

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 HadCM3²⁰. 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. [GTII 11.2, Tabla 11.1; GTII 9.4.1]

De aquí a 2025, la disponibilidad de agua en nueve países²¹, principalmente del África oriental y austral, sería inferior a 1.000 m³/persona/año. En doce países²², el límite estaría entre 1.000 y 1.700 m³/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]

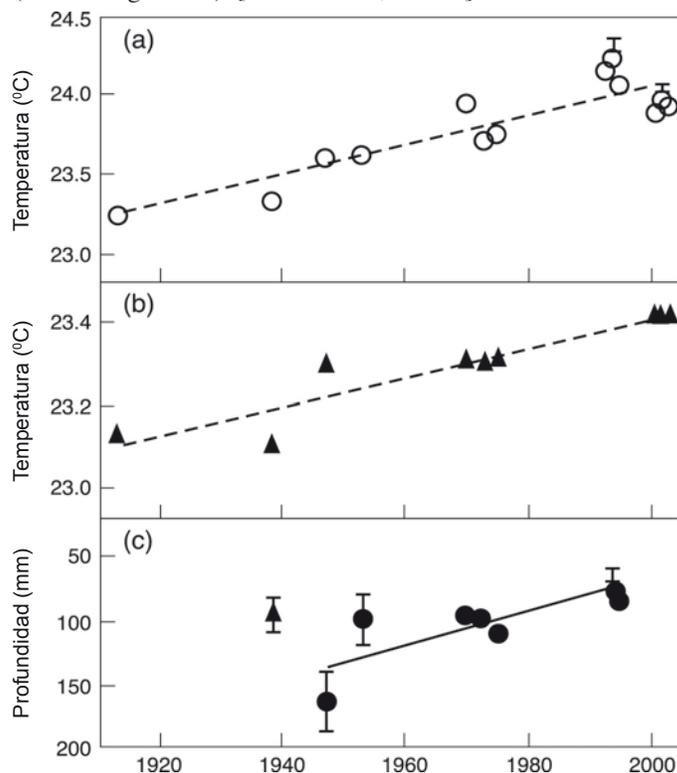


Figura 5.1: Mediciones históricas y recientes del lago Tanganica, en el África oriental: (a) temperatura de la capa mixta superior (agua superficial); (b) temperatura del agua en profundidad (600 m); (c) temperatura de la capa mixta superior. Los triángulos representan los datos obtenidos utilizando 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, Lesoto, Etiopía, Zimbabwé, Tanzania, 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 m³/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

