

MATERIALES DE CAPACITACIÓN DEL
GCE SOBRE EVALUACIONES DE
VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN

**Capítulo 6: Recursos
hídricos**



ÍNDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 6.1 | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 6.2 | ORIGINANTES DEL CAMBIO | 2 |
| 6.2.1 | Precipitación (incluidos los valores extremos y la variabilidad) y vapor de agua..... | 2 |
| 6.2.2 | Nieve y hielo terrestre..... | 5 |
| 6.2.3 | Evapotranspiración..... | 5 |
| 6.2.4 | Originantes no climáticos | 5 |
| 6.3 | IMPACTOS POTENCIALES | 6 |
| 6.3.1 | Humedad del suelo..... | 6 |
| 6.3.2 | Cambios en la escorrentía y el caudal fluvial | 6 |
| 6.3.3 | Impactos hidrológicos en las zonas costeras | 7 |
| 6.3.4 | Cambios en la calidad del agua..... | 7 |
| 6.3.5 | Modificación en las aguas subterráneas | 8 |
| 6.3.6 | Cambios en la demanda de agua, el suministro y el saneamiento.. | 9 |
| 6.4 | RESUMEN DE LA SITUACIÓN | 10 |
| 6.5 | REQUISITOS DE DATOS, HERRAMIENTAS Y MÉTODOS..... | 12 |
| 6.5.1 | Consideraciones generales | 12 |
| 6.5.2 | El enfoque de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos | 13 |
| 6.5.3 | Modelos integrados de gestión, planificación y evaluación de recursos hídricos | 16 |
| 6.5.4 | Requisitos de datos | 23 |
| 6.6 | ADAPTACIÓN..... | 25 |
| 6.6.1 | Opciones de adaptación..... | 25 |
| 6.6.2 | Respuestas adaptativas por sistemas y sectores..... | 28 |
| 6.6.3 | Incorporación..... | 32 |
| 6.6.4 | Supervisión y evaluación..... | 32 |
| 6.7 | BIBLIOGRAFÍA..... | 34 |

6.1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático probablemente altere el ciclo hidrológico de un que puede causar considerables impactos sobre la disponibilidad de los recursos hídricos, la distribución temporal y cambios en la calidad del agua. Es posible que la distribución temporal y espacial de las precipitaciones, así como su intensidad, varíe en diferente medida en función de factores hidrológicos y climáticos regionales.

Además, podrían experimentarse cambios significativos en la escurrentía debido a que la cantidad de agua evaporada del entorno y transpirada por las plantas variará a causa del grado de humedad del suelo y de las respuestas de las plantas a las elevadas concentraciones de dióxido de carbono (CO₂). Esto afectará a los caudales y a la recarga de aguas subterráneas.

Además, las modificaciones del ciclo hidrológico provocadas por el cambio climático se añadirán a importantes cambios en las cuencas a causa de los cambios de uso de la tierra, por ejemplo la conversión de bosques en tierras agrícolas, de tierras agrícolas en zonas urbanas o de pastos en tierras agrícolas, así como la intensificación del uso de estas tierras. Estos cambios afectarán tanto a la disponibilidad como a la demanda de agua. La variación en los modelos y niveles de demanda de agua en el futuro generará desafíos adicionales a la hora de desarrollar respuestas de adaptación eficaces para el cambio climático y la gestión de recursos hídricos.

Tal como ocurre con otros capítulos sobre sectores específicos, por ejemplo sobre los recursos costeros, la agricultura y la salud humana (capítulos 5, 7 y 8, respectivamente), este capítulo presenta un enfoque para considerar los recursos hídricos en el desarrollo del componente de vulnerabilidad y adaptación (VyA) de las comunicaciones nacionales. En particular, el presente capítulo recoge una breve descripción general de los impactos potenciales del cambio climático sobre elementos críticos de los recursos hídricos, por ejemplo orientaciones sobre los métodos y herramientas clave disponibles que pueden contribuir a la evaluación de la vulnerabilidad y a la planificación de la adaptación.

Existen cuatro recursos clave que ofrecen una presentación amplia de las cuestiones relacionadas con la gestión de los recursos hídricos en el contexto del cambio climático. Son los siguientes:

- Cuarto Informe de evaluación (2007) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)¹;
- Documento técnico del IPCC "El cambio climático y el agua" (Bates et al., 2008), redactado en respuesta a las sugerencias del Programa Mundial sobre el Clima - *Agua, diálogo sobre el agua*;

¹ <<http://www.ipcc.ch/>>. Consulte tanto el informe del Grupo de trabajo I sobre la base de ciencias físicas de los cambios futuros potenciales en el ciclo hidrológico y el capítulo 3 del Grupo de trabajo II "Recursos de agua dulce y su gestión".

- Manual de capacitación de Cap Net (2009) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), *GIRH, Herramienta de adaptación al cambio climático*²;
- PNUMA (2012) *Planificación de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos para pequeños Estados insulares en desarrollo*.

Este capítulo emplea básicamente los contenidos de dichos recursos y proporciona vínculos, cuando procede, a información técnica adicional.

6.2 ORIGINANTES DEL CAMBIO

El documento técnico del IPCC "El cambio climático y el agua" (Bates et al., 2008) recoge un resumen exhaustivo de los cambios previstos en el clima en el contexto del agua; en la siguiente sección se resumen dichos cambios, a excepción del nivel del mar, que se trata en el capítulo 5.

6.2.1 PRECIPITACIÓN (INCLUIDOS LOS VALORES EXTREMOS Y LA VARIABILIDAD) Y VAPOR DE AGUA

En el Cuarto Informe de evaluación (AR4) del IPCC, el Grupo de trabajo I indica brevemente que el cambio climático modificará el ciclo hidrológico, lo cual alterará los modelos de precipitaciones y escorrentía. En términos generales, el IPCC llegó a la conclusión que, durante el siglo XXI, la cantidad media mundial de vapor de agua, de la evaporación y de la precipitación de agua aumentará, con:

- Un incremento de la precipitación, por lo general en las áreas de valores máximos de precipitación tropical regional (por ejemplo, en los regímenes monzónicos, particularmente en el Pacífico tropical) y en latitudes altas;
- Disminuciones generalizadas en la precipitación en las regiones subtropicales.

Cabe destacar que el IPCC concluye que dichos modelos siguen observándose en tendencias recientes. Los modelos mundiales generales de la precipitación futura potencial se muestran en la Figura 6-1.

Todas las simulaciones de modelos climáticos muestran pautas complejas del cambio en las precipitaciones, indicando que algunas regiones registrarán menos precipitaciones que en la actualidad y otras más. Los cambios en los modelos de circulación, provocados tanto por factores globales como por las complejidades de

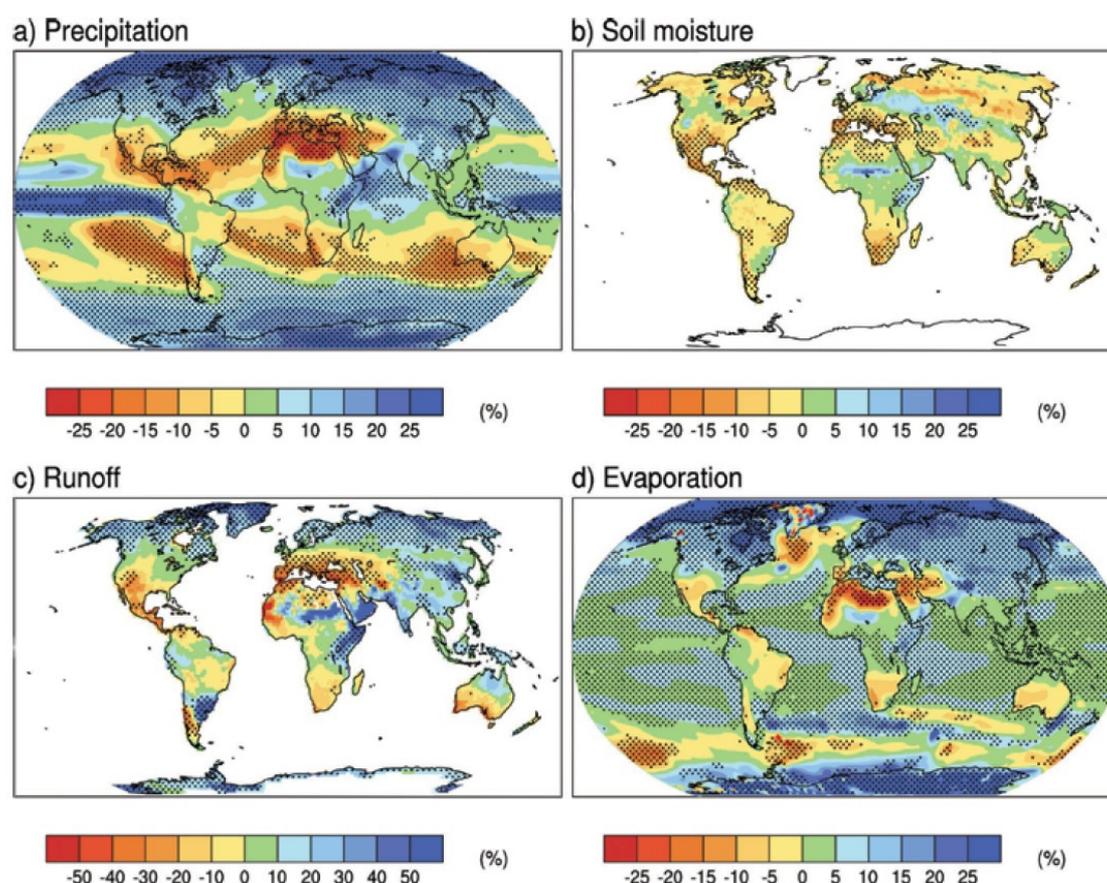
² <http://www.cap-net.org/node/1628>

los sistemas climáticos locales, tendrán una importancia crítica para la determinación de los modelos de precipitación locales y regionales.

