

Estudios de caso

# Cambio climático

y Patrimonio Mundial



Organización  
de las Naciones Unidas  
para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura



Convención del  
Patrimonio Mundial

---

**Publicado en 2009 por el Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO.**

© UNESCO, 2009  
Todos los derechos reservados.

ISBN: 978-92-3-304125-7

**Título original:** *Case Studies on Climate Change and World Heritage (UNESCO, 2007)*  
Traducción al español: Ignacio Pisso

---

**Disclaimer:**

Las ideas y las opiniones expresadas en esta obra son las de los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista de la UNESCO.

Los términos empleados en esta publicación y la presentación de los datos que en ella aparecen no implican, de la parte de la UNESCO, toma alguna de posición en cuanto al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o regiones, ni respecto de sus autoridades, sus fronteras o límites.

**Centro del Patrimonio Mundial  
UNESCO**

7, place de Fontenoy  
75352 Paris 07 SP France  
Tel: 33 (0) 1 45 68 15 71  
Fax: 33 (0) 1 45 68 55 70  
E-mail: wh-info@unesco.org  
<http://whc.unesco.org>

---

**Fotografía de cubierta:**

*Los glaciares del Himalaya en Bhután se están retirando y dejando lagos glaciares en su lugar. Imagen satelital tomada con el instrumento ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer).*

©NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, J. Kargel y equipo científico. ASTER Estados-Unidos/Japón.  
<http://visibleearth.nasa.gov/>

Diseño gráfico: RectoVerso  
Impresión: Espacegraphic (España)

**La publicación original ha sido realizada gracias a las contribuciones financieras de la Fundación de Naciones Unidas y del Departamento de Cultura, Medios de Comunicación y Deporte del Reino Unido.**

**Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo financiero de los Fondos Fiduciarios españoles y flamencos.**



CON EL APOYO DEL GOBIERNO  
FLAMENCO



Estudios de caso

# Cambio climático

**y Patrimonio Mundial**



# Contribuciones

---

**Autor principal:**

**Augustin Colette**, *Consultor en Cambio Climático, Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO*

---

**Supervisión y coordinación:**

**Kishore Rao**, *Director Adjunto, Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO*

---

**Se agradece especialmente la participación de:**

**Bastian Bomhard**, *Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)*

*Zonas protegidas de la región floral de El Cabo (Sudáfrica)*

**Alton C. Byers**, *The Mountain Institute (Estados Unidos de América)*

*Parque Nacional de Huascarán (Perú)*

**May Cassar**, *Centre for Sustainable Heritage, University College London (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)*

*Palacio y abadía de Westminster e iglesia de Santa Margarita (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)*

*Torre de Londres (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)*

*Greenwich marítimo (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)*

**Carolina Castellanos** (México)

*Zona arqueológica de Chan Chan (Perú)*

*Sitio arqueológico de Chavín (Perú)*

**Pablo Dourojeani**, *The Mountain Institute (Perú)*

*Parque Nacional de Huascarán (Perú)*

**Marie-José Elloumi**, *Agence Nationale de Protection de l'Environnement (Túnez)*

*Parque Nacional de Ichkeul (Túnez)*

**Junhi Han**, *Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO*

*Montañas Doradas del Altai (Federación de Rusia)*

**Ove Hoegh-Guldberg**, *Centre for Marine Studies, University of Queensland (Australia)*

*La Gran Barrera (Australia)*

**Mohamad Khawlie**, *Centro Nacional de Sensores Remotos, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas (Líbano)*

*Ouadi Qadisha (Valle Santo) y Bosque de los cedros de Dios (Horsh Arz Al Rab), (Líbano)*

**Elizabeth Mcleod**, *The Nature Conservancy, Región Asia-Pacífico (Estados Unidos de América)*

*Parque Nacional de Komodo (Indonesia)*

**John Merson**, *Blue Mountains World Heritage Institute (Australia)*

*Región de las Montañas Azules (Australia)*

**Guy F. Midgley**, *South African National Biodiversity Institute (Sudáfrica)*

*Zonas protegidas de la región floral de El Cabo (Sudáfrica)*

**Peter J. Mous**, *The Nature Conservancy, Coral Triangle Center (Indonesia)*

*Parque Nacional de Komodo (Indonesia)*

**Douglas Olynyk**, *Gobierno de Yukón (Canadá)*

*Ivvavik, Vuntut, Isla Herschel (Qikiqtaruk) (Canadá)*

**Ali Ould Sidi**, *Mission culturelle de Tombouctou (Mali)*

*Tombuctú (Mali)*

**Rod Salm**, *The Nature Conservancy, Región Asia-Pacífico (Estados Unidos de América)*

*Parque Nacional de Komodo (Indonesia)*

**Lhakpa Norbu Sherpa**, *The Mountain Institute (Nepal)*

*Parque Nacional de Sagarmatha (Nepal)*

**Christopher Young**, *English Heritage (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)*

*Palacio y abadía de Westminster e iglesia de Santa Margarita (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)*

*Torre de Londres (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)*

*Greenwich marítimo (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte)*

## Prólogo

*Hoy en día, la comunidad científica internacional concuerda ampliamente en que el cambio climático será uno de los grandes desafíos del siglo XXI. En los últimos años se han vuelto cada vez más evidentes tanto el alcance mundial de sus consecuencias adversas como el hecho de que los más afectados serán los más pobres y desfavorecidos del planeta, justamente aquellos menos preparados para lidiar con sus efectos devastadores.*

*La amplitud de esta inminente amenaza global justifica la acción por parte de la UNESCO en su calidad de organismo de las Naciones Unidas especializado en educación, ciencia, cultura y comunicación. De hecho, a través de más de treinta programas dedicados al desarrollo sostenible, a las ciencias del clima, a la adaptación, al seguimiento y al mejoramiento, la UNESCO coordina un amplio espectro de iniciativas vinculadas con el cambio climático a nivel mundial. Ello incluye proyectos relacionados con la decoloración del coral, la acidificación de los océanos, el ciclo hidrológico, las reservas montañosas de biosfera, las tierras áridas y la desertificación, para mencionar sólo unos pocos. Fiel a su misión de servir como laboratorio de ideas y centro de intercambio de información y conocimiento, la UNESCO ha organizado foros internacionales y elaborado informes y libros sobre el tema, comprendida la publicación titulada “El Cambio Climático” en 2005, dirigida al público no especializado.*

*El impacto potencial del cambio climático en el patrimonio cultural y natural de la humanidad es otro tema que concita creciente preocupación. En 1972, los Estados Miembros de la UNESCO adoptaron la Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural con el objetivo de crear un marco apropiado para la preservación de nuestro patrimonio común, en beneficio tanto de las generaciones actuales como de las futuras. En aquél momento, la comunidad internacional no era completamente consciente de la amenaza velada que representa el cambio climático para los sitios del Patrimonio Mundial. Sin embargo, en las dos últimas décadas, los principales expertos han comenzado a advertirnos de que el frágil equilibrio ecológico de nuestro planeta podría verse dramática e irremediablemente alterado como consecuencia de ciertas actividades humanas no controladas. La aprobación de la Convención para la Salvaguardia del Patrimonio Cultural Inmaterial en 2003 puso de manifiesto no sólo la creciente conciencia de la interdependencia del patrimonio material y el patrimonio inmaterial y la importancia en términos generales, de salvaguardar la diversidad cultural, sino también que era preciso adoptar un punto de vista integrado con respecto a los problemas asociados a la preservación del medio ambiente y al desarrollo sostenible.*

*El Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO, guiado por el Comité del Patrimonio Mundial y en cooperación con varias entidades asociadas y con sus principales órganos consultivos (el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios, ICOMOS, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, UICN, el Centro Internacional de Estudios de Conservación y Restauración de los Bienes Culturales, ICCROM) ha puesto en marcha una serie de iniciativas dignas de atención, que fueron la base de la elaboración de una estrategia global de gestión del patrimonio frente al cambio climático. Además, un documento acerca de la política global concerniente a los impactos del cambio climático en los bienes del Patrimonio Mundial fue adoptado por la Asamblea General de Estados Partes en su 16ª sesión (UNESCO, 2007).*

*Esta publicación, en la que se presentan varios estudios monográficos que ilustran el impacto del cambio climático en el Patrimonio Mundial, constituye un paso más en los esfuerzos de la UNESCO en este campo. Dada la gran relevancia de los lugares pertenecientes al Patrimonio Mundial, esta red que hoy comprende 878 bienes del patrimonio natural y cultural se presta particularmente para obtener apoyo de la opinión pública y del ámbito político gracias a una mejor distribución de la información y a una eficaz comunicación sobre estos temas.*

*La UNESCO está comprometida en trabajar junto a todos los actores pertinentes, comprendidas la sociedad civil y la comunidad científica, para enfrentar los múltiples desafíos impuestos por el cambio climático al frágil e irremplazable patrimonio mundial cultural y natural. Confío en que esta publicación contribuya a despertar la conciencia internacional y a promover respuestas adecuadas de parte de los responsables de la toma de decisiones de todo el planeta.*



