mitigación)
Véase también Vínculos entre el cambio climático y los recursos hídricos
Cambio climático y recursos hídricos, 5-11
Información general, alcance y contexto, 7-11
dinamizantes climáticos de sistemas de agua dulce, 24-31, 40-44
vínculos entre el cambio climático y los recursos hídricos, **33-54**
impactos negativos frente a beneficios, a escala mundial, 3, 137
cambios observados, 8-9, 35-40
cambios proyectados, 40-50
impactos proyectados, por regiones, 81-120, 139-141
impactos proyectados, por sectores, 61-79, 137-139
impactos proyectados, por sistemas, 57-60
resumen, **1-4**
Modelos climáticos, 3, 24-31, 50
metodologías probabilísticas multimodelo, 26-27, 50
necesidades observacionales, 145

proyecciones en base a, 24-31, 145-146
escenarios/líneas argumentales, 9-10, *10,* 24
Áreas costeras
impactos futuros, 44, 58-60, 139
asentamientos humanos e infraestructura, 77, 78
Cuenca del río Colorado, 53, 60, *111*
Cuenca del río Columbia, *112*
Niveles de confianza
Véase Incertidumbre
Costos y aspectos socioeconómicos, 46-49, 79-80
Criosfera
cambios observados, 3, 19-20, *19-20,* 35
cambios proyectados, 27-28
Criptosporidiosis, 72, 76
Ciclones tropicales
cambios observados, 17-18
cambios proyectados, 27, 31, *42,* 110

D
Embalses
construcción y clausura, 9-10, 147
emisiones de gases invernadero de los, 4, 131, *131,* 141
almacenamiento de agua en, 10
Deforestación, 23, 61, 64
evitada/reducida, *126,* 130
Deltas, impactos proyectados, 59, *105,* 139
Desalinización, 10, 47, 76, 141
emisiones de gases invernadero por, *131,* 133
Calidad del agua dulce, 46, 71-72, 76
Sequías
frecuencia de sequías por períodos de 100 años, proyectada, *43*
salud humana y, 72
cambios observados, *37,* 38, *39*
cambios proyectados, 26-27, *41-42,* 42-43, 137
Véanse también las distintas regiones
Arteas secas. *Véase* áreas áridas y semiáridas
Tempestades de polvo, 72

E
Crecimiento económico, uso del agua y, 9
Economía, 79-80
Ecosistemas, 57-60, 137-139
Egipto, agricultura en, 87**,** *88*
El Niño/Oscilación Austral (ENOA), 22, 31, 90
Energía
África, 85, 87
Asia, 93
Australia y Nueva Zelandia, 96
Europa, 101
infraestructura, 79
América Latina, 101, 104
medidas de mitigación y agua, *126*
América del Norte, 108
islas pequeñas, 119
gestión hídrica y emisiones de GEI, *131*
ENOA. *Véase* El Niño/Oscilación Austral
Erosión del suelo, 44, 59
Europa, 98-101, 140
adaptación y vulnerabilidad, *52, 101-102*
sequías, 40, 100-101, *100*
crecidas, estimación de daños, 47
ola de calor de 2003, 40
ecosistemas de montaña, 60
cambios observados, 98, *98*
precipitación, 25, *43,* 61
cambios proyectados, 29, *43, 98-101, 140*
escorrentía, 21-22, 29, 35, 46, 140
áreas con estrés hídrico, 140
Evapotranspiración
retroefectos, 23
cambios observados, 20-21
cambios proyectados, 25-26, *27,* 29
Extinciones, 57, 58-60, 89, 96, 104, 139
Véase también Biodiversidad

F
Retroefectos del clima y del ciclo hidrológico 23-24
emisiones y sumideros, 24
efectos en la superficie terrestre, 23
circulación oceánica, 24
Pesquerías, 63-66, 70, 141
estrategias de adaptación, 68
ejemplo del río Mekong, *66*
Crecidas
costo de impactos futuros, 47, 80
en Europa, 101, *100*
frecuencia de crecidas en períodos de 100 años, proyectada, 42
salud humana y, 72
impactos sobre el transporte y la infraestructura, 77-79
seguros y, 80
cambios observados, 37, *37*
cambios proyectados, 26, 42-43, *42,* 137