Además de la variación de la media mundial de precipitación anual, probablemente se experimenten cambios en la frecuencia y distribución de los valores extremos de precipitación. El AR4 concluye que:

- Es muy probable que aumente la frecuencia de las precipitaciones intensas;
- Probablemente aumentará la intensidad de los ciclones tropicales, lo cual intensificará las lluvias;
- Las proyecciones indican que aumentará la intensidad de las precipitaciones, en particular en las zonas tropicales y en altas altitudes que experimentan incrementos en la precipitación media;
- Se aprecia una tendencia hacia un clima más seco en áreas continentales medias durante los veranos, que apunta a un riesgo de sequía elevado en esas regiones;
- En la mayoría de las áreas tropicales y de latitudes medias y altas, la precipitación extrema aumentaría más que la precipitación media;
- Se observa un desplazamiento hacia los polos de las trayectorias de las tempestades extratropicales;
- Todavía no se puede realizar una proyección definitiva de las tendencias en la variabilidad futura de El Niño-Oscilación Austral (ENOA) a causa del cambio climático.

Figura 6-1: Valor medio de un agregado de 15 modelos respecto de los cambios de: (a) precipitación (%); (b) contenido de humedad del suelo (%); (c) escorrentía (%); y (d) evaporación (%). Para denotar la coherencia en cuanto al signo del cambio, se han indicado en trama sombreada aquellas regiones en que como mínimo un 80 % de los modelos concuerdan en el signo del cambio medio. Los cambios son valores medios anuales basados en el escenario A1B del IE-EE para el período 2080–2099 con comparación con 1980–1999. Los cambios de humedad del suelo y de escorrentía se indican mediante puntos terrestres con datos válidos obtenidos de diez modelos como mínimo (fuente: Bates et al., 2008).



Cabe destacar que el IPCC descubrió variaciones regionales considerables en los modelos futuros de fenómenos de lluvias extremos y en la capacidad de predecir cambios futuros debido tanto a una falta de datos climáticos actuales como de estudios de modelos específicos.

En consecuencia, para garantizar que los escenarios regionales de cambios de la precipitación se reflejen eficazmente en los aspectos de planificación de los recursos hídricos de las comunicaciones nacionales, debe seleccionarse cuidadosamente un proceso de desarrollo de escenarios (descrito en el capítulo 4).

Cuadro 6-1: Cambios en las pautas de precipitación en Asia (fuente: adaptado de USAID, 2010)

Un estudio de USAID de 2010 indicó que el valor anual de la precipitación en China está disminuyendo desde 1965, con monzones estivales más intensos durante los años más cálidos a escala mundial y monzones más secos durante los años más fríos a escala mundial. En Mongolia, las pautas de lluvias notificadas han variado más considerablemente en función de las estaciones, aumentando entre un 4 y un 9 % en otoño e invierno durante los últimos 60 años, mientras que la precipitación en primavera y verano ha disminuido entre un 7,5 y un 10 %. En India, se ha registrado un aumento de las lluvias extremas durante el monzón estival en el noroeste,

mientras que ha disminuido el número de días lluviosos en la costa oriental.

El cambio climático ha agravado asimismo las sequías asociadas a fenómenos relacionados con El Niño; ya se ha experimentado una mayor incidencia en Indonesia, Laos, Filipinas, Vietnam, las Islas Salomón y las Islas Marshall. El informe señaló que las zonas costeras situadas a baja altitud en la región son extremadamente vulnerables a las inundaciones.

6.2.2 NIEVE Y HIELO TERRESTRE

Tal como se resume en Bates et al., (2008) sección 2.3.2), el AR4 llegó a la conclusión de que:

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

Los modelos climáticos prevén reducciones generalizadas de la cubierta de nieve durante el siglo XXI, pese a ciertos aumentos proyectados en latitudes superiores. Son significativas en los sistemas montañosos y en altas latitudes, aunque también en sistemas fluviales alimentados por el deshielo y la nieve.

6.2.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN

En el AR4 se indica que las proyecciones probablemente aumentarían casi por doquier. Ello se debe a que la capacidad de retención de agua de la atmósfera aumentaría en el futuro con el incremento de la temperatura, pero la humedad relativa tan solo variaría ligeramente.

Cabe destacar que la evaporación potencial efectiva aguas adentro aumentaría y que muy probablemente se experimentarían las variaciones en tierra a causa de los cambios en la precipitación y en la demanda atmosférica. Estos afectarían al balance hídrico regional de la escorrentía, a la humedad del suelo, al agua embalsada, a los niveles de agua subterránea y a la salinización de los acuíferos poco profundos (en combinación con el aumento del nivel del mar; véase el capítulo 5).

6.2.4 ORIGINANTES NO CLIMÁTICOS

Además de los originantes del cambio climático que influirían en los futuros recursos de agua dulce, el cambio también está impulsado por factores no climáticos (IPCC

2007b; Naciones Unidas 2003). Entre ellos se incluyen las influencias de los cambios de uso de la tierra, como la deforestación y el incremento de la demanda de agua asociado a la urbanización y la irrigación, la construcción y gestión de los embalses, la polución y el tratamiento de aguas residuales. Estos originantes se derivan de los cambios en la población (tanto en cifras absolutas como en su distribución regional), la afluencia, el consumo alimentario, la política económica (incluidos los precios del agua), la tecnología, los factores asociados al estilo de vida y el modo en que ven las poblaciones locales el uso del agua dulce, las cuencas y los ecosistemas de agua dulce (Kundzewicz et al., 2007).

En consecuencia, los impactos directos potenciales del cambio climático sobre los recursos hídricos, descritos en la sección siguiente, deben estudiarse cuidadosamente en combinación con los originantes potenciales no climáticos, socioeconómicos y biofísicos, utilizando los métodos y enfoques descritos en el capítulo 3.

6.3 IMPACTOS POTENCIALES

6.3.1 HUMEDAD DEL SUELO

Cualquier cambio futuro en la humedad del suelo afectará considerablemente a la escorrentía y los caudales (véase la sección **Error! Reference source not found.**), así como a la productividad agrícola in situ (véanse la sección 6.6.2 y el capítulo 7).

Lamentablemente, la comprensión actual de las interacciones entre la temperatura futura, la lluvia, la evaporación y la vegetación cambia los resultados a la hora de modelar los desafíos para predecir los cambios en la humedad del suelo. No obstante, los modelos mundiales del valor medio anual de contenido de humedad del suelo (**Error! Reference source not found.**) por lo general indican:

- Disminuciones en las áreas subtropicales y en la región mediterránea;
- Aumentos en África oriental, en Asia central y en otras regiones con mayores niveles de precipitación;
- Disminuciones también en latitudes altas, en que se reduce la cubierta de nieve.

6.3.2 CAMBIOS EN LA ESCORRENTÍA Y EL CAUDAL FLUVIAL

El capítulo del AR4 sobre recursos de agua dulce y su gestión (Kundzewicz et al., 2007) utilizó una serie de modelos climáticos mundiales para simular el clima futuro en diversos escenarios de emisiones del IPCC. Estos estudios asociaron las simulaciones climáticas con un modelo hidrológico a gran escala para examinar los cambios en el nivel anual medio de escorrentía en superficie. Estos estudios descubrieron que todas las simulaciones indican un aumento medio mundial en la precipitación, pero a su vez identifican amplias zonas en que se producen grandes

disminuciones en la escurrentía. Por consiguiente, el valor medio mundial del incremento de la precipitación no se traduce directamente en aumentos regionales en la disponibilidad de aguas subterráneas ni superficiales. Más bien se identifican variaciones regionales significativas en la escurrentía que exigen un exhaustivo análisis.

6.3.3 IMPACTOS HIDROLÓGICOS EN LAS ZONAS COSTERAS

Tanto el AR4 (Nicholls et al., 2007) como Bates et al. (2008) identifican varios impactos clave tanto del aumento del nivel del mar y de los cambios de los sistemas hidrológicos en los recursos hídricos en las zonas costeras. Incluyen, entre otros:

- Aumento de las inundaciones fluviales y marinas, con la consecuente salinización de las aguas subterráneas y estuarios, provocando una disminución de la disponibilidad de agua dulce para los seres humanos y los ecosistemas en las zonas costeras;
- Cambios en la cronología y volumen de la escurrentía de agua dulce que afectan a la salinidad, a la disponibilidad de sedimentos y nutrientes, y a los regímenes de humedad de los ecosistemas costeros;
- La calidad del agua podría variar debido al impacto del aumento del nivel del mar sobre las operaciones de drenaje del agua de las tempestades y al vertido de aguas residuales en las zonas costeras; podría aumentar el potencial de intrusión de agua salada en los depósitos subterráneos de agua dulce;
- Aumento de las inundaciones de los humedales costeros, provocando el desplazamiento de las especies;
- Cambios en el régimen hidrológico que podrían provocar erosión en la costa debido a la variación de la disponibilidad de sedimentos;
- Cambios en la zonación de las especies de la fauna y la flora, así como en la disponibilidad de agua dulce para uso humano a causa del avance de la salinidad corriente arriba por una disminución del caudal fluvial.

6.3.4 CAMBIOS EN LA CALIDAD DEL AGUA

El AR4 descubrió que, en lagos y embalses, los efectos del cambio climático sobre la calidad del agua se deben principalmente a las variaciones en la temperatura del agua, una consecuencia directa del cambio climático o indirecta debido al aumento de la polución térmica a causa de la mayor demanda de agua de refrigeración en el sector de la energía (Kundzewicz et al., 2007). El aumento de la intensidad de las lluvias en zonas montañosas probablemente acentuaría la erosión del suelo y el aumento de los caudales fluviales incrementaría la erosión en las riberas de los ríos. El efecto combinado sería un aumento de la carga de sedimentos y nutrientes en los ríos y embalses. Las proyecciones indican que los aumentos de temperatura del agua y la variación de los fenómenos extremos, incluidas las crecidas y sequías,

afectarían a la calidad del agua y agudizarían la polución del agua por diversas causas, desde la acumulación de sedimentos, nutrientes, carbono orgánico disuelto, patógenos, plaguicidas o sal, hasta la polución térmica (Bates et al., 2008).

Otras variaciones de la calidad del agua se deberían directamente al aumento del nivel del mar, en particular a causa de la inundación directa de zonas costeras que influiría en los sistemas de agua dulce y en la infraestructura de recursos hídricos clave, por ejemplo las operaciones de drenaje de agua de tempestades, las instalaciones de saneamiento y los embalses de agua dulce (Bates et al, 2008).