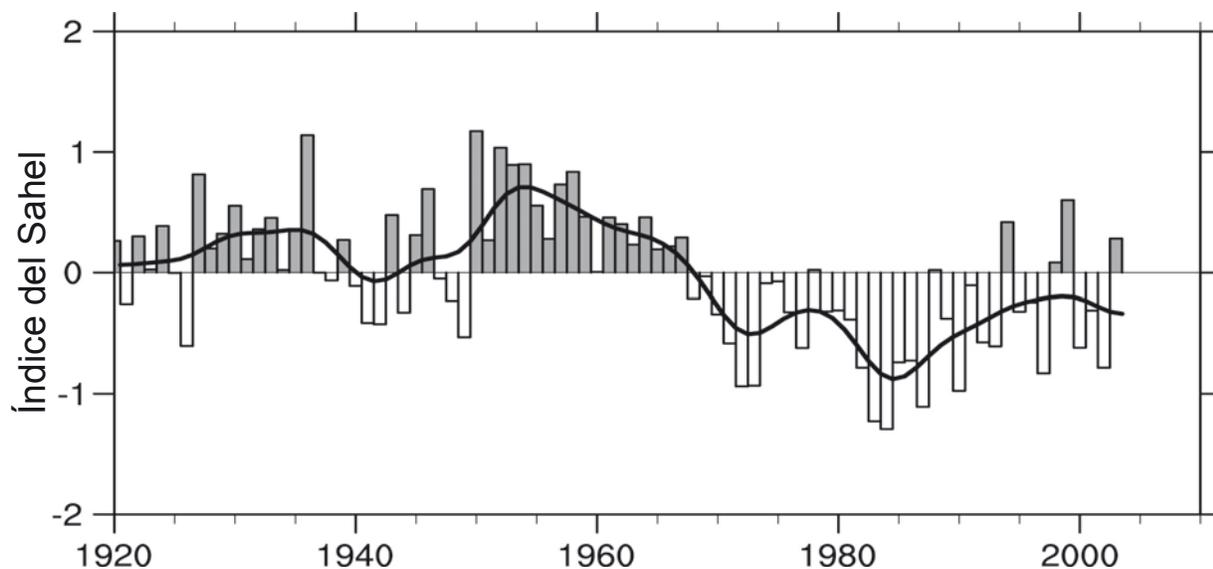


Figura 5.2: Serie cronológica de datos de precipitación regional en el Sahel (10°N-20°N, 18°W-20°E) (entre abril y octubre) desde 1920 hasta 2003, obtenida mediante reticulación de las anomalías de estación normalizadas, subsiguientemente promediadas con ponderación zonal (adaptado de Dai et al., 2004a). 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 km²) 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).

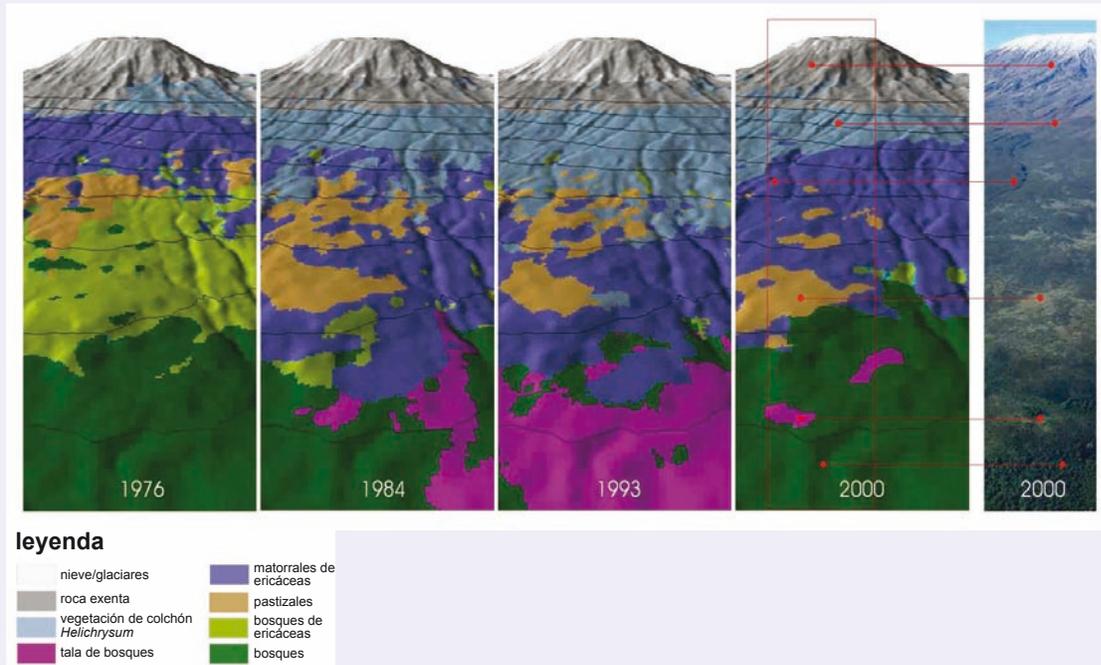


Figura 5.3: Cambios de la cubierta del suelo inducidos por interacciones complejas entre el uso de la tierra y el clima en el Kilimanjaro (Hemp, 2005). Reproducción autorizada por Blackwell Publishing Ltd .