**Koichiro Matsuura**

Director General de la UNESCO

## Prefacio

*El comité del Patrimonio Mundial en su 29ª sesión en 2005 reconoció que los impactos del cambio climático están afectando a muchos bienes del Patrimonio Mundial, tanto naturales como culturales, y que probablemente afecten a muchos más en los próximos años.*

*El carácter excepcional y frágil de los sitios del Patrimonio Mundial justifica la puesta en práctica de métodos de gestión específicos para proteger estos bienes preciosos. La Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural fue adoptada por la UNESCO en 1972, buscando proteger a los sitios del Patrimonio Mundial de toda clase de peligros, pero el siglo XXI ha visto la emergencia de una nueva clase de peligros, asociada al cambio climático. En los sitios afectados por el cambio climático, los métodos de gestión tendrán que tener en cuenta en el futuro esta presión adicional.*

*El año 2006 estuvo marcado por el inicio de un nuevo capítulo en el compromiso del Centro del Patrimonio Mundial con los problemas relativos al cambio climático. A instancias del Comité del Patrimonio Mundial, un encuentro de expertos tuvo lugar en la sede de la UNESCO en marzo de 2006 para analizar la naturaleza y la escala de los riesgos ligados específicamente al cambio climático a los cuales los bienes del Patrimonio Mundial están sometidos. Este encuentro reunió alrededor de 50 especialistas del cambio climático y del Patrimonio Mundial, incluyendo representantes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCCNU), del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), de la convención de Ramsar relativa a los Humedales, del Instituto de Recursos Mundiales (WRI), y de los órganos consultivos de la Convención del Patrimonio Mundial que son el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Centro Internacional de Estudios de Conservación y Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM), así como también académicos, científicos y organizaciones no gubernamentales.*

*Luego de esta reunión, un "Reporte sobre la predicción y gestión de los efectos del cambio climático en el Patrimonio Mundial" y una "Estrategia de ayuda a los Estados Partes para implementar soluciones de gestión apropiadas" fueron presentadas al Comité del Patrimonio en su 30ª sesión en Vilnius, Lituania, en julio de 2006.*

*El carácter simbólico de los sitios del Patrimonio Mundial es un importante valor que puede ayudar a despertar la conciencia y el entusiasmo del público, y por lo tanto a obtener su apoyo para tomar precauciones y medidas preventivas de adaptación al cambio climático. La conservación de los sitios del Patrimonio Mundial es observada y evaluada con atención, y cualquier impacto adverso es sistemáticamente comunicado al Comité del Patrimonio Mundial, que recomienda las medidas correctivas apropiadas. Los sitios del Patrimonio Mundial son, por ende, lugares fundamentales para reunir y difundir información relativa a los impactos del cambio climático en nuestro patrimonio cultural y natural. Espero que esta selección de estudios monográficos contribuya significativamente a esta iniciativa.*



**Francesco Bandarin**

*Director del Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO*



# Índice

**1** Glaciares  
del Patrimonio Mundial

**2** Biodiversidad Marina  
y Patrimonio Mundial

**3** Biodiversidad Terrestre  
y Patrimonio Mundial

**4** Sitios Arqueológicos  
del Patrimonio Mundial

**5** Ciudades y monumentos  
del Patrimonio Mundial

Prólogo	4
Prefacio	6
Sitios del Patrimonio Mundial presentados como estudios de caso	10
Introducción	12

Parque Nacional de Sagarmatha (Nepal)	18
Parque Nacional de Huascarán (Perú)	23
Fiordo helado de Ilulissat (Dinamarca)	24
Parque Nacional del Kilimanjaro (República Unida de Tanzania)	25
Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn (Suiza)	26



17

La Gran Barrera (Australia)	30
Sundarbans (India, Bangladesh)	36
Parque Nacional de Komodo (Indonesia)	38



28

Zonas protegidas de la región floral de El Cabo (Sudáfrica)	42
Región de las Montañas Azules (Australia)	46
Parque Nacional de Ichkeul (Túnez)	48
Tropicos húmedos de Queensland (Australia)	50
Zona de conservación Guanacaste (Costa Rica)	51



40

Zona arqueológica de Chan Chan (Perú)	54
Ivvavik, Vuntut, Herschel Island (Canadá)	58
Sitio arqueológico de Chavín (Perú)	60
Montañas Doradas del Altai (Federación de Rusia)	62



52

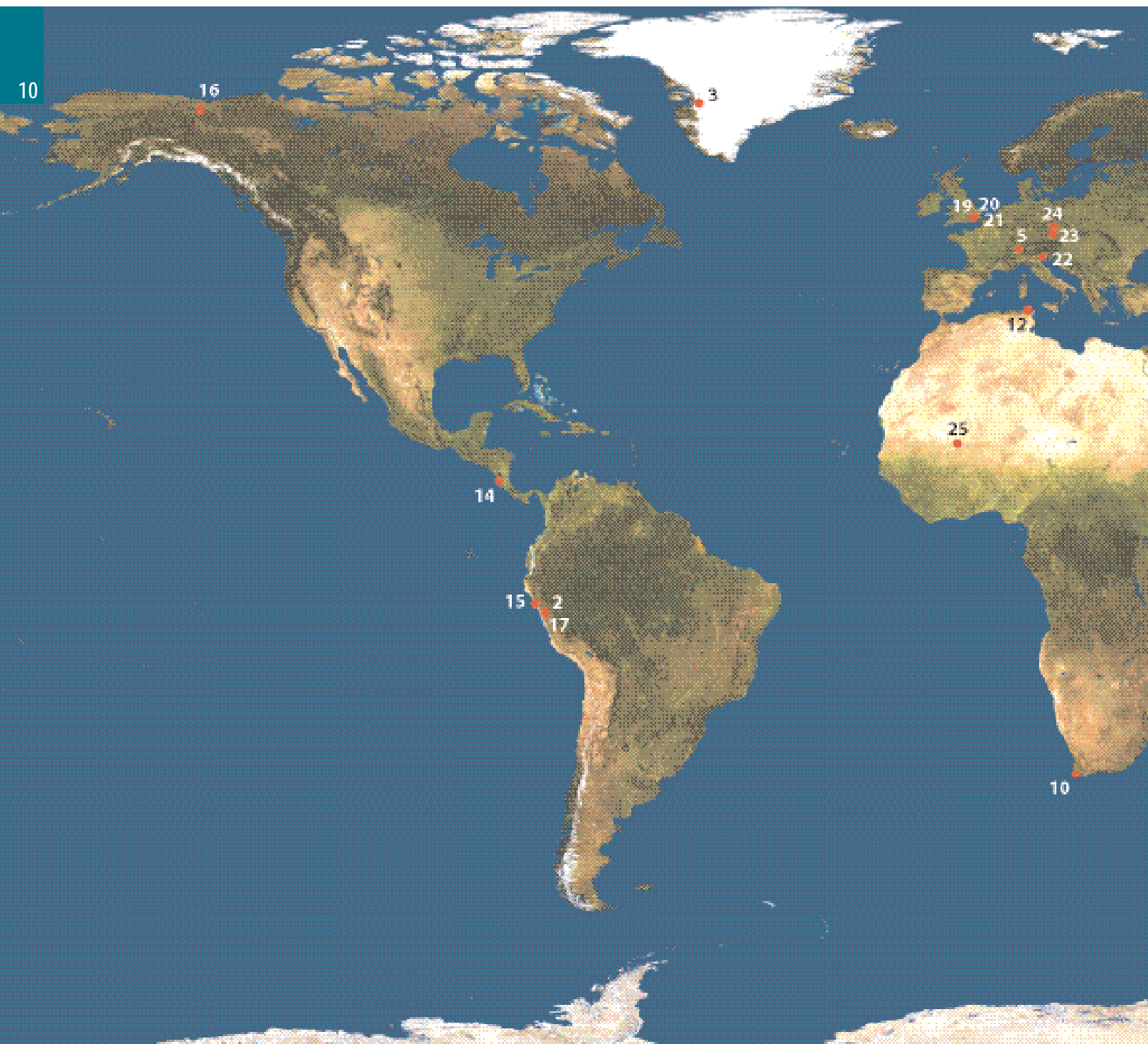
Sitios del Patrimonio Mundial de la Ciudad de Londres (Reino Unido)	66
Venecia y su laguna (Italia)	70
Centros históricos de Český Krumlov y Praga (República Checa)	72
Tombuctú (Mali)	74
Ouadí Qadisha (Valle Santo) y Bosque de los cedros de Dios (Horsh Arz el-Rab) (Libano)	76