6.3.5 MODIFICACIÓN EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Por lo general, existen dos tipos de recursos de de aguas subterráneas: las aguas subterráneas de acuíferos poco profundos no confinados y las de acuíferos profundos confinados. Las aguas subterráneas de acuíferos no confinados están directamente vinculadas a los procesos hidrológicos en las proximidades de la superficie, incluyendo la recarga por la precipitación y el caudal de base de los sistemas fluviales; por consiguiente, dependen intrínsecamente del ciclo hidrológico general y podrían verse afectadas directamente por el cambio climático.

Las variaciones en las aguas subterráneas se deberían principalmente a los cambios en los afluentes (en particular a la recarga de aguas subterráneas mediante la lluvia, la humedad del suelo bajo las raíces de las plantas y la interacción ríos-aguas subterráneas), así como a la disminución asociada a los cambios en la demanda de agua y el grado de dependencia de las fuentes de agua subterráneas.

Probablemente la demanda de agua subterránea aumentará en el futuro, principalmente debido al aumento mundial de la utilización de agua. Otra razón podría ser la necesidad de compensar la menor disponibilidad de aguas superficiales a causa de la creciente variabilidad general de la precipitación y a los flujos estivales reducidos en cuencas dependientes de la nieve (Kundzewicz et al., 2007). En muchas comunidades, las aguas subterráneas constituyen la principal fuente de agua para las necesidades de irrigación, municipales e industriales. En numerosas zonas, la extracción excesiva de agua de acuíferos no confinados produce una disminución del nivel de las masas freáticas, puesto que la tasa de extracción supera la tasa de recarga. De hecho, a menudo se considera que los acuíferos no confinados forman parte del mismo recurso que las aguas superficiales, porque están hidráulicamente conectados. En consecuencia, los cambios climáticos podrían afectar directamente a estas tasas de recarga y a la sostenibilidad de los recursos freáticos renovables. La disponibilidad de agua subterránea en los acuíferos normalmente se debe a los sedimentos de tierra profundos depositados hace mucho tiempo y, por consiguiente, apenas está relacionada con el clima. No obstante, estos recursos freáticos podrían disminuir como consecuencia directa del aumento de la extracción para compensar la disminución de los recursos de aguas superficiales.

El cambio climático probablemente influirá considerablemente en la intrusión de agua salada en los acuíferos, así como en la salinización de las aguas subterráneas a causa de una mayor evapotranspiración. El aumento del nivel del mar conlleva la

intrusión de agua salada en las aguas subterráneas dulces en acuíferos costeros y, por consiguiente, perjudica a las fuentes subterráneas de agua potable (Kundzewicz et al., 2007).

6.3.6 CAMBIOS EN LA DEMANDA DE AGUA, EL SUMINISTRO Y EL SANEAMIENTO

El cambio climático podría agudizar los problemas de suministro de servicios hidrológicos, en particular en los países en desarrollo (Kundzewicz et al., 2007). Esto se debe a diversas razones, algunas de las cuales no están necesariamente vinculadas al cambio climático. Diversos factores ya suponen un considerable desafío a la hora de suministrar servicios hidrológicos satisfactorios, por ejemplo:

- La falta actual de agua potable suficiente;
- El elevado coste de la distribución de agua a asentamientos muy dispersos;
- Una demanda mayor y más ampliamente distribuida en el sentido espacial debido al crecimiento de la población en zonas concentradas;
- Un aumento de la urbanización y el consecuente incremento del consumo de agua per cápita y de la polución del agua;
- Una utilización pública del agua más intensiva;
- Gobernanza del agua: asignaciones a la industria, la agricultura, el sector público y los flujos medioambientales.

Teniendo en cuenta los factores anteriores, podemos ver que ya existen considerables desafíos en el sector de los servicios hidrológicos. En este contexto, el cambio climático constituye una carga adicional para las infraestructuras de agua o para cualquier parte que participe en el suministro de servicios hidrológicos. Los efectos observados del cambio climático y sus impactos potenciales sobre los servicios hidrológicos se recogen a continuación en la **Error! Reference source not found.**

Tabla 6-2: Efectos observados del cambio climático, junto con sus impactos observados/posibles respecto a los servicios hidrológicos. (Fuente: Kundzewicz et al, 2007)

| Efecto observado | Impactos observados/posibles |
|--|---|
| Aumento de la temperatura atmosférica | <ul style="list-style-type: none">• Disminución de la disponibilidad del agua en cuencas alimentadas por glaciares en retracción, observada en ciertas ciudades andinas de América del Sur (Ames, 1998; Kaser y Osmaston, 2002) |

| | |
|--|---|
| Aumento de la temperatura superficial del agua | <ul style="list-style-type: none">• Disminución del contenido de oxígeno disuelto, pautas de mezclado y capacidad de autodepuración• Mayor número de floraciones de algas |
| Aumento del nivel del mar | <ul style="list-style-type: none">• Salinización de los acuíferos costeros |
| Cambios en las pautas de precipitación | <ul style="list-style-type: none">• Variación de la disponibilidad del agua, debida a los cambios de precipitación y a otros fenómenos relacionados (por ejemplo, recarga de las aguas subterráneas, evapotranspiración) |
| Aumento de la variabilidad interanual de la precipitación | <ul style="list-style-type: none">• Mayor dificultad para controlar las crecidas y para utilizar los reservorios durante la estación de crecidas |
| Aumento de la evapotranspiración | <ul style="list-style-type: none">• Menor disponibilidad de agua• Salinización de los recursos hídricos• Disminución del nivel freático |
| Aumento de la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos | <ul style="list-style-type: none">• Las crecidas afectan a la calidad del agua y a la integridad de la infraestructura hidrológica, y acentúan la erosión fluvial, introduciendo así diversos tipos de poluyentes en los recursos hídricos• Las sequías afectan a la disponibilidad y calidad del agua |

6.4 RESUMEN DE LA SITUACIÓN

"Los registros observacionales y las proyecciones climáticas proporcionan evidencia abundante de que los recursos de agua dulce son vulnerables y podrían resultar muy afectados por el cambio climático, que tendría todo tipo de consecuencias en las sociedades humanas y en los ecosistemas" (Bates et al., 2008).

La sección anterior sugiere los cambios hidrológicos previstos clave provocados por el cambio climático. A continuación, se resumen los principales problemas e impactos de cada cambio hidrológico previsto en la **Error! Reference source not found.**



Tabla 6-3: Resumen de las implicaciones hidrológicas previstas del cambio climático

| Proceso/subsector | Cuestiones e impactos clave |
|-------------------------------------|--|
| Humedad del suelo | <ul style="list-style-type: none"> • Disminuciones en las áreas subtropicales y en la región mediterránea • Aumentos en África oriental, en Asia central y en otras regiones con mayores niveles de precipitación • Disminuciones también en latitudes altas, en que se reduce la cubierta de nieve |
| Escurrentía y caudal fluvial | <ul style="list-style-type: none"> • Variaciones regionales considerables en la escurrentía y los caudales fluviales • Reducción de la escurrentía en Europa meridional • Aumento de la escurrentía en el Sudeste asiático • Aumento de los caudales de los ríos en altas latitudes • Tendencia a la disminución de los caudales fluviales en Oriente Medio, Europa y Centroamérica |
| Zonas costeras | <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de las inundaciones fluviales y marinas, con la consecuente salinización de las aguas subterráneas y estuarios • Cambios en la cronología y volumen de la escurrentía de agua dulce que afectan a la salinidad, a la disponibilidad de sedimentos y nutrientes • Cambios en la calidad del agua debido al impacto del aumento del nivel del mar sobre las operaciones de drenaje del agua de las tempestades y al vertido de aguas residuales en las zonas costeras • Cambios en la zonación de las especies de la fauna y la flora, así como en la disponibilidad de agua dulce para uso humano a causa del avance de la salinidad corriente arriba por una disminución del caudal fluvial |
| Calidad del agua | <ul style="list-style-type: none"> • Aumentos de temperatura del agua que acentuarían numerosos tipos de polución • Cambios en las crecidas y sequías que podrían afectar a la calidad del agua por la acumulación de sedimentos, nutrientes, |

| | |
|--|---|
| | <p>carbono orgánico disuelto, patógenos, plaguicidas y sal</p> <ul style="list-style-type: none">• Las proyecciones indican que el aumento del nivel del mar ampliará el alcance de la salinización de las aguas subterráneas y estuarios |
| Aguas subterráneas | <ul style="list-style-type: none">• Variabilidad de las aguas superficiales vinculada directamente a la variabilidad de las aguas subterráneas en acuíferos no confinados• La mayor extracción debido al crecimiento de la población y la disminución de la disponibilidad de aguas superficiales provocaría la disminución del nivel freático |
| Demanda, suministro y saneamiento | <ul style="list-style-type: none">• El cambio climático posiblemente incremente las exigencias sobre los servicios hidrológicos, incluyendo: el suministro, la demanda y la gobernanza |

6.5 REQUISITOS DE DATOS, HERRAMIENTAS Y MÉTODOS

6.5.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El cambio climático afectará a las prácticas de gestión de agua existentes, especialmente en países con menos experiencia en la incorporación de la incertidumbre en la planificación del uso del agua y con menores recursos institucionales y financieros. El desafío actual consiste en incorporar los escenarios de cambio climático (incluidas sus incertidumbres) junto con otros tipos de incertidumbre que suelen abordarse en los procesos de planificación del uso del agua.

Un hito en el análisis del cambio climático en el proceso de planificación del uso de agua es la utilización de simulaciones hidrológicas para estudiar el efecto de un clima cambiante en el proceso de lluvias-escorrentía, así como en la variabilidad temporal y espacial de la demanda de agua.

Los modelos hidrológicos reflejan los mecanismos físicos de la producción de escorrentía en el paisaje caracterizando la precipitación sobre la superficie terrestre, ya sea directamente o a través del deshielo, y la división de ese agua en evapotranspiración, escorrentía al sistema fluvial y recarga de aguas subterráneas. La planificación del uso del agua y los modelos de evaluación utilizan estos flujos de agua para determinar la gestión de los depósitos y las estrategias de suministro de agua, a menudo en el contexto de un marco reglamentario bien definido.

Básicamente existen dos enfoques para evaluar los impactos potenciales del cambio climático sobre los recursos hídricos: "descendente" o "ascendente" (véase el capítulo 2 para obtener más información sobre los marcos de VyA).

El planteamiento descendente normalmente comienza estableciendo la credibilidad científica del calentamiento climático causado por los seres humanos, desarrolla escenarios climáticos futuros que se usarán a escala regional y, a continuación, aplica esos posibles cambios a los sistemas de recursos hídricos para evaluar, por ejemplo, la fiabilidad de los sistemas.