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 <i>Helichrysum</i>	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

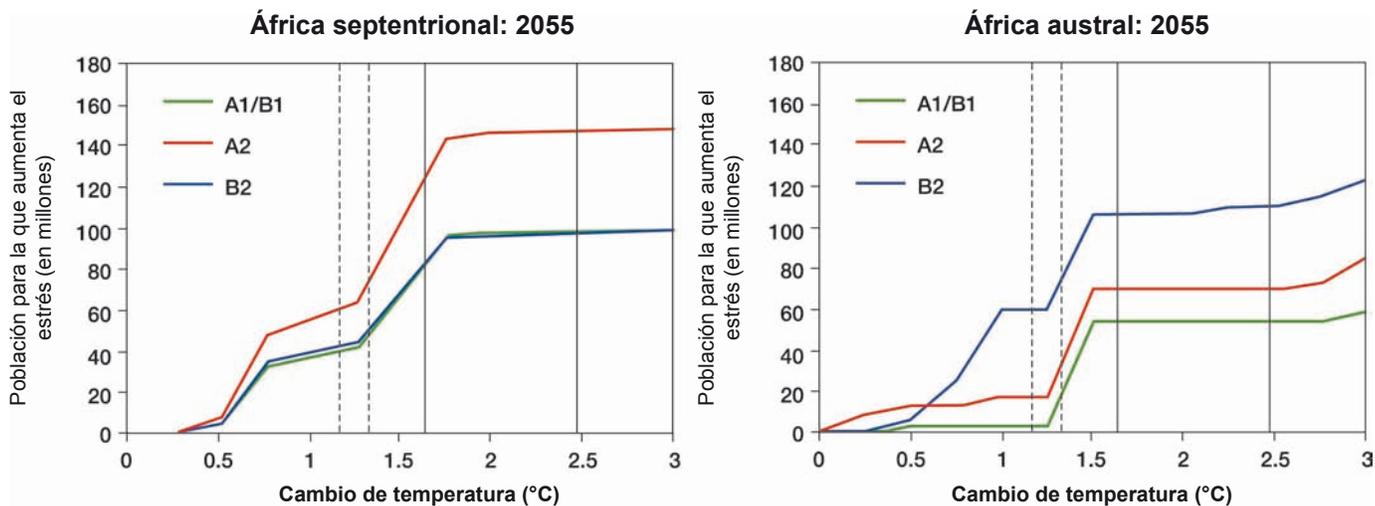


Figura 5.4: Número de personas (en millones) residentes en cuencas hidrográficas expuestas a un aumento del estrés hídrico, con referencia a 1961-1990 (Arnell, 2006b). Las cuencas hidrográficas con estrés hídrico tienen una escorrentía inferior a 1.000 m³/persona/año; los habitantes están expuestos a 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 km³ 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 acarrearán 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 m³ anuales por habitante; once poseen entre 1.000 y 3.000 m³; y

otros seis, menos de 1.000 m³ (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; Kajiwarra 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