Disponibilidad/seguridad alimentaria 3, 61, 62-66, 69-70
Bosques/silvicultura, 61-62, 63, 139
estrategias de adaptación, 66-69
agrosilvicultura, 128
biotecnología y, 69, *69*
conversión en tierras de cultivo, 125
ecosistemas, 60
medidas de mitigación y recursos hídricos, *126*
Terreno congelado
cambios observados, 19, *19,* 35, 114
cambios proyectados, 27-28, 44, 115, 141
Necesidades de investigación futuras, 4, **143-147**

G
Glaciar de Gangotri, 91, *91*
Lagunas de conocimiento, 4, **143-147**
Energía geotérmica, *126, 127-128*
emisiones de gases de efecto invernadero por, *131,* 133
Crecidas por desbordamiento de lagos glaciales, 20, 35, 72
proyectos de prevención, 93, *94*
Glaciares
Asia, 46, 91, *91,* 140
Chacaltaya, glaciar de, 35, *105*
Europa, 140
América Latina, 35, *103, 105,* 140-141
cambios observados, 19-20, *19-20,* 35, *103*
cambios proyectados, 28, 44, 140
Pastizales, 61, 66
Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)
en presas hidroeléctricas, 4, 130, *131,* 141
políticas de gestión hídrica y, 130-133, *131*
Agua subterránea
medidas de mitigación y, *126*
cambios observados, 9, 35-36
cambios proyectados, 40-42, *40*
salinización de, 3, 44

H
Salud. *Véase* Salud Humana
Olas de calor
en Europa (2003), 40
cambios observados, 15, 40, 62
cambios proyectados, 24, 26, 101
Helmintiasis, 69, 73
Salud Humana, 71-73
Adaptación, vulnerabilidad y desarrollo sostenible, 73
África, 85-86, 87
Australia y Nueva Zelandia, 96
Europa, 101
América Latina, 101-106
América del Norte, 109-110
observaciones, 73
proyecciones, 73, 139
islas pequeñas, 119
calidad del agua y, 70
Asentamientos humanos, 77-79, 139
Hambre, 61
Véase también Disponibilidad/seguridad alimentaria
Ciclo hidrológico
supuestos basados en experiencias anteriores, 4
retroimpactos con el clima, 15, 23-24
cambios proyectados, 3-4, 25-31, 40-50
incertidumbres y, 24-25
variabilidad del, 15
Véase también Hidrología, y *otros términos sobre el agua*
Hidrología
cambios observados, 35-36
cambios proyectados, 40-49
impactos proyectados sobre, ecosistemas y biodiversidad, 57-60
Hidroelectricidad, 47, *126,* 127, 147
África, 87
Europa, 47, 140
emisiones de gases invernadero por, 4, 131, *131,* 141
infraestructura, 79
América del Norte, 48
Véase también Embalses; Energía

I
Hielo
cambios observados, 3, 19-20, *19-20*
cambios proyectados, 27-28, 141
Mantos de hielo
contribución al aumento del nivel del mar, 20, 24, 28-29
cambios observados, 35
Industria, 79-80, *126,* 139

Infraestructura, 4, 77-79, 139
Seguros, 79-80, 111
Gestión integrada de recursos hídricos (GIRH), 46, 52, 133
Riego
prácticas de adaptación, 66-69, 132, *131,* 139
área de tierra irrigada, 9, 10
emisiones de gases invernadero y, 132, *131*
uso del agua, cambios observados, 8-9
uso del agua, cambios proyectados, 4, 10, 45, 64, 139

K
Kilimanjaro, Monte, *86*

L
Lagos
anoxia y floraciones de algas, 58
química, 36
erosión y sedimento, 37
cambios observados, 36-37
cambios proyectados, 44, 57-58, 140
estructura térmica, 36, 57
Impactos en la superficie terrestre, 23-24
Uso de la tierra, 61-63
adaptación, 66
cultivos bioenergéticos y, 125
Cambio y gestión del uso de la tierra, *126, 128-129*
América Latina, 101-108, 140-141
adaptación y vulnerabilidad, *52, 106-108*, *107*
glaciares, 35, *103, 105,* 140-141
cambios observados, 101-104, *103*
adaptaciones precolombinas, *107*
precipitación, 16, *103-104*
cambios proyectados, 104-106, 140-141
escorrentía, 21-22, 30, 35
estrés hídrico, 101, 104, *106,* 140
Leptospirosis, 103
Vínculos entre el cambio climático y los recursos hídricos, 33-54
adaptación hídrica al cambio climático, 50-53
cambios hídricos futuros por efecto del cambio climático, 40-50
impactos observados del cambio climático, 35-40
Véanse también aspectos específicos del cambio y de los recursos hídricos
Ganadería, 65, *67*