64

Fotografías	78
-------------	----

# Sitios del Patrimonio Mundial presentados



## como estudios de caso

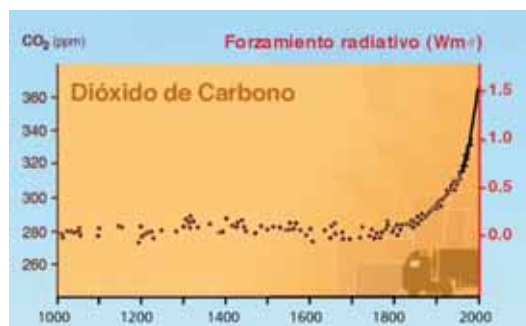


1. Parque Nacional de Sagarmatha (Nepal)
2. Parque Nacional de Huascarán (Perú)
3. Fiordo helado de Ilulissat (Dinamarca)
4. Parque Nacional del Kilimanjaro (República Unida de Tanzania)
5. Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn (Suiza)
6. La Gran Barrera (Australia)
7. Parque Nacional de Sundarbans (India)
8. Sundarbans (Bangladesh)
9. Parque Nacional de Komodo (Indonesia)
10. Zonas protegidas de la región floral de El Cabo (Sudáfrica)
11. Región de las Montañas Azules (Australia)
12. Parque Nacional de Ichkeul (Túnez)
13. Trópicos húmedos de Queensland (Australia)
14. Zona de conservación Guanacaste (Costa Rica)
15. Zona arqueológica de Chan Chan (Perú)
16. Ivvavik, Vuntut, Herschel Island (Canadá)
17. Sitio arqueológico de Chavín (Perú)
18. Montañas Doradas del Altai (Federación de Rusia)
19. Palacio y abadía de Westminster e iglesia de Santa Margarita (Reino Unido)
20. Torre de Londres (Reino Unido)
21. Escuela Naval, Greenwich (Reino Unido)
22. Venecia y su laguna (Italia)
23. Centro histórico de Český Krumlov (República Checa)
24. Centro histórico de Praga (República Checa)
25. Tombuctú (Malí)
26. Ouadi Qadisha (*Valle Santo*) y Bosque de los cedros de Dios (*Horsh Arz Al Rab*) (Líbano)

## Introducción

El clima de nuestro planeta está cambiando. En el pasado el clima siempre ha sido variable, pero hoy en día se percibe una preocupación creciente acerca de los problemas del cambio climático, tal vez porque la magnitud de los cambios parece no tener precedentes, pero principalmente porque existen claras evidencias que sugieren que la humanidad podría ser directamente responsable.

Cualquier modificación en el clima conduciría a la desestabilización de las condiciones ambientales y sociales alrededor del planeta. Estas perturbaciones podrían poner en peligro la conservación de ecosistemas naturales y la sustentabilidad de sistemas socioeconómicos. En consecuencia, el cambio climático afectará de manera adversa, y de hecho ya está afectando, la conservación de los bienes del Patrimonio Mundial, tanto natural como cultural. El patrimonio es una irremplazable fuente de vida y de inspiración, es el legado del pasado, con el cual vivimos, y que transmitiremos a las generaciones futuras.



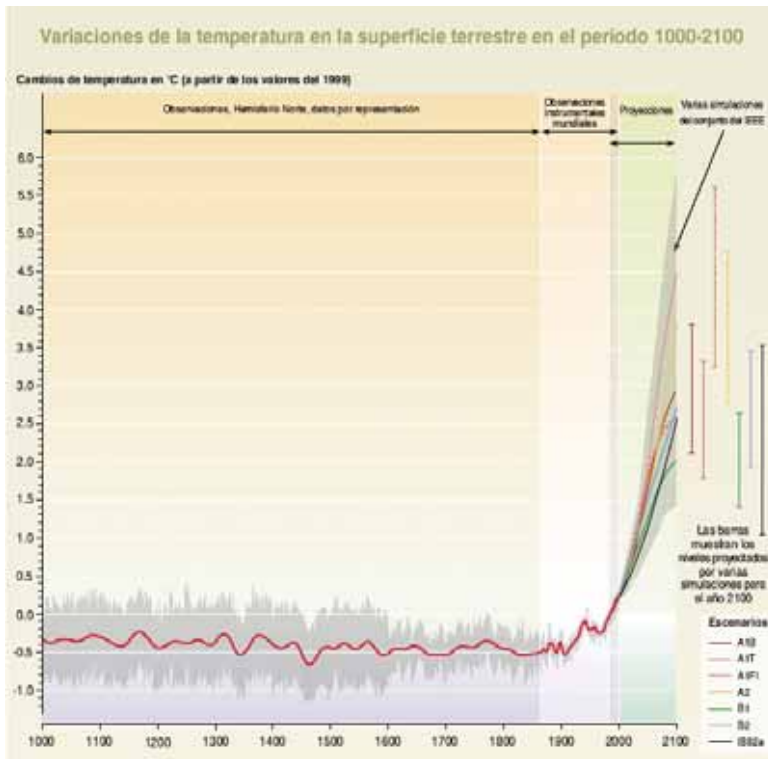
**Registros de los cambios en la composición de la atmósfera a lo largo del último milenio muestran un rápido incremento de los gases de efecto invernadero, que puede ser atribuido fundamentalmente al desarrollo industrial a partir de 1750.**

**Los datos obtenidos de burbujas de aire atrapadas en el hielo (símbolos) se corresponden con las observaciones directas de la atmósfera tomadas durante las últimas décadas (línea continua). El forzaje radiativo estimado, inducido por estos gases aparece en la escala de la derecha. (IPCC, 2001).**

Nuestro planeta mantiene su temperatura actual gracias al así llamado efecto invernadero. Este efecto consiste en retener la energía radiada por la tierra a la atmósfera en lugar de dejarla escapar hacia el espacio. Los gases de efecto invernadero asociados con este mecanismo regulador se hallan en la atmósfera usualmente en concentraciones muy bajas. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) nunca supera concentraciones de algunos centenares de partes por millón (ppm) en “partes de aire”. Sin embargo estos gases representan un papel fundamental en el equilibrio del planeta. Antes de la revolución industrial, la concentración de CO<sub>2</sub> fue de 280 ± 10 ppm durante varios milenios. Pero la concentración actual de CO<sub>2</sub> en la atmósfera supera los 360 ppm y tales niveles no habían sido alcanzados en los últimos 420.000 años<sup>1,2</sup>.

La evolución de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera tendrá indudablemente un impacto en el sistema climático, pero los procesos implicados son múltiples, complejos e

1. Cambio climático 2001: la base científica. Contribución del Grupo de trabajo I al Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. [http://www.ipcc.ch/languages/spanish.htm#2 informe completo \(en inglés\)](http://www.ipcc.ch/languages/spanish.htm#2 informe completo (en inglés)) [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/). [En adelante referido como IPCC 2001, GT1]. Sección 3.
2. Esta estimación ha sido actualizada por el IPCC (Resumen para responsables de políticas del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo I del IPCC, 2007, <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.htm>). La concentración de dióxido de carbono atmosférico alcanzó 379 ppm en 2005, superando ampliamente los valores habituales durante los últimos 650.000 años (de 180 a 300 ppm).



**Evolución de la temperatura en la superficie de la Tierra entre el año 1000 y el año 2100.** Entre los años 1000 y 1860, las variaciones de la temperatura en el hemisferio norte fueron obtenidas a partir de paleotermómetros (anillos de árboles, corales, testigos de hielo, registros históricos etc.). La línea muestra los promedios móviles centrados de 50 años y la región en gris los intervalos de confianza del 95% de los datos anuales. Desde 1860 hasta 2000, los promedios globales anuales de temperatura de superficie provienen de registros instrumentales. Para el período 2000 a 2100, se muestran proyecciones para diferentes escenarios de emisiones referidos en el Informe Especial del IPCC:\* Escenarios de Emisiones (IEEE, Nakicenovic et al., 2000)\* estimados a partir de modelos con sensibilidad climática promedio. La región en gris (modelos del IEE) muestra el espectro de resultados de todos los escenarios y modelos (IPCC, 2001).

\* N. Nakicenovic et al., 2000, IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y NY, Estados Unidos, 599 págs.

interactúan unos con otros. Significativos trabajos de investigación están siendo llevados a cabo mundialmente para entender mejor nuestro impacto en el clima cambiante del planeta Tierra. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue establecido bajo los auspicios de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para evaluar, organizar y sintetizar la información científica, técnica, y socioeconómica relevante para nuestra comprensión del cambio climático y de sus impactos potenciales. También para proponer posibles medidas de adaptación y de mitigación. Los informes de evaluación periódicos del IPCC constituyen la mejor síntesis del estado de nuestro conocimiento sobre el cambio climático.

De acuerdo con el IPCC, el aumento del promedio global de temperatura alcanzó  $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$  a lo largo del siglo XX<sup>3</sup>. Ha habido una reducción generalizada de los glaciares de montaña fuera de las regiones polares. Durante la primavera y el verano en el hemisferio norte la extensión de la banquisa (hielo marino) se ha reducido entre 10% y 15% desde los años 50. El contenido de calor en el océano global ha aumentado desde fines de los años 50 y el promedio global del nivel del mar se ha incrementado al menos en 0,1 m durante el siglo XX.