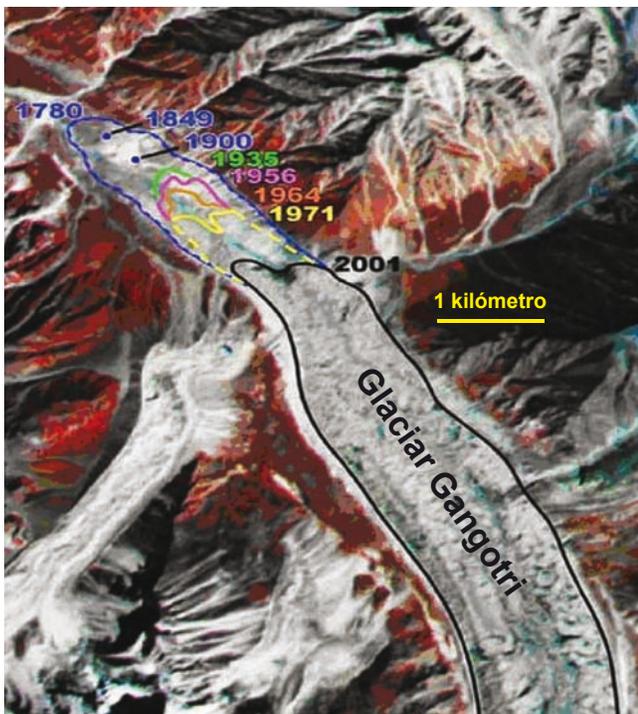


Figura 5.5: Imagen satelital compuesta, en la que se puede apreciar la retracción experimentada por el frente del glaciar Gangotri (cuna del Ganges, en Uttarakhand, India) desde 1780 (cortesía del centro de datos NASA EROS, 9 de septiembre de 2001). [GTII, Figura 10.6]

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]

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 CO₂, 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 m³/año aproximadamente en 2001 a 1.140 m³/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 m³ 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 (Alcama 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, socioeconómicos, 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 km² en 1957/58 hasta 1,65 km² en 1997 (Figura 5.6). Los 90-100 millones de m³ 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.

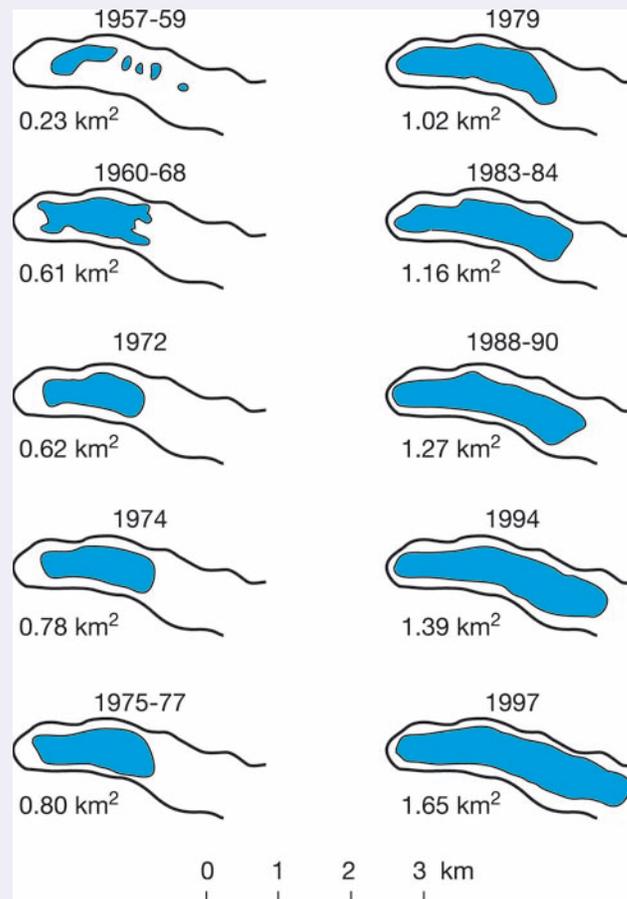


Figura 5.6: Evolución del área ocupada por el lago Tsho Rolpa.

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 Zelanda

5.3.1 Contexto

Aunque Australia y Nueva Zelanda 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 Zelanda desde los años 80 se ha debido a la intensificación agrícola (Woods and Howard-Williams, 2004). La superficie de regadío de Nueva Zelanda 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 Zelanda. [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