M
Paludismo, 85-86, 106
Río Mekong, *66*
Meningitis, 72
Circulación de renuevo meridional (CRM), 24
Metano
embalses hidroeléctricos, 132
vertederos/aguas de desecho, 131
fuentes y sumideros, 24, 141
Objetivos de Desarrollo del Milenio, sector hídrico y, *142*
Mitigación, 123-133, 141
forestación/reforestación, *126, 129-130*
deforestación evitada/reducida, *126,* 130
beneficios frente a los efectos negativos de la, 4, 67, 141
cultivos bioenergéticos, 125-127, *126*
electricidad biomásica, *126,* 128
edificios, uso de la energía en, *126,* 128
captación y almacenamiento de dióxido de carbono (CAC), 125, *126*
drenaje de tierras de cultivo, 132, *131*
gestión de tierras de cultivo, *126,* 129
desalinización, *131,* 133
necesidades de datos futuras, 147
energía geotérmica, *126,* 128, *131,* 133
emisiones de gases invernadero (GEI) y, 130-133, 131, *123*
embalses hidroeléctricos, 132, *131*
hidroelectricidad, *126,* 128
riego, 130, *131*
cambio y gestión del uso de la tierra, *126, 128-129*
implicaciones en materia de políticas, 141
relación con el agua, 125
producción de residuos, 130-132, *131*
sinergias con la adaptación, 71
petróleo no convencional, *126,* 130
gestión de desechos y de aguas de desecho, *126, 130, 132-133*, *131*
políticas de gestión hídrica y, 132-133, *131,* 141
Véase también Adaptación
Modelos. *Véase* Modelos climáticos
Regímenes monzónicos, 25
Ecosistemas de montaña, 60

N
Sistema de recolección de agua de Nasca, *107*

Nueva Zelandia, *Véase* Australia y Nueva Zelandia
Río Nilo, 83, *88*
Uso de fertilizantes nitrogenados, 10, 120
Dinamizantes no climáticos de los recursos hídricos, 8, 10, 44-45
América del Norte, 108-113, 141
adaptación, *52,* 111-113
estudios particulares de impacto del cambio climático, 111-113, *111-113*
sequías, 38, 70
lagos y ríos, estructura térmica de los, 36
cambio observado, 108
precipitación, 16
cambio proyectado y consecuencias, 108-111, *108,* 141
escorrentía, 21-22
Oscilación Noratlántica (ONA), 15, 22, 31

O
Cambios observados
en el clima, 15-23
impactos sobre los recursos hídricos, 8-9, 35-40
resumen, 3-4
Véanse también las distintas regiones y sectores
Océanos
circulación, retroefectos del clima mediante la, 24
salinidad, 15, 24
Véase también Nivel del mar
Petróleo no convencional, *126,* 136

P
Estrategias de adaptación del pastoreo, *67*
Permafrost. *Véase* Terreno congelado; Hielo
Fenología, 63
Regiones polares, 112-117, 141
adaptación y vulnerabilidad, *52,* 116
cambios observados, 114, *115*
cambios proyectados, 115-116, 141
Políticas
cambio climático implicaciones respecto al, **135-141**
gestión hídrica, 130-133, *131*
Véase también Adaptación, vulnerabilidad y desarrollo sostenible
Crecimiento demográfico
en áreas costeras, 78, 79
demanda hídrica y , 4, 8, 9
en áreas con estrés hídrico, 46, *46*
Precipitación, 15-19, 25-27
Contribución antropógena a la, 16-17
extrema, 26-27, *28*
episodios de precipitación intensa, 3, 16-17, *18,* 42, *42*
episodios de precipitación intensa, costos agrarios, 64
episodios de precipitación intensa, salud humana y, 74-76, 139
media, 25-26
regímenes monzónicos, 25
cambios observados, 3, 15-19, *16-18*
cambios proyectados, 3, 25-27, *26-27,* 42-43, *42,* 137
variabilidad de la, 3, 15
Véase también Ciclones tropicales; Sequía
Cambios proyectados
del clima, 9, 24-31
resumen, 3-4
de los recursos hídricos, 9-10, 40-50
Véase también regiones y sectores específicos