Los problemas del planteamiento descendente radican en que:

- No siempre tratan las necesidades específicas de una región;
- El enfoque puede quedar bloqueado por la incertidumbre de las proyecciones del clima futuro.

Por su parte, el planteamiento ascendente comienza identificando las vulnerabilidades más importantes del sector hidrológico, a menudo mediante el análisis de sensibilidades clave del sistema para articular las causas de dichas vulnerabilidades, sugiriendo cómo pueden o no exacerbar el cambio climático, la variabilidad del clima y los fenómenos climáticos extremos dichas vulnerabilidades; por último, elabora un proceso analítico para tratar y solucionar mejor la vulnerabilidad ante la incertidumbre climática (por ejemplo, un enfoque de precaución).

Tanto en los planteamientos descendentes como ascendentes, la GIRH puede ser el enfoque más eficaz para evaluar las opciones de adaptación y sus implicaciones en el contexto de un entorno reglamentario cambiante con sus demandas conflictivas, tal como se muestra en la sección siguiente.

6.5.2 EL ENFOQUE DE GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

La GIRH es un planteamiento sistemático de la planificación y gestión que tiene en cuenta diversas acciones, procesos y recursos hídricos, tanto desde el punto de vista de la oferta como de la demanda, e incorpora la participación de las partes afectadas en los procesos de toma de decisiones. Además, facilita la gestión de la adaptación mediante una revisión y supervisión continua del estado de los recursos hídricos.

Definición de términos

La Asociación Mundial para el Agua define la GIRH como un proceso que promueve el desarrollo y manejo coordinados del agua, la tierra y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.



La evaluación de los recursos hídricos se define como la "determinación de las fuentes, alcance, fiabilidad y calidad de los recursos hídricos para su utilización y control". El objetivo de la evaluación de recursos hídricos consiste en contribuir a clarificar las siguientes cuestiones:

- El estado actual de los recursos hídricos a diferentes escalas, incluida la variabilidad interanual e intraanual
- La utilización de agua actual (incluida la variabilidad) y los compromisos sociales y medioambientales resultantes
- Los factores externos relacionados con la escala, especialmente cuando se tienen en cuenta las pautas de uso de agua en diferentes escalas temporales y espaciales
- Los factores sociales e institucionales que afectan al acceso al agua y su fiabilidad
- Las oportunidades de ahorrar e incrementar la productividad, eficiencia y/o equidad
- La eficacia y transparencia de los procesos de toma de decisiones y las políticas relacionadas con el agua existentes
- Los conflictos entre los conjuntos de información existentes y la precisión general de la estadísticas gubernamentales (y otras)

La Planificación integrada de recursos hídricos (PIRH) es un tipo exhaustivo de planificación que abarca análisis de los menores costes de las opciones de gestión en materia de oferta y de demanda, así como: un proceso de toma de decisiones abierto y participativo; el desarrollo de alternativas de recursos hídricos que tienen en cuenta la calidad de vida comunitaria y las cuestiones medioambientales que podrían verse afectadas por la decisión final; y el reconocimiento de las diversas instituciones afectadas, entre otros, por objetivos políticos conflictivos y por los recursos hídricos. La PIRH intenta incorporar todos los costes y beneficios directos e indirectos de la gestión de la demanda, de la gestión de la oferta y del aumento de la oferta utilizando diferentes escenarios de planificación, análisis interdisciplinarios, la participación comunitaria en la planificación, procesos de ejecución y de toma de decisiones y los beneficios sociales y medioambientales.

El proceso de planificación incluye métodos para identificar los medios más eficaces de alcanzar los objetivos, a la vez que tiene en cuenta los costes de los impactos proyectados sobre otros objetivos comunitarios y objetivos de gestión medioambiental. Estos métodos de planificación requieren específicamente la evaluación de todos los beneficios y costes, incluyendo los costes evitados y los costes del ciclo de vida (AWWA, 2001).

Los enfoques de GIRH tienen las siguientes características que contribuyen a una gestión del agua más eficaz y eficiente (PNUMA, 2012):

- Es un planteamiento pragmático para avanzar hacia una gestión de agua mejor y más sostenible;
- Es un proceso que fomenta la gestión y el desarrollo coordinado de los recursos del agua, la tierra y otros recursos relacionados, sin perjudicar a la sostenibilidad de ecosistemas vitales;
- No es un plan vinculado al tiempo para guiar a un país en el uso y gestión de sus recursos hídricos con hitos y reglas de juego claramente definidas;
- No requiere que todas las acciones estén completamente integradas y gestionadas por una superagencia que sustituya a numerosos agentes en el ámbito del agua;
- Radica en que las partes afectadas encuentren métodos para coordinar y solucionar los problemas de coordinación en la gestión de recursos hídricos.

Para abarcar las acciones y procesos tanto de la oferta como de la demanda, la GIRH debe tratar simultáneamente los dos sistemas independientes que dan forma al ámbito de la gestión del agua, en particular:

- Sistema biofísico: Los factores relacionados con el sistema biofísico (en particular, el clima, la topografía, la ocupación del suelo, las aguas superficiales, la hidrología, la hidrología de aguas subterráneas, los suelos, la calidad del agua y los ecosistemas) determinar la disponibilidad del agua y su movimiento a través de una cuenca fluvial;
- Sistema socioeconómico: Los factores relacionados con el sistema de gestión socioeconómico definen cómo se almacena, asigna, regula y suministra el agua disponible dentro de las fronteras de un país y entre países.

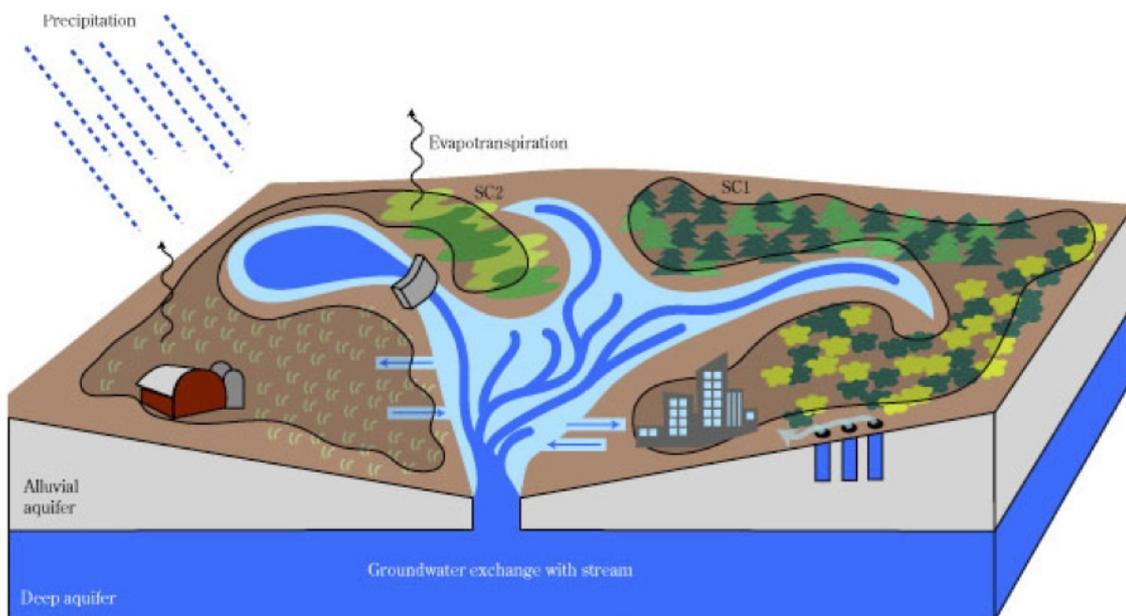
Cada vez más frecuentemente, los objetivos operativos del sistema de gestión intentan equilibrar las necesidades de agua para uso humano y para el medio ambiente. En consecuencia, un análisis integrado de los sistemas gestionados y naturales probablemente sea el enfoque más útil para determinar cómo afectarán los cambios climáticos a este sistema combinado natural-social.

Este tipo de análisis se basa en herramientas de modelación hidrológica que simulan los procesos físicos, incluyendo la precipitación, la evapotranspiración, la escorrentía, la infiltración y el flujo de aguas subterráneas (véase la **Error! Reference source not found.**). En los sistemas gestionados, los analistas deben incluir el funcionamiento de las estructuras hidráulicas, como presas y desvíos, así como factores institucionales que rigen la asignación del agua entre demandas conflictivas, incluyendo la demanda de consumo para el abastecimiento de agua a zonas urbanas o a la agricultura o la demanda no asociada al consumo para la generación de hidroelectricidad o la protección de ecosistemas. Dado que la calidad del agua también variará con el cambio climático, debe prestarse especial atención a los cambios de la calidad del agua. Dichos cambios podrían incrementar las restricciones de extracción de agua para mantener la calidad del agua y la salud de

los ecosistemas. Los cambios en cada uno de estos elementos pueden influir en el impacto final del cambio climático sobre los recursos hídricos.

Aunque diferentes modelos hidrológicos pueden resultar en diferentes valores de caudal fluvial, recarga de aguas subterráneas, calidad del agua y otros (Boorman y Sefton, 1997; Beven, 2004), históricamente las diferencias han sido reducidas en comparación con las incertidumbres atribuidas al cambio climático que se reflejan en las diferencias entre los resultados de los modelos de circulación general (MCG). No obstante, la cadena de reacciones desde el clima a la respuesta hidrológica, desde los sistemas de recursos hídricos hasta los impactos reales sobre el suministro de agua, la generación eléctrica, la navegación, la calidad de agua y otros, dependerá de numerosos factores, cada uno con un nivel de incertidumbre diferente que debe tratarse de forma transparente en las evaluaciones de impacto. (El capítulo 4 trata las opciones para generar escenarios de cambio climático).

Figura 6-2: Interfaz entre los sistemas gestionados y de cuencas naturales



6.5.3 MODELOS INTEGRADOS DE GESTIÓN, PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

Existen diversos modelos y herramientas para la gestión, planificación y evaluación integradas de recursos hídricos que pueden clasificarse en dos categorías amplias.