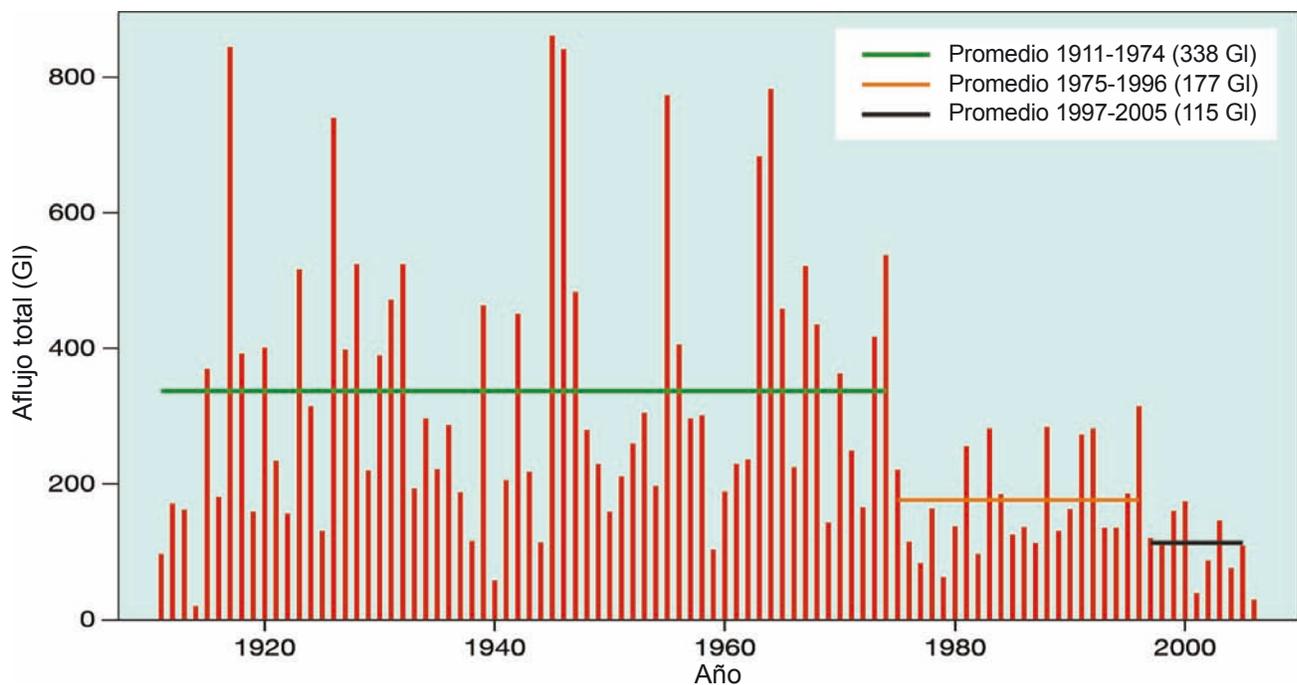


Figura 5.7: Caudal de aflujo anual recibido por el Servicio de abastecimiento de agua potable de Perth entre 1911 y 2006. Las líneas horizontales representan los promedios. Fuente: http://www.watercorporation.com.au/D/dams_streamflow.cfm (cortesía de Water Corporation of Western Australia). [GTII, Figura 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 Zelanda 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 A1 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). Cierta evaluación de riesgos relativo a la ciudad de Melbourne y basado en diez modelos climáticos (en base a los escenarios B1, 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 Zelanda, 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 Zelanda 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 Zelanda, es *muy probable* que el aumento de velocidad del viento del oeste potencie la producción de energía eólica y el reboso 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 Zelanda, el acortamiento del período de crecimiento del maíz aminora la necesidad de agua de riego, 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 Zelanda, 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 (Narrant 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)	Latenser 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 Disminución del flujo estival ^d	Aumento del riesgo de crecidas invernales en la Europa septentrional, y de crecidas repentinas en el conjunto de Europa Riesgo de que las crecidas de deshielo se desplacen de la primavera al verano ^e
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 Disminución de hasta 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	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

^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 precipitación 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 CO₂, calculadas en torno al punto de duplicación de CO₂. 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 (Bourauoi 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 noreste (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 $7.000 \times 10^6 \text{ m}^3$		
Perú ^c Últimos 30 años	Disminución de un 80% de la superficie de los glaciares muy pequeños; pérdida de $188 \times 10^6 \text{ m}^3$ 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.		