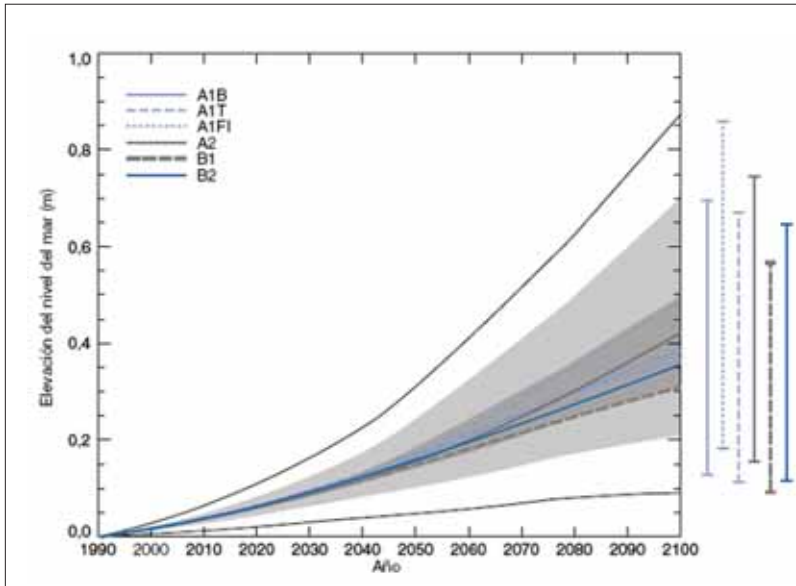
El IPCC también desarrolla posibles escenarios de emisiones antropogénicas de modo de predecir futuras tendencias climáticas. Dependiendo de estos escenarios, los modelos climáticos predicen que para 2100 las concentraciones de  $\text{CO}_2$  atmosférico alcanzarán entre 540 y 970 ppm. Se espera que el promedio global de temperatura en la superficie aumente entre  $1,4^\circ\text{C}$  y  $5,8^\circ\text{C}$  durante el período 1990 - 2100<sup>4</sup>. El promedio global del nivel del mar

3. En 2007, el Grupo de Trabajo I del IPCC hizo pública una tendencia lineal actualizada de temperatura (1996-2005) de  $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$  que es mayor que la estimación previa para 1901-2000. La tendencia lineal de calentamiento a lo largo de los últimos 50 años ( $0,13 \pm 0,03^\circ\text{C}$  por década) es casi el doble que la de los últimos 100 años.

4. Los valores de las proyecciones publicadas en 2007 ( $1,8 - 4^\circ\text{C}$ ) son en principio coherentes aunque no directamente comparables (ya que los modelos numéricos han progresado sustancialmente) con los de las proyecciones de 2001.

5. En la publicación de 2007 se estima que dependiendo de los escenarios de emisiones, el nivel del mar podría alcanzar de  $0,18-0,38$  hasta  $0,26-0,59$  metros en promedio para 2090-2099 respecto de 1980-1999. Las proyecciones anteriores fueron hechas para 2100, y las incertezas no fueron tomadas en consideración de la misma manera, pero para cada escenario, el punto medio del intervalo actualizado está dentro del 10% del promedio del valor modelado para 2090-2099 establecido en 2001.





**Aumento promedio global previsto del aumento del nivel del mar entre 1990 y 2100 para los seis escenarios de emisiones futuras del IEEA. (IPCC, 2001).**

aumentaría entre 0,09 m y 0,88 m entre 1990 y 2100<sup>5</sup>. El contenido total de vapor de agua y las precipitaciones aumentarían durante el siglo XXI, y son altamente probables mayores variaciones interanuales en las precipitaciones en la mayoría de las áreas en que se prevé un aumento en el promedio. También se esperan cambios en los eventos meteorológicos extremos y/o peligrosos como olas de calor, sequías, lluvias intensas y huracanes tropicales.

Tales cambios posiblemente tengan un impacto adverso en la conservación de los bienes inscritos en la Lista del Patrimonio Mundial. Estos bienes están protegidos por la *Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural*<sup>6</sup> que fue adoptada por la UNESCO en 1972 para estimular la identificación, protección, y preservación del patrimonio cultural y natural considerado de valor extraordinario para la humanidad. Lo que hace excepcional al concepto de Patrimonio Mundial es su aplicación universal. Respetando plenamente la soberanía nacional, y sin perjuicio para los derechos de propiedad consagrados en las legislaciones nacionales, los sitios del Patrimonio Mundial pertenecen a todos los pueblos del mundo, cualquiera sea el territorio en que se hallan situados.

La *Convención del Patrimonio Mundial* ha sido hasta el momento ratificada por 186 Estados Partes, y la Lista del Patrimonio Mundial incluye 878 sitios en 145 países. Cualquier sitio para ser inscrito debe satisfacer uno o más de los diez criterios descritos en las *Directrices Prácticas para la aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial*<sup>7</sup> y sus condiciones de integridad relacionadas. Entre los sitios inscritos en la Lista del Patrimonio Mundial, 679 están relacionados con valores culturales excepcionales, 174 sitios tienen valores naturales remarcables y 25 exhiben una combinación de valores culturales y naturales.

Estos bienes del Patrimonio Mundial, tanto natural como cultural, pueden ser expuestos a los efectos perjudiciales del cambio de las condiciones climáticas de la siguiente manera:

- El cambio climático obligará a algunas especies de plantas y animales a migrar si éstas son incapaces de adaptarse a su medio ambiente cambiante, lo que crea un problema para la conservación de los polos de biodiversidad listados como sitios del Patrimonio Mundial natural.
- Algunos de los bienes listados como patrimonio cultural han sido construidos en áreas costeras bajas, y el aumento del nivel del mar y la erosión costera podrían amenazar su conservación.
- Los glaciares se están derritiendo en todo el mundo y la apariencia de algunos sitios montañosos, inscritos por su excepcional belleza paisajística podría cambiar radicalmente.

5. En la publicación de 2007 se estima que dependiendo de los escenarios de emisiones, el nivel del mar podría alcanzar de 0,18-0,38 hasta 0,26-0,59 metros en promedio para 2090-2099 respecto de 1980-1999. Las proyecciones anteriores fueron hechas para 2100, y las incertezas no fueron tomadas en consideración de la misma manera, pero para cada escenario, el punto medio del intervalo actualizado está dentro del 10% del promedio del valor modelado para 2090-2099 establecido en 2001.

6. UNESCO, 1972, Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, <http://whc.unesco.org/archive/convention-es.pdf>

7. UNESCO, 2005, Directrices Prácticas para la aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial, <http://whc.unesco.org/archive/opguide05-es.pdf>

- Los vestigios arqueológicos yacientes en el suelo podrían perderse si la se viera afectada la integridad estratigráfica de los suelos como consecuencia de aumentos de las inundaciones, cambios en las precipitaciones o derretimiento del permafrost.
- Los cambios en la temperatura del mar y los mayores niveles de dióxido de carbono disuelto en el océano dificultan la conservación de los arrecifes de coral, favoreciendo su blanqueamiento y llegando incluso a mortalidades masivas.

El Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO (WHC) comenzó una evaluación de los impactos del cambio climático en el Patrimonio Mundial en 2005, después de que el Comité del Patrimonio Mundial notara que “los impactos del cambio climático están afectando muchos y es probable que afecten muchos más bienes del Patrimonio Mundial, tanto naturales como culturales, en los próximos años”<sup>8</sup>. En marzo de 2006 se organizó un encuentro de expertos que reunió a más de 50 representantes de los Estados Partes de la *Convención del Patrimonio Mundial*, a varias organizaciones internacionales, a organizaciones no gubernamentales, a los órganos consultivos del Comité del Patrimonio Mundial y a académicos y expertos científicos para discutir los impactos actuales y futuros del cambio climático en los sitios del Patrimonio Mundial. Los resultados de esta iniciativa incluyen un “Reporte sobre la predicción y gestión de los efectos del cambio climático en el Patrimonio Mundial” y una “Estrategia de ayuda a los Estados Partes para implementar soluciones de gestión apropiadas” que recibieron la ratificación del Comité del Patrimonio Mundial en su 30ª sesión en julio de 2006, en Vilnius, Lituania<sup>9</sup>.

Este trabajo a llevado a la conclusión de que ha llegado el momento de desarrollar e implementar medidas de gestión apropiadas para proteger al Patrimonio Mundial frente al cambio climático. Las soluciones para el problema del calentamiento global son objeto de continuos debates. Algunas de estas medidas, que exceden a la *Convención del Patrimonio Mundial*, son discutidas bajo los auspicios de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCCNU). Pero aunque el cambio climático es un desafío global, existen muchas medidas de adaptación y prevención que pueden ser tomadas a escala local, esto es, al nivel de los sitios del Patrimonio Mundial.

En varios sitios del Patrimonio Mundial están siendo llevados a cabo estudios para observar los impactos del cambio climático y planear medidas de adaptación adecuadas. Pero la red del Patrimonio Mundial es también una herramienta apropiada tanto para compartir lo aprendido y promover las mejores prácticas como para despertar la conciencia del público respecto de los impactos del cambio climático, utilizando su alto valor simbólico.

Esta publicación presenta varios estudios monográficos de una selección de sitios del Patrimonio Mundial natural y cultural con el fin de ilustrar tanto los impactos del cambio climático que ya se han observado como aquellos que se esperan en el futuro. Para cada uno de los sitios evocados se mencionan algunas posibles medidas de adaptación, esperando que estos ejemplos no sean de interés solamente para los profesionales del Patrimonio Mundial, sino también para el público en general.