- En primer lugar, los modelos destinados a simular los procesos hidrológicos físicos en una cuenca. Estos modelos suelen emplear métodos numéricos complejos para determinar estimaciones de picos de caudal fluvial y niveles de inundación basándose en un conjunto de parámetros de datos que representa las características de la cuenca. Estos modelos normalmente requieren una gran cantidad de datos observados para conseguir la validación y calibración del modelo.

- La segunda categoría general de modelos incluye aquellos que representan la disponibilidad temporal y espacial del agua entre diferentes usos dentro de una determinada cuenca, región o zona definida políticamente.

Existen diversos paquetes de modelos que incorporan tanto la simulación de procesos físicos como las cuestiones de gestión de agua. Los modelos varían desde modelos unidimensionales sencillos de libre acceso a paquete de simulación tridimensionales más avanzados (y costosos).

Existe una gran variedad de modelos disponible para la aplicación a la gestión de los recursos hídricos, muchos de los cuales se resumen en el Compendio de métodos y herramientas de la CMNUCC para evaluar los impactos del cambio climático, así como la vulnerabilidad al mismo³. Puede encontrar resúmenes de los diversos métodos y herramientas disponibles en la caja de herramientas de la Asociación Mundial para el Agua (GWP) sobre Gestión Integrada de los Recursos Hídricos⁴. En la **Error! Reference source not found.** se resume una selección de estos modelos.

Tabla 6-4: Selección de modelos de GIRH

| Modelo | Fuente | Licencias y formación | Descripción | Vínculo |
|---------------|---|--|--|---|
| WEAP21 | Instituto de medioambiente de Estocolmo (SEI) | Gratuito para los países en desarrollo Talleres de formación periódicos | El WEAP (Sistema de evaluación y planificación del agua) es una herramienta de simulación de recursos hidrológicos superficiales y freáticos basada en los principios contables de equilibrio del agua que puede comprobar conjuntos de condiciones alternativos tanto para la oferta como para la demanda | http://www.weap21.org/ |

³ Puede descargar el Compendio en: http://unfccc.int/adaptation/nairobi_workprogramme/knowledge_resources_and_publications/items/5457.php.

⁴ <http://gwptoolbox.org/>.

| | | | | |
|----------------------|---|---|--|---|
| RiverWare | Centro de apoyo avanzado para las decisiones sobre los sistemas medioambientales e hidrológicos: Universidad de Colorado | Se requiere licencia; asistencia técnica disponible | RiverWare es un modelo de optimización y simulación de cuencas y depósitos utilizado para evaluar la política operativa, la optimización del sistema, la contabilidad del agua, la administración de los derechos sobre el agua y la planificación de recursos a largo plazo | < http://cadswes.colorado.edu/riverware/ > |
| SWAT | Departamento de agricultura de EE.UU. (USDA) | Gratuito Talleres de formación periódicos | SWAT (Herramienta de evaluación del suelo y el agua) es un modelo a escala de las cuencas fluviales que cuantifica el impacto de las prácticas de gestión de la tierra en cuencas complejas de gran tamaño | < http://swatmodel.tamu.edu/ > |
| HEC-HMS | Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU. | Gratuito Asistencia técnica solo para clientes USACE Talleres de formación periódicos | HEC-HMS (Sistema de modelación hidrológica - Centro de ingeniería hidrológica) es un diseño de modelo para simular el proceso precipitación-escorrentía de los sistemas de cuencas dendríticos | < http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/ > |
| USGS MMS-PRMS | Encuesta geológica de EE.UU. | Gratuito Talleres de formación disponibles a través de USGS | PRMS (Sistema de modelación precipitación-escorrentía) es un modelo de cuenca de procesos físicos desarrollado para evaluar los efectos de diversas combinaciones de precipitación, clima y uso de la tierra para una cuenca | < http://www.brr.cr.usgs.gov/projects/SW_MoWS/software/oui_and_mms/prms.shtml > |

| | | | | |
|-----------------|---|---|---|---|
| MIKE-SHE | Instituto hidráulico danés (DHI) | Se requiere licencia Talleres de formación periódicos a escala mundial | MIKE-SHE es un sistema de modelación hidrológica integrado avanzado. Simula el flujo de agua en toda la fase terrestre del ciclo hidrológico, desde la lluvia hasta el caudal fluvial, a través de diversos procesos de flujo como la escorrentía, la infiltración en el suelo, la evapotranspiración de la vegetación y el flujo subterráneo | < http://mikebydhi.com/Products/WaterResources/MIKESHE.aspx > |
| HYMOS | Deltares (Instituto neerlandés para cuestiones nacionales e internacionales asociadas al delta) | Se requiere licencia Talleres de formación periódicos | HYMOS es un sistema de información para la gestión de recursos hídricos en general. Incluye todos los requisitos de procesamiento y almacenamiento de datos para el análisis, planificación, diseño y funcionamiento de los sistemas de gestión del agua | < http://www.wldelft.nl/soft/hymos/int/index.html > |
| HEC-RAS | Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU. | Gratuito Asistencia técnica solo para clientes USACE Talleres de formación periódicos | HEC-RAS (Sistema de análisis fluvial - Centros de ingeniería hidrológica) es un modelo desarrollado para cuantificar el flujo constante unidimensional, el flujo no constante, los cálculos de capas móviles/transporte de sedimentos y la modelación de la temperatura del agua | < http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/ > |
| MIKE21 | DHI | Se requiere licencia Talleres de formación periódicos a escala mundial | MIKE21 es un diseño de modelo bidimensional para simular la hidrodinámica de costas y estuarios, el transporte de sedimentos, los sistemas ecológicos y de olas | < http://www.dhisoftware.com/ > |

| | | | | |
|-------------------|---|---|--|---|
| Delft3D | Deltares | Se requiere licencia Talleres de formación periódicos | Delft3D es un modelo tridimensional diseñado para investigar la hidrodinámica, el transporte y morfología de sedimentos y la calidad de agua para entornos fluviales, de estuarios y costeros | < http://www.deltarssystem.com/hydro > |
| Aquarius | USDA | Gratuito Seminarios celebrados en los EE.UU. | Aquarius es un marco de análisis que representa la asignación temporal y espacial de los flujos de agua entre los usos de agua conflictivos tradicionales y no tradicionales en una cuenca fluvial | < http://www.fs.fed.us/rm/value/aquarius > |
| RIBASIM | Deltares | Se requiere licencia Talleres de formación periódicos | RIBASIM es un paquete de modelos genérico para la simulación del comportamiento de las cuencas fluviales en diversas condiciones hidrológicas para los sistemas superficiales y subterráneos | < http://www.wldelft.nl/soft/ribasim/index.html > |
| MIKE BASIN | DHI | Se requiere licencia Talleres de formación periódicos a escala mundial | MIKE BASIN es una herramienta para tratar cuestiones relativas a la asignación del agua, el uso conjuntivo, el funcionamiento de depósitos o la calidad del agua | < http://www.dhisoftware.com/ > |
| HEC-ResSim | Cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU. | Gratuito Asistencia técnica solo para clientes USACE Talleres de formación periódicos | HEC-ResSim (Simulación de sistemas de depósitos - Centro de ingeniería hidrológica) es un modelo de gestión del agua diseñado para simular las operaciones con depósitos en uno o varios depósitos cuyo funcionamiento se rija por una variedad de limitaciones y objetivos operativos | < http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ressim/ > |

Cada uno de los modelos anteriores puede utilizarse en diferentes situaciones para respaldar la GIRH con un contexto de cambio climático. El uso de un modelo específico estará determinado por diversos factores, como el coste, la capacidad técnica, el acceso a recursos de capacitación, y la calidad deseada de los requisitos de datos de entrada y salida de los modelos. En la **Error! Reference source not**

found. se muestran dos útiles guías de apoyo de la GIRH específicamente en un contexto de cambio climático.

Tabla 6-5: Recursos adicionales

| Recurso | Fuente | Descripción | Vínculo |
|--|------------------------|---|---|
| La GIRH como una herramienta para la adaptación al cambio climático: manual de capacitación y guía de mediador | PNUD-Cap Net | Material de capacitación que incluye una introducción a la GIRH como un instrumento de adaptación al cambio climático. Incluye asimismo vínculos a centros de recursos nacionales que ofrecen servicios de asesoría, educación, formación e investigación en el ámbito del agua | < http://www.cap-net.org/node/1628 > |
| Cómo integrar la adaptación al cambio climático en las políticas nacionales y en la planificación en el sector del agua | Tearfund International | Una guía práctica para que los gobiernos de países en desarrollo integren la resistencia y adaptación en sus sectores del agua | < http://tilz.tearfund.org/Research/Water+and+Sanitation+reports/Water+adaptation+guide.htm > |

Los materiales de capacitación prestaron más atención a la modelación de la gestión de recursos hídricos, que puede servir para investigar las cuestiones relacionadas con la oferta y demanda de agua en la planificación a largo plazo de forma coherente con las proyecciones de cambio climático. Tal como se muestra en la **Error! Reference source not found.**, existen diversos modelos de gestión de recursos hídricos que pueden contribuir al desarrollo de las comunicaciones nacionales. Una herramienta útil que ya se ha utilizado en comunicaciones nacionales y que ofrece un enfoque integrado de la planificación de los recursos hídricos es el WEAP21 (véase el recuadro 6-1 más abajo). En general, los otros modelos descritos en la **Error! Reference source not found.** se utilizan para generar datos muy específicos para un componente del desarrollo de modelos de recursos hídricos.

Cuadro 6-1: Modelo de planificación y evaluación de agua – Versión 21 (WEAP21)

WEAP21 es una herramienta de software que aplica un enfoque integrado a la planificación de recursos hídricos. Se ha modificado en diversas ocasiones durante su historia de 20 años. WEAP21 intenta cubrir la distancia entre la gestión de agua y la hidrología de cuencas, así como los requisitos según los cuales un modelo integrado de recursos hídricos eficaz debería ser útil, fácil de utilizar, asequible y disponible directamente para el sector de los recursos hídricos en general. WEAP21 integra una serie de procesos hidrológicos físicos con la gestión de la demanda y la infraestructura instalada de un modo coherente. Permite analizar diversos escenarios, incluyendo escenarios de climas alternativos y factores de estrés antropogénicos, como las variaciones en el uso de la tierra, los cambios en las demandas municipales e industriales, las normas operativas alternativas y los cambios en los puntos de desvío. El punto fuerte del WEAP21 consiste en tratar las cuestiones y problemas asociados a la asignación de recursos y planificación del agua; cabe destacar que no ha sido diseñado como un modelo de operaciones hídricas detallado que pueda utilizarse, por ejemplo, para optimizar la hidroelectricidad en función de las previsiones hidrológicas.