^aVásquez, 2004; ^bMark and Seltzer, 2003; ^cNC-Perú, 2001; ^dNC-Colombia, 2001; ^eNC-Ecuador, 2000; ^fFrancou 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

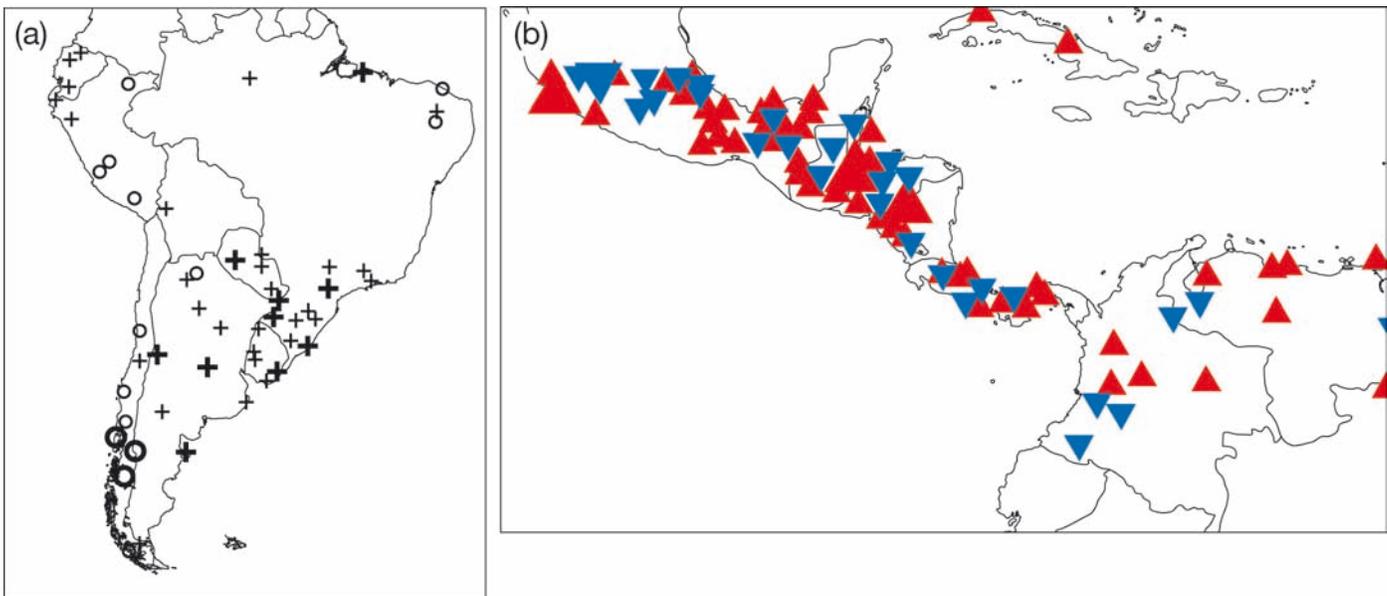


Figura 5.8: Tendencia de la precipitación anual en (a) América del Sur (1960-2000). Los aumentos se han denotado mediante un signo +, y las disminuciones mediante un círculo; los valores en negrilla indican valores apreciables para $P \leq 0,05$ (reproducción de Haylock et al. (2006), con autorización 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 m³/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).

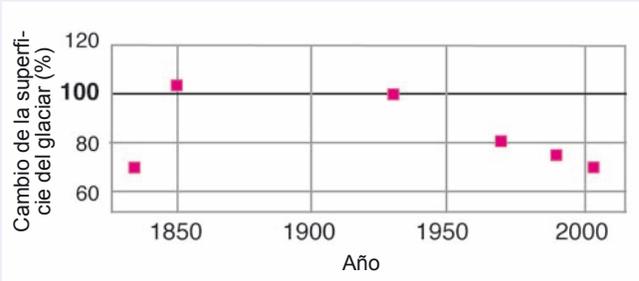


Figura 5.9: Extensión (%) de la superficie total de los glaciares de la Cordillera Blanca tropical, en Perú, respecto de la ocupada en 1925 (=100) (Georges, 2004). En 1990, los glaciares ocupaban en la Cordillera Blanca una superficie de 620 km². [Reproducción de GTI, Figura 4.16]

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).