8. Decisión 29 COM 7B.a.Rev. Aprobada durante la 29ª sesión del Comité del Patrimonio Mundial en Durban, Sudáfrica, 2005, <http://whc.unesco.org/archive/2005/whc05-29com-22e.pdf>

9. Documento WHC06-30COM7.1 y Decisión 30COM7.1 Aprobados durante la 30ª sesión del Comité del Patrimonio Mundial en Vilnius, Lituania, 2006, disponible en inglés en: <http://whc.unesco.org/archive/2006/whc06-30com-07.1e.pdf> y <http://whc.unesco.org/archive/2006/whc06-30com-19e.pdf>



# Glaciares

## del Patrimonio Mundial

El volumen de la mayoría de los glaciares de montaña y de otras masas de hielo se ha reducido como regla general desde la Pequeña Edad de Hielo, que tuvo lugar entre los siglos XVII y XIX<sup>1</sup>. Sin embargo, en el pasado reciente los glaciares han comenzado a derretirse a velocidades que no pueden ser explicadas por la variabilidad natural del clima<sup>2</sup>. El aumento global promedio de temperatura previsto para fines de este siglo oscila entre 1,4°C y 5,8°C<sup>3</sup>. Un incremento de temperatura de 4°C eliminaría prácticamente todos los glaciares de la Tierra<sup>4</sup>.

El derretimiento de los glaciares no solamente tiene consecuencias adversas para el valor de los sitios en que se encuentran protegidos como Patrimonio Mundial, sino que también impacta en los ecosistemas aledaños:

- El derretimiento de los glaciares conlleva la formación de lagos glaciarios. Las orillas de tales lagos están hechas de morenas (acumulaciones de tierra y piedras depositadas por el glaciar) que pueden colapsar al llenarse el lago, provocando repentinas y violentas

inundaciones en los valles inferiores. Cualquier inundación de este tipo puede tener consecuencias desastrosas para la población y para la biodiversidad de las regiones corriente abajo.

- El derretimiento anual de los glaciares de montaña controla los ciclos hidrológicos de las cuencas asociadas. Con la reducción del hielo, en un principio se producirán inundaciones, pero luego la provisión de agua se verá reducida, favoreciendo las hambrunas y la propagación de enfermedades.

1. Cambio climático 2001: la base científica. Parte de la contribución del Grupo de trabajo II al Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. <http://www.ipcc.ch/languages/spanish.htm#2>. [En adelante referido como IPCC 2001, GT2]. Sección 3 4.3.11.

2. M.B. Dyurgerov y M.F. Meier, 2000, Twentieth Century Climate Change: Evidence from Small Glaciers, Proceedings of the National Academy of Sciences, 97(4), págs.1406-1411.

3. IPCC 2001, GT1, op. cit., Resumen para responsables de políticas.

4. J. Oerlemans, B. Anderson, A. Hubbard, Ph., Huybrechts, T. Jóhannesson, W.H. Knap, M. Schmeits, A.P. Stroeven, R.S.W. van de Wal, J. Wallinga, y Z. Zuo, 1998, Modelling the Response of Glaciers to Climate Warming, Climate Dynamics, 14, págs.267-274.

■ Además de estos impactos geológicos e hidrológicos, los ecosistemas montañosos corren el peligro de que las especies vegetales y animales cambien de nicho ecológico para adaptarse a los

cambios del medio ambiente. Esto será explicado en detalle en el capítulo 3 (p.40) sobre los impactos del cambio climático en la biodiversidad terrestre.



*Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn*  
Suiza

# El Parque Nacional de Sagarmatha

Nepal

El Parque Nacional de Sagarmatha fue inscrito como sitio del Patrimonio Mundial en julio de 1979 debido a los magníficos fenómenos naturales y áreas de excepcional belleza que alberga. El parque, de 114.800 ha, está bordeado en su parte sur por una zona de protección de 27.500 ha creada en 2002. El área del parque es conocida por los lugareños como “Khumbu”.

Khumbu es un excepcional paisaje de montaña con espectaculares vistas de las altas cadenas del Himalaya dominadas por el Monte Everest (Chomo Lungma-Sagarmatha), la montaña mas alta del mundo (8.848 m). Más del 50% del parque está ocupado por un paisaje de alta montaña compuesto de nieve, hielo y roca. Además de glaciares alpinos, en el parque también pueden hallarse arbustos alpinos y profundos valles fluviales cubiertos de vegetación subalpina. En el Parque Nacional de Sagarmatha viven varias especies raras de animales salvajes como el leopardo de las nieves, el ciervo almizclero y el panda rojo.

El parque es también la tierra natal de los Sherpas. Los enclaves habitados están considerados legalmente como zona de transición del parque, pero en términos administrativos estas poblaciones son parte integrante de su territorio. Cerca de 6.000 residentes pertenecen al grupo étnico Sherpa y su presencia, con sus singulares tradiciones culturales, agrega interés al sitio.

El área comenzó a atraer a montañistas internacionales y a exploradores después de la exitosa ascensión del monte Everest realizada por Sir Edmund P. Hillary y el sherpa Sardar Tenzing Norgay en 1953. Hoy el parque recibe más de 20.000 visitantes por año. Sus principales atracciones son la belleza escénica de las montañas circundantes, la cultura local y fundamentalmente su cercanía con el Monte Everest. El turismo ha contribuido a mejorar la vida diaria de los habitantes locales, sin embargo la gestión del impacto en la cultura y el medio ambiente locales continua siendo un importante desafío.

El Parque Nacional de Sagarmatha fue incluido como sitio del Patrimonio Mundial por razones de orden geológico, biológico y estético, pero también a causa de la interacción humana con el medio ambiente ejemplificada por la peculiar relación de los sherpas con su entorno.



*El glaciar Pattar en el Parque Nacional de Sagarmatha, Nepal. En las cordilleras del Himalaya y de Tianshan, casi el 67% de los glaciares se ha retirado en la última década.*

19

## Impactos del cambio climático

Muchas de las características que dan valor universal excepcional al Parque Nacional de Sagarmatha son el resultado de o están ligadas a la variabilidad climática del pasado. Hasta el final de la Pequeña Edad de Hielo, la acumulación de nieve en el parque favoreció la formación de glaciares. La acción de los glaciares contribuyó a moldear sus características geológicas, ya que estos verdaderos ríos de nieve comprimida excavaron las laderas de las montañas dando forma al paisaje.

Hoy en día se teme que los glaciares del Himalaya se estén retirando a causa del cambio climático, ya que desde mediados de los años 1970 la temperatura promedio del aire se ha elevado 1°C en la región. Esto es casi el doble de calentamiento global promedio de 0,6°C reportado por el IPCC, siendo esta tendencia más pronunciada con el aumento de la altitud<sup>5</sup>. Casi el 67% de los glaciares de las cordilleras del Himalaya y de Tianshan se han retirado en la última década<sup>6</sup>. En el glaciar Gangotri, esta reducción ha sido de 30 metros por año.

El impacto más visible de esta tendencia está relacionado con el valor estético de las montañas. El derretimiento de la nieve transformará montañas nevadas en montañas rocosas. Los Himalayas ya no serán la “morada de la nieve”. Los dinámicos glaciares se transformarán en muertos pedreros sin su alma de hielo. Además de la degradación visual para el turismo y la cultura local, la falta de nieve traerá consecuencias desfavorables para la práctica del montañismo.

El impacto más devastador estará relacionado con el régimen hidrológico. El rápido derretimiento de los glaciares ya está aumentando la frecuencia y la magnitud de las inundaciones catastróficas aguas abajo. El derretimiento continuado finalmente afectará la disponibilidad de agua, vital para el uso humano, la producción de alimentos y el mantenimiento de los ecosistemas. Cambios en la temperatura de la atmósfera y en los regímenes de lluvias afectarán el equilibrio entre las precipitaciones acumuladas en invierno y el deshielo durante el verano. La época de deshielo coincide con la estación de lluvias en el Himalaya, en consecuencia, cualquier intensificación en las lluvias probablemente contribuirá a la rápida desaparición de la nieve y del hielo<sup>7</sup>. Se espera, por lo tanto, que la región del Himalaya pierda gradualmente su capacidad de servir como fuente de agua para los miles de millones de personas que viven aguas abajo de sus elevadas cumbres. La escasez de agua no solamente empobrecerá sus vidas, también favorecerá la aparición de conflictos en las escalas local y regional.



*El valle de Pheviche, un paisaje nepalés en el Parque Nacional de Sagarmatha.*

5. J. Thomas y S. Rai, 2005, *An Overview of Glaciers, Glacier Retreat, and Subsequent Impacts in Nepal, India and China*, Resumen, Programa de la WWF para Nepal, [http://www.panda.org/downloads/climate\\_change/glacierssummary.pdf](http://www.panda.org/downloads/climate_change/glacierssummary.pdf)

6. IPCC, 2001, *GT2*, op. cit., Sección 11.2.1.2.

7. IPCC, 2001, *GT2*, op. cit., Sección 11.2.3.1.

## Aluviones de ruptura de lagos glaciarios

El derretimiento de los glaciares conlleva la formación y rápido crecimiento de lagos glaciarios cuyas orillas están constituidas de sedimentos glaciarios sueltos y de resabios inestables de hielo. Los lagos glaciarios se ubican frecuentemente en la base de montañas jalonadas de bloques de hielo suspendidos. Mientras el lago en la base se llena, los bloques de hielo pueden desprenderse de la parte superior (frecuentemente a causa de terremotos), cayendo en el lago, y provocar olas que pueden causar que se rompa el embalse creado por la morena, lo cual puede a su vez liberar repentinamente enormes volúmenes de agua. Eventos de este tipo se denominan aluviones de ruptura de lagos glaciarios o *GLOF*, del inglés "Glacial Lake Outburst Floods", y tienen consecuencias desastrosas para la población y para la biodiversidad de toda la cuenca. Los aluviones de ruptura son fenómenos naturales en la región de Khumbu<sup>8</sup>, pero su riesgo de ocurrencia aumenta a causa del cambio climático.