El sistema de gestión del sistema de apoyo a las decisiones (DSS) del WEAP21 se define como un conjunto de preferencias de suministro y prioridades de demanda definido por los usuarios para que cada centro de demanda desarrolle una rutina de optimización para la asignación de los suministros disponibles (Yates et al., 2005a, 2005b). El usuario define las demandas, que suelen incluir la demanda municipal e industrial, así como los requisitos de flujo medioambientales y de las partes irrigadas de las divisiones de las cuencas. El análisis de la demanda WEAP21 que no está cubierto por la demanda de irrigación basada en la evapotranspiración sigue un enfoque desagregado basado en el uso final para determinar las necesidades de agua en cada modo de demanda. Se utiliza información económica, demográfica y sobre el uso del agua para desarrollar escenarios alternativos que examinen cómo evoluciona el consumo total y desagregado del agua a lo largo del tiempo. Estos escenarios de demanda se calculan en WEAP21 y se aplican de forma determinista a un algoritmo de asignación pasado en un programa lineal. El análisis de la demanda constituye el punto de partida para realizar un análisis de la planificación integrada del agua porque todos los cálculos de recursos y abastecimiento en WEAP21 se rigen por la rutina de optimización que determina el suministro final a cada nodo de demanda en función de las prioridades especificadas por el usuario.

Resulta importante indicar que existe un conjunto de materiales de capacitación y asistencia en línea, incluyendo tutoriales en inglés, chino, español, francés y farsi, además de un foro de debate en línea (en inglés). Además, hay una amplia lista de publicaciones que abarcan su aplicación en diversos contextos de planificación del agua, incluyendo estudios de adaptación e impacto del cambio climático específicos, muchos de los cuales pueden descargarse desde el sitio web de WEAP². Además, organizan cursos de formación periódicos y existe una red de departamentos universitarios que incluyen WEAP21 en su programa de estudios y, en consecuencia, poseen experiencia a escala nacional con el software.

¹ <<http://www.weap21.org/>>.

² <<http://www.weap21.org/index.asp?doc=16>>.

6.5.4 REQUISITOS DE DATOS

Los modelos de planificación de recursos hídricos requieren datos sobre la demanda y el suministro de agua (véase la **Error! Reference source not found.**). La información sobre la demanda de agua normalmente tiene que proceder de fuentes locales, incluyendo las tasas domésticas de uso de agua per cápita, así como las tasas de consumo de agua a escala comercial e industrial. Las tasas de uso de agua comunes pueden obtenerse a través de las agencias de planificación hídrica nacionales o, en caso necesario, de la documentación. Las demandas de irrigación pueden determinarse mediante los conocimientos locales sobre cultivos y otras prácticas agrícolas, y los datos de clima de los departamentos de gestión de recursos y/o de la agricultura nacionales. Los datos sobre la demanda de agua para la refrigeración de las centrales de energía térmica y las demandas generales para navegación, ocio e hidroelectricidad suelen poder obtenerse de los usuarios. Los datos sobre la demanda del ecosistema están disponibles a través de las agencias de medioambiente.

Tabla 6-6: Fuentes de datos sobre recursos hídricos

| Fuente | Descripción | Vínculo |
|---|--|---|
| AQUASTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) | Ofrece información global sobre el estado de la gestión del agua para la agricultura en el mundo, haciendo hincapié en el desarrollo de los países en desarrollo y en transición | < http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexesp.stm > |
| World's Water (Instituto del Pacífico) | Ofrece información actualizada, datos y conexiones web sobre los recursos de agua dulce del mundo | < http://www.worldwater.org/data.html > |
| Estadísticas de ONU-Agua | Ofrece datos estadísticos sobre indicadores clave para el sector hídrico que pueden utilizarse a escala mundial, nacional y regional | < http://www.unwater.org/statistics.html > |
| Estudios y datos sobre el agua del Banco Mundial | Ofrece estadísticas y datos sobre el desarrollo del sector del agua en diversos países del mundo | < http://water.worldbank.org/water/data-and-research > |
| ONU-Estadísticas (Indicadores sobre el | Ofrece estadísticas actualizadas sobre el saneamiento y el suministro de agua a escala nacional | < http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/socind/water/san.htm > |

saneamiento y el suministro de agua)

| | | |
|---|--|---|
| ONU GEMS Agua | Ofrece datos e información sobre el estado y las tendencias sobre la calidad mundial de agua en el interior necesaria para una gestión sostenible del agua dulce en el mundo | < http://www.gemswater.org/ > |
| Portal de datos GEO del PNUMA | Ofrece acceso a los conjuntos de datos utilizados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y sus socios en sus evaluaciones medioambientales integradas | < http://geodata.grid.unep.ch/ > |
| Universidad de Nuevo Hampshire, EOS WEBSTER | Este sistema basado en la web para la investigación del ecosistema terrestre es una biblioteca digital de datos científicos sobre la Tierra. | < http://eos-webster.sr.unh.edu/home.jsp;jsessionid=A3250C421AD159A333D360E37079AFB2 > |
| GEWEX (Experimento del ciclo hídrico y energético mundial) | Un programa integrado de investigación, observaciones y actividades científicas para la predicción del cambio climático regional y mundial. | < http://www.gewex.org/ > |
| GCMD (Directorio maestro mundial sobre el cambio) | Ofrece descripciones de conjuntos de datos científicos sobre la Tierra y servicios pertinentes para la investigación mundial del cambio. | < http://gcmd.nasa.gov/ > |
| GHRC (Centro mundial de recursos sobre hidrología) | Ofrece información y datos científicos sobre la Tierra, tanto actuales como históricos, así como los resultados de instrumentos de base terrestre, aérea y satélite. | < http://ghrc.msfc.nasa.gov/ > |
| GRDC (Centro mundial de datos sobre escorrentía) | Recopila y divulga datos de descarga fluvial a escala mundial, regional o de una cuenca, bajo la égida de la OMM. | < http://www.bafg.de/GRDC/EN/Home/homepage_node.html > |

| | | |
|---|--|---|
| Centro Internacional de Evaluación de los Recursos de Aguas Subterráneas (IGRAC) | Divulga conocimientos e información sobre las aguas subterráneas mediante el desarrollo de un sistema mundial de información sobre aguas subterráneas. | <http://www.un-igrac.org/> |
|---|--|---|

| | | |
|--|---|--|
| Centro nacional de datos climáticos | El mayor archivo del mundo de datos climáticos. | <www.ncdc.noaa.gov/> |
|--|---|--|

| | | |
|--|--|---|
| Sistema Mundial de Observación del Ciclo Hidrológico (WHYCOS) - OMM | Tiene por objeto mejorar las actividades de observación básicas, reforzar la cooperación internacional y fomentar el libre intercambio de datos en el ámbito de la hidrología. | http://www.whycos.org/rubrique.php3?id_rubrique=2 |
|--|--|---|

Los datos sobre el suministro de agua pueden obtenerse como series temporales de los caudales fluviales o de la disponibilidad de aguas subterráneas (sin olvidar que, en muchos casos, los sistemas de aguas superficiales y los sistemas freáticos están interconectados) o se pueden generar a partir de modelos de cuencas o de hidrología física basados en el uso de la tierra, la topografía y la geología, así como en datos climáticos como la precipitación, la temperatura, la humedad y la velocidad del viento. El desarrollo de modelos suele requerir series temporales sobre la disponibilidad de aguas subterráneas y la escurrentía con unos escalones temporales mínimos de un mes. Una vez determinados los flujos naturales, deben realizarse ajustes en la disponibilidad basados en la infraestructura hidrológica, como los depósitos, pozos, redes de transmisión y plantas de tratamiento del agua.

6.6 ADAPTACIÓN

6.6.1 OPCIONES DE ADAPTACIÓN

"La gestión del agua es un componente esencial que deberá adaptarse para hacer frente a las presiones climáticas y socioeconómicas de los próximos decenios. Los usos del agua cambiarán por efecto conjunto de: alteraciones de la disponibilidad de agua, variación de la demanda de agua del sector agrícola y de otros sectores que competirán por ella, particularmente el urbano, y cambios en la gestión del agua". (Bates et al., 2008)

La adaptación al estrategias de adaptación incluye estrategias que tienen explícitamente en cuenta el cambio y la variabilidad climáticos y/o que mejoran la resistencia al cambio climático. Las adaptaciones pueden centrarse en la reducción



de la exposición y sensibilidad, en la mejora de la capacidad de adaptación o en ambas cosas (véase la Tabla 6-6). Algunos ejemplos de estrategias que mejoran la resistencia incluyen (Wilk y Wittgren 2009):

- Sistemas innovadores de recuperación de agua para complementar las prácticas de irrigación y el suministro de agua doméstica;
- La restauración de instalaciones de irrigación mal mantenidas u obsoletas para mejorar la eficiencia del uso de agua y la equidad de acceso;
- Mantenimiento y formación de humedales para conservar los nutrientes y proporcionar alimentos y forraje para las personas y el ganado.

Las opciones de adaptación que mejoran la resistencia de las personas y ecosistemas mejorando el acceso al agua y los servicios ecosistémicos incluyen aquellas que pueden reducir a la vez la vulnerabilidad ante factores de estrés, como la variabilidad del clima actual y el cambio climático futuro, la mundialización, la urbanización, la degradación del medioambiente, los brotes de enfermedades y las incertidumbres del mercado.