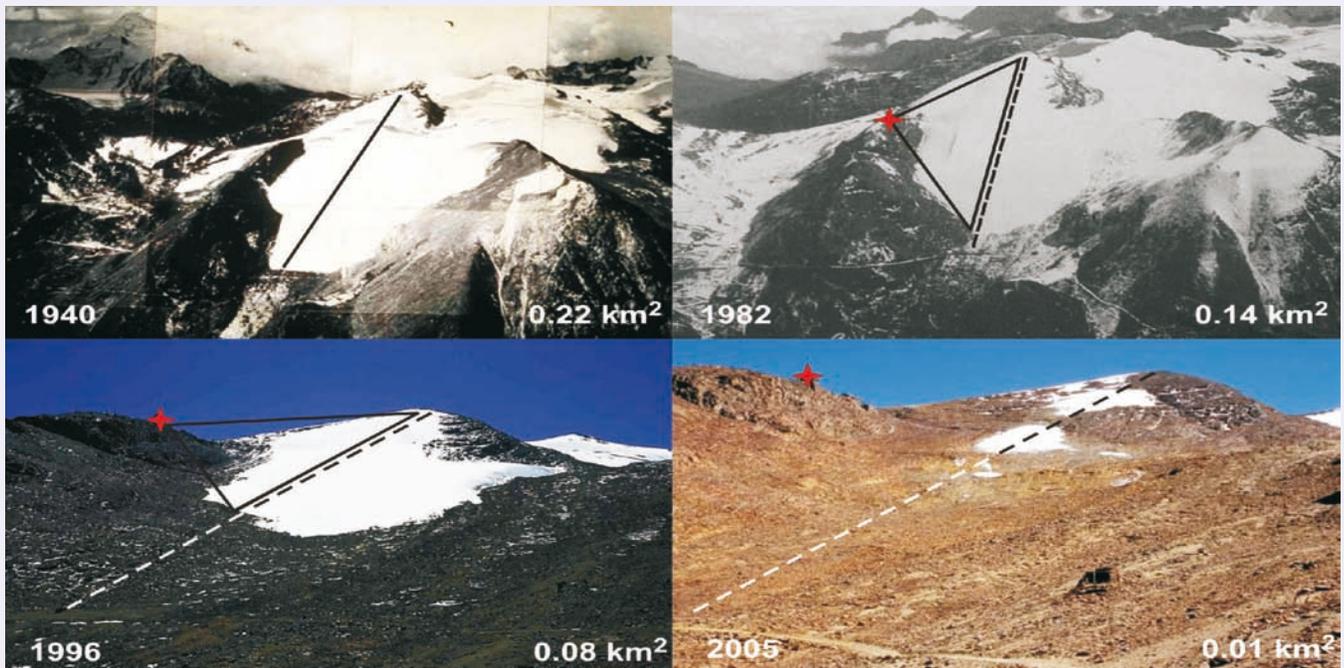


Figura 5.10: Extensión superficial del glaciar Chacaltaya, en Bolivia, desde 1940 hasta 2005. En 2005, el glaciar se había escindido en tres pequeños cuerpos independientes. La posición del refugio de esquí, que no existía en 1940, está indicada mediante una cruz roja. El telesilla tenía una longitud 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 noreste 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, Articulação no Semiárido (ASA), denominado proyecto PIMC, 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 periodos 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 periodos 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 de 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). [GTII, 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 fotovoltaica (utilizando los modelos HadCM2 y RegCM2²⁴ y en base a un escenario idealizado de aumento de CO₂). [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/10⁶ g, es decir, aproximadamente 1,83 USD/10⁹ 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 CO₂) (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 sucediendo 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 compitentes, 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 m³/año, con una demanda adicional de 20,8 millones de m³/año debida al crecimiento de la población, disminuyendo al mismo tiempo el suministro en 4,9 millones de m³/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 prerequisites 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 sustituyeron los colectores de desecho principales para resistir crecidas más extremas previsible 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 las 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). [GTII 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 (Dyrurgerov 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]