En el espacio de dos décadas, tres grandes aluviones de ruptura han ocurrido en Khumbu. En 1977 un aluvión de ruptura en la base del monte Amadablam destruyó las instalaciones del parque y un refugio para turistas ubicados

a lo largo de la orilla del río. Un segundo aluvión de ruptura originado en el lago Digtsa Namche destruyó completamente la estación hidroeléctrica, senderos y puentes en agosto de 1985, se llevó consigo tierra cultivable, casas, ganado y provocó la muerte de al menos 20 personas en su zona de impacto, a lo largo de 90 km aguas abajo. El aluvión de ruptura más reciente ocurrió el 3 de septiembre de 1998, en el valle Hinku en la parte este del parque. Hoy en día, entre los lagos del parque, uno de los mayores y más peligrosos es el Imja, que requiere urgente vigilancia y una evaluación de los riesgos para mejorar la preparación en caso de accidentes.

En toda la región del este del Himalaya, se han registrado al menos 15 grandes aluviones de ruptura desde 1995. Recientemente, el Centro Internacional para el desarrollo integrado de las Montañas (ICIMOD), con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), publicó los resultados de un inventario de glaciares, lagos glaciarios, y aluviones de ruptura en Nepal y Bhután. El estudio menciona 3.252 glaciares y 2.323 lagos glaciarios en Nepal entre los cuales veinte se perciben como potencialmente peligrosos<sup>9</sup>.

## Suministro de agua

La mitad del agua dulce utilizada por el hombre proviene de glaciares de montaña. Si los glaciares continúan derritiéndose al ritmo actual, las nevadas invernales no serán suficientes para reponer el hielo y la nieve perdidos por derretimiento, causando un déficit en el almacenamiento de agua bajo la forma de nieve y hielo. Esto puede causar que muchos ríos se sequen, provocando escasez de agua potable y afectando la pesca y la fauna silvestre. Este riesgo ha sido confirmado por modelos numéricos que muestran que en el contexto del cambio climático habrá probablemente un incremento del caudal de los ríos a corto plazo, que provocará inundaciones generalizadas<sup>10</sup>. Pero a mediano plazo (del orden de décadas) se observarán tendencias negativas de los niveles de agua en los ríos glaciarios.

La región del Himalaya proporciona agua potable a un tercio de la población del planeta<sup>11</sup>. Proveyendo de agua a los ríos Ganges, Indo, Brahmaputra, Salween, Mekong, Yangtzé y Huang He, los glaciares en este área aseguran la provisión de agua a lo largo de todo el año a dos mil millones de personas. Sólo en el caso del Ganges, la pérdida de agua de deshielo del glaciar reduciría drásticamente el caudal entre julio y septiembre, afectando la vida diaria de quinientos millones de personas y el 37% de la tierra irrigada en la India<sup>12,13</sup>. En el norte de los montes Tianshan en Kazajstán, más del 90% de la provisión de agua de la región es utilizada para la agricultura y hasta el 80% del agua de sus ríos proviene de glaciares y permafrost, ambos en proceso acelerado de derretimiento.

8. Informe periódico del Parque Nacional de Sagarmatha al Comité del Patrimonio Mundial, 2002, <http://whc.unesco.org/en/list/120>

9. Inventory of Glaciers, Glacier Lakes, Glacier Lake Outburst Floods Monitoring and Early Warning Systems in the Hindu Kush-Himalayan Region, Nepal and Bhutan, 2002, International Centre for Integrated Mountain Development, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, <http://www.rrcap.unep.org/glofnepal/start.htm>.

10. Thomas and Rai, 2005, op. cit.

11. Going, Going, Gone! Climate Change and Global Glacier Decline, Reporte de la WWF, 2003, <http://assets.panda.org/downloads/glacierspaper.pdf>

12. C.K. Jain, 2001, A Hydro-Chemical Study of a Mountainous Watershed: the Ganges, India, Water Research, 36(5), págs.1262-1274.

13. P.S. Singh, S.K. Jain, N. Kumar y U.K. Singh, 1994, Snow and Glacier Contribution in the Ganges River at Deoprayag, Technical Report, CS(AR)132, National Institute of Hydrology, Roorkee, India.



El cambio climático afecta a la vegetación de una manera determinante, por ejemplo con la elevación de las regiones habitadas por una cierta especie de árboles como respuesta al aumento de la temperatura. En este proceso, las especies animales y vegetales peor adaptadas se ven desfavorecidas y a largo plazo pueden extinguirse, ya que las poblaciones de plantas y animales responden individualmente a los cambios climáticos. En consecuencia, los nichos ecológicos forestales pueden cambiar al desplazarse hacia terrenos mas elevados, ya que mientras algunas especies se adaptan y desarrollan otras pueden extinguirse. Este tema será tratado en detalle en el capítulo 3 (p.40) acerca de los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad terrestre.

También hay que tener en cuenta modificaciones en otros aspectos de la variabilidad. Asumiendo que el aumento de temperatura proyectado estará acompañado de humedad suficiente, la cobertura vegetal del Parque Nacional de Sagarmatha podría aumentar, ya que actualmente el factor limitante para el crecimiento de las plantas es la baja temperatura. Pero si la humedad no se incrementa, la

tendencia al calentamiento puede causar más incendios forestales. Por otra parte, el aumento de la temperatura afectará la incidencia de especies invasivas, incluyendo parásitos y enfermedades.

A pesar de estos cambios en el medio ambiente, la gente continuará viviendo en el parque y la interacción de la raza humana con la naturaleza seguirá existiendo. Mientras que la pequeña Edad de Hielo llevó el bienestar de la humanidad a un mínimo, el calentamiento podría tener el efecto contrario. Es probable que la gestión del crecimiento de la población, de la expansión de los asentamientos y de la ocupación de tierras se transforme en un gran desafío. La integridad de la cultura del pueblo sherpa se verá deteriorada ante las crecientes influencias externas.

De todas maneras, algunos de los mayores atractivos del parque, como sus maravillosas formaciones geológicas y la condición del Monte Everest de montaña más alta del mundo, permanecerán intactos aunque sus valores cultural y paisajístico se vean afectados por la disminución de la cobertura de nieve y su efecto protector.

## Otras amenazas

**Los sitios del Patrimonio Mundial, como el Parque Nacional de Sagarmatha, exhiben delicados equilibrios. Aunque el cambio climático es una significativa amenaza externa para la conservación de su valor a largo plazo, debe ser considerado como uno más entre otros problemas. El parque también recibe una serie de presiones de carácter comarcal que requieren acciones de gestión a nivel local:**

- Presión sobre los recursos: el número de excursionistas y montañistas que visita el parque continúa siendo alto y la población permanente aumenta continuamente. La cantidad de inmigrantes por causas económicas ha aumentado, aunque este crecimiento se ve de alguna manera compensado por la emigración de residentes locales.

- Presión sobre las infraestructuras: como el parque continúa atrayendo grandes cantidades de caminantes y escaladores, la necesidad de desarrollo de infraestructura para el turismo es cada vez mayor.

# Soluciones posibles

## Vigilancia y alerta temprana

La solución del problema del calentamiento global se encuentra más allá de los límites del Parque Nacional de Sagarmatha. Sin embargo, el parque constituye un laboratorio ideal para el estudio de los impactos del cambio global, y tanto actividades de investigación e información como medidas de mitigación podrían ser incluidas en planes de gestión e implementadas para evitar mayores daños tanto a sus ecosistemas como a su gente.

Un sistema efectivo de vigilancia y alerta temprana adecuadamente integrado con una estrategia apropiada de anticipación de riesgos puede reducir significativamente la pérdida de vidas humanas provocada por aluviones de ruptura corriente abajo de lagos glaciarios potencialmente peligrosos<sup>14</sup>.

Algunas medidas recomendables son el uso de sensores remotos como el satélite LANDSAT, el reconocimiento aéreo con cámaras

fotográficas y la implementación de un sistema de telecomunicaciones y emisiones radiales integrado con instrumentos de medición hidrometeorológicos y geofísicos instalados in situ. En este sentido, los métodos del Servicio Mundial de Vigilancia de Glaciares<sup>15</sup> son una guía actualizada para vigilar eficientemente el estado de conservación de los glaciares.