R
Pastizales, 66
Véase también Tierras de pastoreo
Reforestación, 4, 61, *126, 129-130*
Impactos regionales, 81-121, 139-140
Véanse también las distintas regiones
Producción de residuos, 132, *131*
Ríos, 36, 57-58
impactos proyectados, 58, 59-60
caudal fluvial, 46-47, 58-60
Véase también Escorrentía
Escorrentía
medidas de mitigación y, *126*
cambios observados, 3, 21-22, 35-36, *37*
planificación del uso de la, 76
cambios proyectados, 3, 27, 29-30, *30,* 64, *64,* 137

S
Salinización
de las aguas costeras, 60

de las aguas subterráneas, 3, 44, 76
Véase también Desalinización
Saneamientos. *Véase* Salud humana
Sabanas, 61
Escenarios, 9-10, *10*
Véase también Modelos climáticos
Esquistosomiasis, 72-73, 103
Aumento del nivel del mar
contribuciones al, 20, 28-29
cambios observados, 20
cambios proyectados e impactos, 3, 28-29, 44
calidad del agua y saneamientos, 10, 44
Áreas semiáridas. *Véase* Áreas áridas y semiáridas
Asentamientos e infraestructura, 78-79, 139
Islas pequeñas, 117-120, 141
adaptación, *52,* 118, 119-120
cambios observados y proyecciones, 116-119,*120,*141
estrés hídrico, 141
Capa de nieve
retroefectos sobre el clima, 23-24
cambios observados, 3, 19, *19-20,* 35
cambios proyectados, 27-28
Aspectos socioeconómicos del agua dulce, 46-48, 79-80
Erosión del suelo, 44, 59
Humedad del suelo
retroefectos, 23
cambios observados, 21
cambios proyectados, *27,* 29
América del Sur. *Véase* América Latina
Escenarios IE-EE, 9, *10*, 24
Líneas argumentales, 9, *10*
Desarrollo sostenible, 135-142
amenaza de los impactos del cambio climático futuro, *49,* 141
Objetivos de Desarrollo del Milenio, sector hídrico, *142*
comunidades rurales y conflictos relacionados con el agua, 70
Véase también Adaptación, vulnerabilidad y desarrollo sostenible

T
Arenas bituminosas, *126,* 132
Teleconexiones, 22
Temperatura
cambios observados, 15
cambios proyectados, 24, 31
Desarrollo de termokarst, 59
Turismo, 35, 79-80
Transportes, 79-80
Proyecto de reducción de riesgos en el lago Tsho Rolpa, *94*

U
Incertidumbre, 11, *11*
Véase también Lagunas de conocimiento

V
Variabilidad, pautas de gran escala de la, 22-23, 31
Enfermedades transmitidas por vectores, 72-73
Vulnerabilidades: recursos hídricos, 3-4, *9,* 48, *48*
Véase también Adaptación, vulnerabilidad y desarrollo sostenible; estrés hídrico

W
Desechos, *126, 130, 132*
Reutilización de aguas de desecho, 10
Tratamiento de aguas de desecho, 9, 77
emisiones de gases invernadero y, 133, *131*
medidas de mitigación y, *126,* 130
calidad del agua y, 10
Disponibilidad de agua
medidas de mitigación y, *126*
observaciones, 73, *74*
proyecciones, 45, 74-76
Enfermedades transmitidas por el agua, 72, 74, 86, 110
Química del agua, 36, *37*
Demanda de agua
de riego, proyectada, 4, 10, 64, 65, 139
población y, 4, 8, 9
cambios proyectados, 4, 40-48, 45-46
Gestión hídrica
prácticas de adaptación, 50-53, *52*
gestión adaptativa, 53
en la agricultura, 66-71
supuestos basados en experiencias anteriores, 4
cambio climático y, 4, 44-45, 137
emisiones de gases invernadero y, 125
impactos sobre otras áreas, 4, 44-45, 48
gestión integrada de recursos hídricos (GIRH), 45, 53, 133
políticas, efectos sobre las emisiones de GEI y la mitigación, 130-133, , *131*