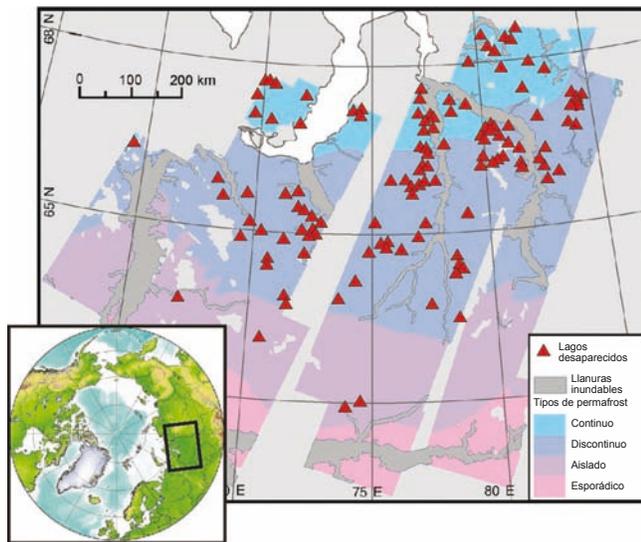


Figura 5.12: Emplazamiento de los lagos siberianos desaparecidos tras un período de treinta años de aumento de la temperatura del suelo y del aire (cambios registrados a partir de imágenes satelitales tomadas desde los primeros años 70 hasta 1997-2004), superpuesto sobre varios tipos de permafrost. La 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 CO₂ (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 ocasionarán 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 retraerán 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 nacionales²⁵ 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 promedio 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;

²⁶La 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 transmitidas 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

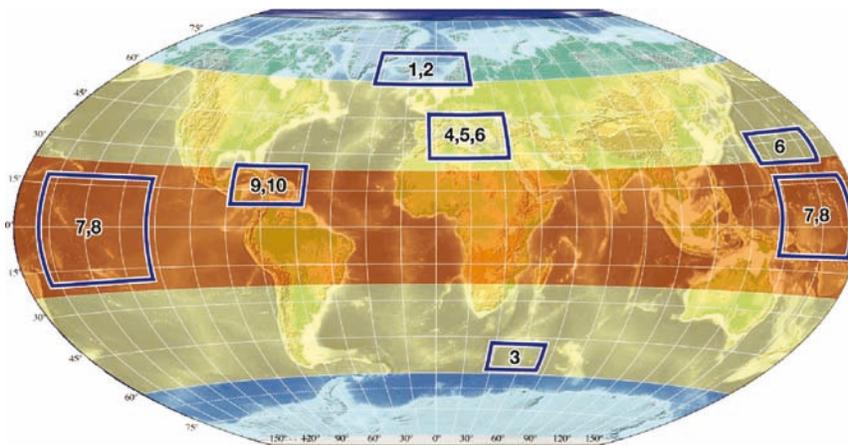
procesos tanto de tipo social como medioambiental. Además, el problema radica en la comprensión de las estrategias de adaptación adoptadas en el pasado y de sus ventajas y limitaciones, con miras a su planificación y aplicación futuras. [GTII 16.5]

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 (Saoluafoata: 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 pérdida. 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 2°C Fosaa et al. (2004)	Cambios en: temperatura del suelo, cubierta de nieve, y días-grado de crecimiento	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> Los impactos del cambio climático son desdéniables 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 – <i>Ficedula hypoleuca</i>)	Inexistentes (modelo GLM/ STATISTICA) Sanz et al. (2003)	Aumento de temperatura, cambio del nivel del agua y del índice de vegetación	<ul style="list-style-type: none"> 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 (<i>Chromolaena odorata</i>)	Inexistentes (modelo CLIMEX) Kriticos et al.(2005)	Aumento de la humedad, del frío, del calor y del estrés debido a la sequía	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 promedio 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% ($\pm 24\%$ 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 contraídas 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]