## Adaptación

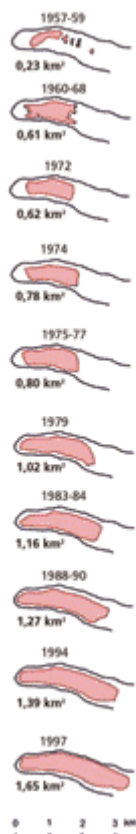
En muchos casos, los desastres pueden ser prevenidos, drenando artificialmente lagos glaciarios potencialmente peligrosos para evitar violentos aluviones. Medidas de este tipo están siendo implementadas en el lago Tsho Rolpa en el valle de Rolwalingm al oeste del Parque Nacional de Sagarmatha. Diferentes estrategias son posibles para prevenir aluviones de ruptura de lagos glaciarios: (i) rompimiento controlado de la represa; (ii) construcción de una estructura para el control del flujo saliente; (iii) instalación de una bomba o sifón para extraer agua del lago; (iv) drenado a través de un túnel en la morena y/o en el dique de hielo; (v) construcción de una represa; (vi) reducción del riesgo de avalanchas en el lago.

El proyecto de gestión de aluviones de ruptura de lagos glaciarios en el Tsho Rolpa tuvo lugar entre 1998 y 2002<sup>16</sup>. El lago contenía entre 90 y 100 millones de m<sup>3</sup> de agua embalsados por una morena de 150 metros de altura. Una grieta en la morena podría haber

causado que al menos un tercio del lago inundara el valle. Este riesgo condujo a una acción concertada entre el Gobierno de Nepal y la Agencia de Desarrollo de Holanda Bajos (NDA), conjuntamente con la asistencia técnica Reynolds Geo-Sciences Ltd., financiada por el Departamento de Desarrollo Internacional (DFID), del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte. El proyecto consistió en drenar el lago disminuyendo la cota en 3 metros e instalar sistemas de alerta temprana en las poblaciones corriente abajo. El proyecto se completó en diciembre de 2002, reduciendo el riesgo de aluviones de ruptura en un 20%, aunque para evitar completamente este tipo de eventos sería preciso un drenado adicional, tal vez hasta una reducción de la cota de 17 metros. El costo sería, claro está, alto, pero mucho menor que los costos de un aluvión de ruptura fuera de control, asociados a los daños causados a las infraestructuras y a la biodiversidad pero principalmente a la pérdida de vidas humanas.



El lago glacial de Tsho Rolpa se está agrandando como consecuencia del derretimiento del glaciar y la frágil represa formada por la morena corre riesgo de colapsar. El riesgo de aluviones de ruptura se redujo en un 20% reduciendo el nivel de agua artificialmente 3 metros en 2002.



14. *Inventory of Glaciers, Glacier Lakes, Glacier Lake Outburst Floods Monitoring and Early Warning Systems in the Hindu Kush-Himalayan Region, Nepal and Bhutan, 2002*, International Centre for Integrated Mountain Development, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, <http://www.rrcap.unep.org/glofnepal/start.htm>.

15. <http://www.geo.unizh.ch/wgms/about.html>

16. S. Agrawala, V. Raksakulthai, M. van Aalst, P. Larsen, J. Smith y J. Reynolds, 2003, *Development and Climate Change in Nepal: Focus on Water Resources and Hydropower*, OCDE, <http://www.oecd.org/dataoecd/6/51/19742202.pdf>

# Parque Nacional de Huascarán

Perú

En la Cordillera Blanca, la cadena montañosa tropical más alta del mundo, se alza a 6.768 metros sobre el nivel del mar el monte Huascarán, que da su nombre a este parque. Sus profundas quebradas surcadas por numerosos torrentes, sus lagos glaciarios y su vegetación variada forman un conjunto de belleza espectacular. Este sitio alberga especies animales como el oso de anteojos y el cóndor andino. El Parque Nacional de Huascarán fue inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial en 1985 por los significativos procesos ecológicos y biológicos que en él se desarrollan y por sus fenómenos naturales y áreas de excepcional belleza.

Se estima que alrededor del 22% del volumen total de los glaciares se ha derretido desde fines de los años 60 en la Cordillera Blanca<sup>17</sup>. Hoy en día la vida diaria de dos millones de personas, que viven en las inmediaciones del Parque, se encuentra amenazada por los lagos glaciarios de alta montaña y la combinación de cambio climático, actividad sísmica local e inestabilidad adicional en las pendientes y en los glaciares. El clima del parque sufre también el impacto de la variabilidad en la distribución de las lluvias a causa del fenómeno de El Niño. Si esta tendencia continúa, se espera que en menos de 50 años ya no habrá ningún vestigio de glaciares en la Cordillera Blanca, lo que acarreará la escasez de agua.

■ Como se describe en detalle en el capítulo 3 (p.40), el calentamiento global también afecta a la biodiversidad terrestre. En el Parque Nacional de Huascarán, esta tendencia puede tener un impacto tanto en la integridad de las áreas protegidas como en la agricultura tradicional. Enfermedades de la patata como el hongo "Ranchar" (*phytophthora infestans*), que solían ser endémicas en las tierras bajas de los Andes, pueden verse hoy en día llegar hasta los 4.000 metros de altura.

■ El derretimiento de los glaciares y la ablación de las masas de hielo representa también una importante amenaza para los tesoros culturales del parque y de sus inmediaciones. Vestigios de antiguas culturas, como el sitio arqueológico de Willcahuain, se encuentran en el camino de potenciales avalanchas inducidas por inestabilidades del suelo y de los pedreros, expuestas una vez que el hielo se derrite. Como se describe en el capítulo 4 (p.52) sobre el Patrimonio Mundial arqueológico, un evento de estas características ocurrió en 1945 en el sitio del Patrimonio Mundial de Chavín, ubicado entre las cuencas de los ríos Mosna y Huacheksa. No hace falta mencionar que un evento similar podría producir graves daños a la ciudad de Huaraz y a otros pueblos de la región.

Estos fenómenos climáticos representan amenazas para las comunidades locales y su patrimonio:

■ Dos millones de personas dependen del agua proveniente del Parque Nacional Huascarán y esta demanda está en aumento. Estas comunidades sufren un riesgo a corto plazo de inundaciones catastróficas y a largo plazo de la disminución de la provisión de agua en el .



Fotografías del mismo sitio tomadas en momentos diferentes ilustran los cambios actuales en la región del Parque Nacional de Huascarán. La fotografía superior muestra el poblado de Queropalca en la cordillera de Huayhuash en 1936\*, y la inferior fue tomada en 2003 en circunstancias similares. Varias de las diferencias entre estas dos fotografías están ligadas al cambio climático, como las huellas del aluvión de ruptura que destruyó parte del pueblo en 1998 (punto A) o el incremento en la altitud de los cultivos (punto B).

\* A.C. Byers, 2007, *Impacts of Climate Change in the Mountains*, en G. Braasch, (ed.), *Earth Under Fire: How Global Warming Is Changing the World*, Berkeley, University of California Press, Estados Unidos.

17. A.C. Byers, 2009, *A comparative study of tourism impacts on alpine ecosystems in the Sagarmatha (Mt. Everest) National Park, Nepal and the Huascarán National Park, Peru* en Hill, J. y Gale, T. (eds.), *Ecotourism and Environmental Sustainability*. Londres, Reino Unido, Ashgate. En prensa.



# 1 Fiordo helado de Ilulissat Dinamarca

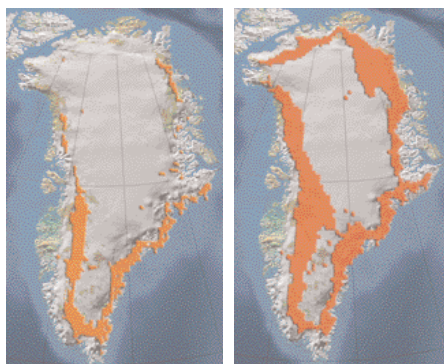
*El fiordo helado de Ilulissat (Dinamarca) es uno de los glaciares más activos del mundo. La calota de Groenlandia alberga los más antiguos registros de hielo del hemisferio norte, que contienen información de las tendencias pasadas de precipitaciones y de temperatura. El glaciar se ha retirado durante el siglo XX y el cambio climático amenaza la conservación de estas evidencias científicas.*



Situado en la costa occidental de Groenlandia, a unos 250 km al norte del círculo polar ártico, el fiordo helado de Ilulissat (40.240 hectáreas) es el lugar de desembocadura del Sermeq Kujalleq, uno de los pocos glaciares por los que la capa de hielo de esta inmensa isla septentrional se evacúa hacia el mar. El Sermeq Kujalleq es uno de los glaciares más activos y rápidos del mundo, con una progresión de 19 metros diarios. Su volumen anual de evacuación de hielo es superior a 35 km<sup>3</sup> y corresponde al 10% de la producción de todo el casquete de hielo de Groenlandia. De todos los glaciares existentes fuera de la Antártida, el Sermeq Kujalleq es el que produce la mayor masa de icebergs. Las observaciones de que viene siendo objeto desde hace más de 250 años han permitido un mejor conocimiento de los cambios climáticos y la glaciología del casquete polar. Su inmensa masa de hielo, unida al inmenso estruendo que provoca su desplazamiento rápido hacia el mar en el fiordo lleno de icebergs, es un fenómeno de la naturaleza sobrecogedor y espectacular.