metodología basada en escenarios, 52
Véase también Adaptación
Calidad del agua
adaptación y, 76
agua potable, 46, 71-72, 77-78
variación de caudal y, 74-75
micropoluyentes, 10
medidas de mitigación y, *126*
cambios observados, 9, 36-37
cambios proyectados, 3, 10, 44, 70, 77
temperatura y, 76
Recursos hídricos
adaptación, panorámica general, 50-53, *51-52*
administración de, 77, 137
dinamizantes climáticos, 24-31, 40-44
conflictos potenciales, 133
retroefectos con el clima, 23-24
áreas y sectores muy vulnerables, 48, *47*
importancia de los, 7
vínculos con el cambio climático, **33-51**
medidas de mitigación y *(véase* Mitigación)
dinamizantes no climáticos, 8, 10, 44-45
impactos del cambio climático observados, 35-40
impactos del cambio climático proyectados, 40-48
resumen, 3-4
incertidumbres de los impactos proyectados, 48-50
Véase también Vulnerabilidades; Recursos hídricos: aspectos regionales; *y los distintos recursos hídricos*
Recursos hídricos: aspectos regionales
África, 85, 86
Asia, 89-93
Australia y Nueva Zelandia, 96
Europa, 99-101
América Latina, 101, 104
América del Norte, 108-111, *108*
islas pequeñas, 118, *118*
Almacenamiento de agua
mediante embalses, 10
en glaciares y en el manto de nieve, 3
Estrés hídrico
África, *87,* 140
definición de, 8
Europa, 140
impactos futuros del cambio climático sobre el, 46, *46*
América Latina, 101, 104, *106,* 140
mapa de, *9*
en islas pequeñas, 141
vulnerabilidad y, 8
Suministro de agua y saneamiento, 73-78
adaptación, vulnerabilidad y desarrollo sostenible, 4, 76-77
observaciones, 73, *74*
proyecciones, 74-76
Temperatura del agua
medidas de mitigación y, *126*
cambios observados, 36, *37*
cambios proyectados, 137
Uso del agua
cambios observados, 8-9
cambios proyectados, 43-44, 62
Vapor de agua
cambios observados, 16, 18-19
cambios proyectados, 25-26, 29
Gestión de cuencas hídricas, 70-71
Humedales, 58-60, 127

Los registros observacionales y las proyecciones climáticas aportan abundante evidencia de que los recursos de agua dulce son vulnerables y podrían recibir un fuerte impacto del cambio climático, que tendría todo tipo de consecuencias en las sociedades humanas y en los ecosistemas.

En este documento técnico sobre el cambio climático y el agua, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) reúne y evalúa la información contenida en los informes de evaluación e informes especiales del IPCC en lo referente a los impactos que el cambio climático ejerecería sobre los procesos y regímenes hidrológicos, y sobre los recursos de agua dulce, en términos de disponibilidad, calidad, uso y gestión. En él se han tenido presentes las vulnerabilidades regionales más importantes, tanto actuales como proyectadas, las perspectivas de adaptación y las relaciones existentes entre la mitigación del cambio climático y el agua. Sus objetivos son:

- Conocer más a fondo los vínculos entre el cambio climático natural y antropógeno, sus impactos y las opciones de adaptación y mitigación, por una parte, y los problemas del sector hídrico, por otra;
- Comunicar esos nuevos conocimientos a los responsables de políticas y a las partes interesadas.

El texto del Informe Técnico se ajusta cuidadosamente al de los Informes del IPCC que le han servido de base, y especialmente el Cuarto Informe de Evaluación. Refleja el equilibrio y la objetividad de estos Informes y, en aquellos casos en que el texto difiere, el propósito ha sido reforzar y/o explicar más en detalle las conclusiones de tales informes. Cada párrafo sustantivo menciona como fuente un Informe del IPCC.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente para disponer de una evaluación internacional acreditada de la información científica sobre el cambio climático. El Cambio climático y el agua es uno de los seis documentos técnicos preparados por el IPCC hasta la fecha. Fue elaborado en respuesta a una petición del Programa Mundial sobre el Clima – Agua y del Comité Directivo Internacional para el Diálogo sobre Agua y Cambio Climático.