Tabla 6-6: Adaptaciones para reducir la exposición y sensibilidad (fuente: USAID, 2010)

| Opción | Descripción |
|---|---|
| Políticas para evitar la exposición | Distribución por zonas del uso de la tierra, restricciones de uso, políticas de reubicación |
| Mejores prácticas en sectores | Selección de variedades de árboles y cultivos resistentes al clima, recuperación de agua, utilización de llanuras inundables naturales para el almacenamiento de agua, eficiencia energética en los edificios, gestión del agua e iluminación |
| Defensa contra el cambio climático de las infraestructuras | Aumento de la resistencia a los impactos del cambio climático mediante el diseño de los edificios, la selección de los materiales de construcción, estructuras elevadas |
| Adaptaciones para aumentar la capacidad de adaptación | |
| Opción | Descripción |
| Fomento del desarrollo económico y mejora y diversificación de los medios de subsistencia | Unas rentas más altas y unos medios de subsistencia más diversificados ¹⁰⁷ permiten a las personas y hogares hacer frente al cambio climático y, en particular, a las inundaciones, sequías y fenómenos extremos |
| Refuerzo de las capacidades de gestión de riesgos de catástrofes | Ayuda a la sociedad civil y a las comunidades a responder a las sequías, las inundaciones y los fenómenos extremos con menos fallecimientos y lesiones, así como a recuperarse más rápidamente |
| Mejora de la gestión de servicios | Una mejor gestión de la demanda y suministro de agua podría reducir el impacto de las sequías y complementar la gestión de |

| públicos | riesgos de catástrofes |
|---|---|
| Aplicación de sistemas de alerta rápida | Sistemas de supervisión y apoyo a las decisiones relacionados con las inundaciones, sequías, brotes de enfermedades y/o enfermedades y plagas de los bosques/cultivos |
| Construcción de sistemas de apoyo múltiple | Incluye sistemas como los suministros de agua, los sistemas energéticos de emergencia, el transporte y las comunicaciones, además de los bancos de alimentos |
| Conservación de la salud de los ecosistemas | Los ecosistemas suministran diversos servicios, como la regulación del agua y el control de sedimentos, que pueden contribuir a reducir los impactos de las sequías, las inundaciones y los fenómenos extremos, además de conservar la biodiversidad y respaldar los medios de subsistencia basados en los recursos naturales |

Hay una gran variedad de opciones de adaptación disponibles para diversos contextos institucionales, socioeconómicos y biofísicos. A continuación se recogen algunos ejemplos sugeridos por Wilk y Wittgren (2009):

1. Adaptación mediante el aumento del suministro de agua y de los servicios ecosistémicos:
 - Ampliación de la recuperación de agua pluvial para mejorar la recarga de aguas subterráneas y el cultivo alimentado por lluvia;
 - Adopción de regímenes de transferencia de agua;
 - Restauración de servicios ecosistémicos y hábitats acuáticos;
 - Aumento de la capacidad de almacenamiento mediante la construcción de depósitos;
2. Adaptación mediante la disminución de la demanda de agua y la mejora de la eficiencia de uso:
 - Eliminación de la vegetación no autóctona invasiva de las zonas ribereñas;
 - Mejora de la eficiencia del uso del agua mediante el reciclaje del agua;
 - Expansión de los cultivos resistentes a la sequía;
 - Mejora de la gestión de la agricultura de regadío, por ejemplo mediante cambios en el calendario de cultivos, la mezcla de cultivos, el método de irrigación y la reparación y mantenimiento de la infraestructura de irrigación;
 - Uso extendido de incentivos económicos para fomentar la conservación del agua;
 - Mejora de la infraestructura de saneamiento y agua urbana;
3. Adaptación mediante la mejora de la protección contra inundaciones:
 - Construcción de infraestructuras de protección contra inundaciones;

- Ampliación de las zonas ribereñas;
- Incremento del almacenamiento corriente arriba;
- Restauración y mantenimiento de los humedales;
- Mejora de la predicción de inundaciones.

6.6.2 RESPUESTAS ADAPTATIVAS POR SISTEMAS Y SECTORES

Los gestores de agua llevan mucho tiempo teniendo que hacer frente a los retos planteados por la variabilidad climática e hidrológica, tanto de forma intraanual como interanual. Sus estrategias de adaptación incluyen la respuesta tanto a la variabilidad estacional como a los períodos húmedos y de sequía prolongados mediante sistemas integrados de irrigación y depósitos que permiten recoger agua durante la estación húmeda para su uso durante las estaciones secas y los períodos de sequía prolongados. El concepto de adaptación autónoma designa las respuestas que pondrán en marcha gestores de agua, agricultores y otros usuarios de agua individuales en función del cambio climático real o subjetivo en los próximos decenios, sin intervención o coordinación de las administraciones regionales o nacionales, o en virtud de acuerdos internacionales (Bates et al., 2008). Además, será necesaria la *adaptación planificada* (utilizando la definición del IPCC que incluye los cambios en las políticas, instituciones e infraestructuras exclusivas) para facilitar y maximizar los beneficios que las respuestas de adaptación al cambio climático reportarán a largo plazo.

En la mayor parte del mundo, especialmente en África, las mujeres y los niños son responsable de recoger agua para la cocina, la limpieza, la salud y la higiene. Las limitaciones cada vez mayores del suministro de agua, la mala calidad del servicio y la contaminación están poniendo en riesgo la supervivencia de las mujeres y de sus familias (IUCN, PNUD, GGCA, 2009). Tanto mujeres como hombres pueden ser impulsores del cambio y, en consecuencia, el punto de partida es un análisis de la relación diferenciada que las mujeres y los hombres tienen con recursos medioambientales como el agua.

Una comprensión clara de las relaciones entre géneros y del desarrollo sostenible requiere un análisis de las pautas de uso, así como conocimientos y aptitudes relacionadas con la gestión, uso y conservación de los recursos naturales. La aplicación de un enfoque de género garantizará una visión completa de las relaciones que han desarrollado las personas con los ecosistemas (IUCN, PNUD, GGCA, 2009).

El documento técnico del IPCC sobre el agua (Bates et al., 2008) recoge una descripción exhaustiva de las posibles respuestas de adaptación *autónomas* y *planificadas*, integradas en el contexto de la vulnerabilidad y del desarrollo sostenible de los recursos hídricos en sistemas y sectores. Los impactos siguientes se describen en dicho documento técnico con ejemplos, en particular:

- *Agricultura y seguridad alimentaria, uso de la tierra y silvicultura:* En Azerbaiyán se están realizando esfuerzos para mejorar el rendimiento de la agricultura de regadío para que utilice menos agua;
- *Salud humana:* El cambio climático probablemente influya en la salud debido a las variaciones de temperatura y a los fenómenos extremos, los cambios en la calidad del aire, alimentos y agua potable, así como las modificaciones en enfermedades sensibles al clima. El ascenso de las temperaturas puede influir de diversos modos en la salud, incluyendo el incremento de las olas de calor y extremos cálidos, incrementando la incidencia de golpes de calor y generando un riesgo especialmente elevado para las personas pobres, los ancianos y los jornaleros;
- *Abastecimiento de agua y saneamientos:* En Majuro, la capital de las Islas Marshall, las medidas de adaptación para los recursos de agua dulce incluyen: una gestión mejorada del suministro de agua público, incluyendo la supervisión de los flujos en la red de distribución, la detección de fugas, un mayor acceso de los hogares al agua y el saneamiento, una mayor cobertura y mantenimiento de los sistemas de almacenamiento y depósitos de aguas pluviales, la protección de los lentejones de agua dulce, incluyendo la aplicación y ejecución de normas y leyes de gestión de residuos y de contaminación, la gestión de la demanda, el desarrollo de políticas e incentivos para la conservación del agua, y la formación y equipamiento de inspectores para respaldar las medidas de emergencia y de conservación del agua;
- *Asentamientos e infraestructura:* Por ejemplo, en el delta del Mekong, se está estudiando la defensa contra el cambio climático de carreteras, puentes y comunicaciones, el desarrollo / mejora de las infraestructuras públicas de abastecimiento de agua, las nuevas construcciones y códigos de construcción (por ejemplo, ahora la ciudad de Can Tho requiere que todas las construcciones nuevas estén a 2,5 metros por encima del nivel del mar);
- *Economía:* seguros, turismo, industria, transporte: Los cambios en los regímenes hídricos perjudicarán a las zonas costeras y deltas. Por consiguiente, se buscan medidas multidisciplinarias.

En las secciones siguientes se describen cada sistema o sector, basándonos en el documento técnico del IPCC sobre el agua (Bates et al., 2008) y el AR4 del IPCC.

ADAPTACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA AGRICULTURA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA, USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA

El impulso de las adaptaciones *autónomas* en relación con los recursos hídricos y la agricultura, la seguridad alimentaria, el uso de la tierra y la silvicultura consiste, básicamente, en la mejora de las actividades de gestión de riesgo y de producción ya existentes y al alcance de agricultores y comunidades, o en la creación de nuevos servicios de apoyo. Por ejemplo, en lo referente al agua y la agricultura de cultivos, cabe señalar:

- Adopción de variedades/especies de mayor resistencia al choque térmico y a la sequía;
- Modificación de las técnicas de riego, y particularmente de su cantidad, distribución en el tiempo o tecnología;
- Adopción de tecnologías de eficiencia hídrica para "cosechar" agua, retener la humedad del suelo (por ejemplo, conservando los residuos de cultivos) y reducir el entarquinamiento y la intrusión de agua salada;
- La mejora de la gestión del agua para evitar la saturación hídrica, la erosión y la lixiviación;
- Modificación de los calendarios de cultivo, es decir, las fechas o la ubicación de las actividades de cultivo;
- Utilización de predicciones climáticas estacionales.

Las opciones de adaptación planificada incluye la adopción de medidas para:

- Mejora de la gobernanza, en particular haciendo que en los programas de desarrollo se tenga en cuenta el cambio climático;
- Aumento de las inversiones en infraestructuras de riego y en tecnologías que permitan aumentar el rendimiento del agua;
- Creación de infraestructuras de transporte y almacenamiento adecuadas;
- Revisión del régimen de propiedad agraria (procurando, en particular, definir claramente los derechos de propiedad);
- Establecimiento de mercados accesibles y eficientes para los productos y los insumos (en particular, mediante planes de fijación de precios del agua);
- Servicios financieros (en particular, los seguros).

El capítulo 7 ofrece más información sobre las soluciones de adaptación autónoma y planificada para la agricultura, la seguridad alimentaria y la silvicultura, mientras que el capítulo 5 incorpora información sobre la adaptación del uso de la tierra en las costas.

ADAPTACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA SALUD HUMANA

"Dado el considerable número de personas que podrían verse afectadas por la malnutrición y la escasez de agua, estas podrían ser las consecuencias sanitarias más importantes del cambio climático". (Bates et al., p. 67)

Las actividades de adaptación para mitigar los impactos provocados por el futuro cambio climático en el sector de los recursos hídricos incluyen las actividades de reducción de la vulnerabilidad para mejorar el acceso al agua potable y la mejora del saneamiento para reducir la malnutrición, la mortalidad infantil y las enfermedades asociadas a la escasez de agua o a su contaminación.

Además, tal como se indica en el capítulo 8, el uso de evaluaciones de impacto sobre la salud a menudo revelan oportunidades de incluir los efectos sanitarios de cualquier estrategia de adaptación en el sector del agua, como en el caso del saneamiento y del abastecimiento del agua, temas tratados a continuación.

ADAPTACIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA Y SANEAMIENTOS

La cuestión clave para los gobiernos y las instalaciones de agua ubicadas en regiones en riesgo por los considerables cambios en la disponibilidad futura de agua dulce es el desarrollo de planes de adaptación a largo plazo eficaces. Esto resulta especialmente importante si tenemos en cuenta que los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento son sistemas artificiales con una larga esperanza de vida que se han basado en el paradigma de planificación hídrica tradicional según el cual las condiciones climáticas históricas serán representativas de las condiciones futuras.

Las opciones de adaptación incluyen:

- La construcción de nuevos depósitos de almacenamiento;
- El uso de fuentes de agua alternativas, como aguas subterráneas o la desalinización;
- La reducción de la necesidad de nuevas fuentes de agua mediante la recogida de agua pluvial y una reutilización controlada, minimizando las pérdidas de agua (fugas) en las redes urbanas y en los sistemas de riego;
- El desarrollo de planes de seguridad del agua (PSA) para realizar una evaluación y gestión exhaustivas de los riesgos, desde la cuenca al consumidor, para solucionar el problema de la mala calidad del agua provocado por las variaciones de caudal;
- El diseño y operación de plantas de tratamiento de agua y de aguas residuales deberían revisarse periódicamente, en particular en zonas vulnerables, para garantizar o aumentar su fiabilidad y su capacidad de hacer frente a variaciones inciertas del flujo;
- El uso de sistemas descentralizados, la construcción de alcantarillado independiente, el tratamiento de los excesos de flujo de los alcantarillados combinados (es decir, la mezcla de aguas residuales y escorrentía en las ciudades) y la inyección de agua pluvial en el subsuelo.

Las opciones de adaptación anteriores también pueden complementarse mediante prácticas mejoradas de gestión integrada de los recursos hídricos que intenten integrar la adaptación al cambio climático en las políticas y prácticas, tal como se indica en el capítulo 9.

ADAPTACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LOS ASENTAMIENTOS E INFRAESTRUCTURAS

Cabe destacar que el documento técnico sobre el agua del IPCC hizo hincapié, con gran seguridad, en que una mejor incorporación de la variabilidad actual del clima en la gestión relativa al agua mejoraría las respuestas de adaptación. Un ejemplo son unas disposiciones de gestión mejoradas para tratar los impactos de las inundaciones y las sequías, o sobre la cantidad, calidad y distribución temporal de la disponibilidad del agua. No obstante, resulta claro que muchas de estas soluciones de adaptación probablemente serán costosas y, en consecuencia, deben estudiarse cuidadosamente los costes asociados. A este efecto, resulta útil tener en cuenta la adaptación de los recursos hídricos en los contextos siguientes:

- Asentamientos en lugares de alto riesgo, como las áreas costeras y ribereñas, debido a los daños ocasionados por crecidas y tempestades, y a la degradación de la calidad del agua por efecto de la intrusión salina;
- Asentamientos cuyas economías estén estrechamente vinculadas a actividades sensibles al clima y dependientes del agua, como la agricultura de regadío, el turismo acuático o el esquí sobre nieve;
- La infraestructura, incluyendo edificios, redes de transporte, instalaciones costeras, infraestructura de abastecimiento y tratamiento de agua, y redes de distribución energética, expuesta a daños directos por el cambio climático asociado al agua (por ejemplo, crecidas o inestabilidades estructurales asociadas a la sequedad del suelo), y a los impactos sobre la operatividad, el costo y la adecuación de unas instalaciones no diseñadas para el cambio climático.

6.6.3 INCORPORACIÓN

La incorporación se define como el proceso de incorporar los problemas climáticos y las respuestas de adaptación a las correspondientes políticas, planes, programas y proyectos a escala nacional, subnacional y local (USAID, 2009). Las medidas de adaptación no se suelen aplicar únicamente en respuesta al cambio climático, sino que frecuentemente logran otros beneficios de desarrollo. Cuando se elaboran las comunicaciones nacionales, es importante considerar cómo se van a incorporar los resultados en el país para que ocurra un cambio significativo.

En el sector del agua, un ejemplo de incorporación sería la integración de marcos y planes de GIRH en la planificación del desarrollo.

El marco de incorporación del PNUD perfila tres componentes para la incorporación efectiva del cambio climático:

- Encontrar los puntos de partida y exponer las razones;
- Incorporar la adaptación a los procesos de formulación de políticas;
- Afrontar el reto de la aplicación.



En el capítulo 9 de este recurso se proporciona más información acerca de la incorporación.

6.6.4 SUPERVISIÓN Y EVALUACIÓN

Una cuestión clave a la hora de aplicar opciones de adaptación es cómo controlar y evaluar la efectividad de la adaptación. Por suerte, una serie de organizaciones, incluido el PNUD y el Banco Mundial, trabajan para desarrollar enfoques prácticos de control y evaluación de la adaptación al cambio climático, aplicando "marcos basados en resultados" integrados en el contexto más amplio de la efectividad de la ayuda.

Algunos problemas a considerar en el diseño del control y la evaluación de la adaptación son (Kay et al., en preparación):

- Orientación a los resultados: ¿qué se quiere conseguir exactamente con la solución de adaptación?
- Contexto de decisión: ¿por qué se eligió esa solución de adaptación? ¿Quizá para centrarse en prioridades inmediatas de salud para reducir la vulnerabilidad o en efectos del cambio climático a más largo plazo? Y, ¿cuáles son los obstáculos, limitaciones y oportunidades que influirán en el éxito de su aplicación?
- Consideraciones espaciales: ¿a qué escala tendrá impacto la solución de adaptación?
- Consideraciones temporales: ¿cuándo se conocerá el impacto de una solución de adaptación?

Estas son consideraciones importantes que también pueden ayudar en la planificación general de soluciones de adaptación en relación con las zonas costeras, así como proporcionar un foco de atención para garantizar que las soluciones específicas elegidas durante el proceso de planificación son las más eficaces.

Hay cuatro pasos clave de control y evaluación para el propósito específico de la presentación de informes sobre la aplicación de las prioridades de adaptación identificadas en las comunicaciones nacionales:

- Establecer un marco de control y evaluación;
- Desarrollar un plan de evaluación;
- Llevar a cabo la evaluación;
- Comunicar los resultados.

En el capítulo 9 se proporcionan más directrices para el control y la evaluación de la adaptación.

6.7 BIBLIOGRAFÍA

- American Water Works Association. 2001. *Water Resources Planning: Manual of Water Supply Practices*. M50, ed. Denver, CO: American Water Works Association.
- Ames A. 1998. A documentation of glacier tongue variations and lake development in the Cordillera Blanca, Peru. *Zeitschrift fuer Gletscherkunde und Glazialgeologie*. 34(1): 1–36.
- Bates BC, Kundzewicz ZW, Wu S y Palutikof JP (eds). 2008. *El cambio climático y el agua*. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra: Secretaría del IPCC. 210 pp.
- Beven K. 2004. *Rainfall-Runoff Modelling – The Primer*. Chichester, Reino Unido: Wiley.
- Boorman D y Sefton C. 1997. Recognizing the uncertainty in the quantification of the effects of climate change on hydrological response. *Climatic Change*. 35(4): 415–434.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2007a. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribución del Grupo de trabajo I al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. S Solomon, D Qin, M Manning, Z Chen, M Marquis, KB Averyt, M Tignor y HL Miller (eds.). Cambridge y Nueva York: Cambridge University Press.
- IPCC. 2007b. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribución del Grupo de trabajo II al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden y CE Hanson (eds.). Cambridge y Nueva York: Cambridge University Press.
- IUCN/PNUD/GGCA .2009. *Training Manual on Gender Climate Change* Disponible en <<http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/2009-012.pdf>>.
- Kaser G y Osmaston H. 2002. *Tropical Glaciers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kay RC, Haines A, Rosenzweig C, Steffen W y Thom B. En preparación. Perspectives on Adaptation Effectiveness. *En*: J Palutokof, M Parry y S Boulter (eds.). *Climate Adaptation Futures*.
- Kundzewicz ZW, Mata LJ, Arnell NW, Döll P, Kabat P, Jiménez B, Miller KA, Oki T, Sen Z y Shiklomanov IA. 2007. Freshwater resources and their management.

Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribución del Grupo de trabajo II al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden y CE Hanson (eds.). Cambridge: Cambridge University Press. pp. 173–210.

Nicholls RJ, Wong PP, Burkett VR, Codignotto JO, Hay JE, McLean RF, Ragoonaden S y Woodroffe CD. 2007. Coastal systems and low-lying areas. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribución del Grupo de trabajo II al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden y CE Hanson (eds.). Cambridge: Cambridge University Press. pp. 315–356.

Naciones Unidas 2003. *World Water Development Report: Water for Life, Water for People.* París: UNESCO y Barcelona: Berghahn Books. Pp. 544.

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2012. *Planificación de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos para pequeños Estados insulares en desarrollo.* PNUMA. Pp. 130 + xii. Disponible en < <http://www.unep.org/pdf/sids.pdf>>.

USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional). 2009. *Adapting to Coastal Climate Change: A Guidebook for Development Planners.* Disponible en <<http://www.crc.uri.edu/download/CoastalAdaptationGuide.pdf>>.

Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. .2010. *Asia-Pacific Regional Climate Change Adaptation Assessment.* Disponible en <http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNADS197.pdf>.

Wilk J y Wittgren HB (eds.). 2009. *Adapting Water Management to Climate Change.* Informe político de la casa del agua sueca, número 7. SIWI.

Yates D, Sieber J, Purkey D, Huber-Lee A. 2005a. WEAP21: a demand, priority, and preference driven water planning model: part 1, model characteristics. *Water International.* 30(4): pp. 501–512.

Yates, D., Purkey, D., Sieber, J., Huber-Lee, A., y Galbraith, H. 2005b. "WEAP21: A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model: Part 2: Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation", *Water International.* 30(4), pp. 501-512.