El fiordo helado de Ilulissat fue propuesto para la Lista de sitios del Patrimonio Mundial Natural en 2004. Es un destacado ejemplo de un capítulo de la historia de la Tierra: la última edad de hielo del período cuaternario. El paisaje salvaje combinando rocas, hielo y mar junto con el estruendo producido por el hielo en movimiento se aúnan para mostrar un espectáculo natural inolvidable. Sin embargo, los excepcionales valores universales de este sitio se verán afectados por el cambio climático, sobre todo por el hecho de que el incremento en la temperatura de la atmósfera es más pronunciado en las regiones polares. De acuerdo con el reciente estudio de evaluación de los impactos del clima en el Ártico (ACIA), el calentamiento local sobre Groenlandia podría ser hasta tres veces mayor que el calentamiento promedio global<sup>18</sup>.

El fiordo helado de Ilulissat ocupa un papel central en el estudio de la glaciología y de la variabilidad climática. Las primeras descripciones del inmenso campo de hielo de tierra adentro fueron publicadas por H. Rink durante la segunda mitad del siglo XIX. Esta fue la base



*El derretimiento del hielo en Groenlandia está creciendo rápidamente: a la izquierda en 1992 y a la derecha en 2002 (Arctic Climate Impact Assessment).*

de las teorías sobre las glaciaciones pasadas cuando gran parte del mundo estaba cubierto por capas de hielo. Hoy en día, los remanentes de la Edad de Hielo (las calotas de Groenlandia y de la Antártida) son esenciales para la investigación del clima del pasado. La información obtenida de los testigos de hielo, de hasta 3 km de longitud, que revela las temperaturas y las tendencias en las precipitaciones en Groenlandia casi 250.000 años atrás en el

tiempo, es de particular importancia. Ningún otro glaciar o calota en el hemisferio norte puede suministrar un registro tan largo y continuo del clima del pasado<sup>19</sup>. El impacto del cambio climático en este sitio del Patrimonio Mundial amenaza la conservación de este archivo único.

El caso del fiordo helado de Ilulissat ilustra la creciente preocupación acerca de problemas relacionados con el cambio climático en el contexto de la Convención del Patrimonio Mundial. Este sitio fue propuesto muy recientemente y los potenciales impactos del cambio climático sobre él ya se mencionaron durante su candidatura y en el informe de evaluación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), en el cual el organismo asesor reconoce que el glaciar se contrajo durante el siglo XX. En 1851, el frente de hielo a través del fiordo se encontraba a 25 km de su desembocadura. Para 1950 ya se había retirado más de 26 km hacia el este<sup>20</sup>. En el futuro, en el flujo del glaciar como su posición se verán afectados por el cambio climático.

18. ACIA, 2004, *Impact of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press, 2004, <http://www.acia.uaf.edu>

19. N. Mikkelson, y T. Ingerslev, (eds.), 2002, *Nomination of the Ilulissat Icefjord for Inclusion in the World Heritage List*, Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS).

20. *Informe de Evaluación del sitio de la UICN*, 2003, [http://whc.unesco.org/archive/advisory\\_body\\_evaluation/1149.pdf](http://whc.unesco.org/archive/advisory_body_evaluation/1149.pdf)


# Parque Nacional del Kilimanjaro

República Unida de Tanzania

El macizo volcánico del Kilimanjaro, rematado por su célebre pico de 5.895 metros de altitud, es el “techo” del continente africano. Cubierta de nieves perpetuas, su cima se yergue solitaria en medio de la sabana circundante y está rodeada por un bosque de montaña donde viven numerosas especies de mamíferos, muchas de las cuales se hallan en peligro de extinción. El Parque Nacional del Kilimanjaro fue inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial en 1987 por su destacada belleza natural.

Los glaciares del monte Kilimanjaro han persistido por más de 10.000 años. Pero como resultado del cambio climático y de la modificación de prácticas locales (como cambios en el uso de los suelos), han perdido el 80% de su superficie durante el siglo XX<sup>21</sup>. En el cono Kibo del Kilimanjaro, la cobertura de hielo total disminuyó de 12.058 m<sup>2</sup>, 6.675 m<sup>2</sup> y 4.171 m<sup>2</sup> a 3.305 m<sup>2</sup> desde los años 1912, 1953 y 1976 a 1989<sup>22</sup> respectivamente. Si la actual tendencia no se modifica, al perder más de medio metro de espesor cada año, probablemente los campos de hielo del Kilimanjaro desaparecerán completamente en menos de 15 años<sup>23</sup>.

En la misma región geográfica, se espera que los glaciares del monte Kenia (Kenia) y de los montes Rwenzori (Uganda), ambos sitios del Patrimonio Mundial, desaparezcan completamente en 20 años<sup>24</sup>.



Nieve y hielo en el monte Kilimanjaro en 1993 y en 2002. La nieves eternas en la cumbre del Kilimanjaro se han reducido un 82% a lo largo del siglo pasado.

21. G. Kaser, D.R. Hardy, T. Mölg, R.S. Bradley, y T.M. Hyera, 2004, *Modern Glacier Retreat on Kilimanjaro as Evidence of Climate Change: Observations and Facts*, International Journal of Climatology, 24, págs. 329-339.

22. S. Hastenrath, and L. Greischar, 1997, *Glacier Recession on Kilimanjaro, East Africa, 1912-89*, Journal of Glaciology, 43(145), págs. 455-459.

23. L.G. Thompson, E. Mosley Thompson, M.E. Davis, K.A. Henderson, H.H. Brecher, V.S. Zagorodnov, T.A. Mashiotta, P.N. Lin, V.N. Mikhalenko, D.R. Hardy, and J. Beer, 2002, *Kilimanjaro Ice Core Records: Evidence of Holocene Climate Change in Tropical Africa*, Science, 298, págs. 589-593.

24. R.G. Taylor, L. Mileham, C. Tindimugaya, A. Majugu, A. Muwanga and B. Nakileza, 2006, *Recent Glacial Recession in the Rwenzori Mountains of East Africa Due to Rising Air Temperature*, Geophysical Research Letters, 33, L10402, doi:10.1029/2006GL025962.

# Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn

Suiza

26

El área de Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn es la parte de los Alpes que más glaciares contiene. Allí se encuentra el mayor glaciar de Europa y también una multitud de valles excavados, circos glaciares, picos piramidales y morenas, entre otras características típicas de zonas glaciares. Contiene un remarcable registro geológico de la convergencia y compresión que formaron los Altos Alpes. El área alberga una variedad de hábitats y especies alpinas y subalpinas, y la colonización vegetal posterior al retiro de glaciares constituye un remarcable ejemplo de sucesión ecológica. La impresionante vista de la pared norte de los Altos Alpes, centrada en los picos Eiger, Mönch y Jungfrau ha representado un importante papel en el arte y en la literatura de Europa.

Los glaciares en ocho de las nueve regiones glaciares europeas se encuentran en retirada. Entre 1850 y 1980, los glaciares de los Alpes han perdido aproximadamente la tercera parte de su área y la mitad de su masa, y desde 1980, otro 20 o 30% del hielo se ha derretido. Durante la ola de calor de 2003, se perdió alrededor de un 10% adicional de la masa glaciaria de Europa. Si esta tendencia continúa, lo cual es sumamente probable, para 2050, el 75% de los glaciares en los Alpes suizos habrá desaparecido<sup>25</sup>.

En particular, el glaciar Aletsch se ha retirado 3,4 km desde que alcanzó su máxima extensión (23 km) hacia el final de la Pequeña Edad de Hielo (siglo XIX). Alrededor de 1,4 km de esta retirada ha ocurrido a lo largo de los últimos 56 años<sup>26</sup>. Para 2050, es altamente probable que el glaciar Aletsch se haya reducido a su tamaño mínimo desde la Edad de Bronce tardía. De hecho, los modelos climáticos regionales muestran que para un escenario del



doble de concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, en el futuro los Alpes experimentarán inviernos ligeramente más cálidos con más precipitaciones, pero veranos mucho más cálidos y secos que hoy en día. Estos cambios tendrán un gran impacto en los glaciares alpinos<sup>27</sup>.

*Desde mediados del siglo XIX, el glaciar Aletsch se ha retirado 3,4 km. En 1979 el frente del glaciar Aletsch ocupaba una mayor fracción de la ladera de la montaña. En las fotografías de 1991 y 2002 se observa una considerable reducción y la presencia de nueva vegetación.*

25. European Environment Agency, 2004, *Impacts of Europe's Changing Climate: An Indicator-Based Assessment*, disponible en inglés en [http://reports.eea.europa.eu/climate\\_report\\_2\\_2004/en/tab\\_content\\_RLR](http://reports.eea.europa.eu/climate_report_2_2004/en/tab_content_RLR).

26. H. Holzhauser, M. Magny y H.J. Zumbühl, 2005, *Glacier and Lake-Level Variations in West-Central Europe Over the Last 3,500 years, The Holocene*, 15(6), págs. 879-891.

27. IPCC, 2001, *GT2*, op. cit., Sección 13.2.1.4.



*El Eggishorn en la región de Jungfrau (Suiza). Entre 1850 y 1980, los glaciares de los Alpes han perdido alrededor de la mitad de su masa.*

El derretimiento de los glaciares en los Alpes afectará a importantes ríos europeos como el Rin, el Ródano y el Danubio y en consecuencia representará una amenaza para la provisión de agua dulce en Europa. En los próximos años la descarga causada por el derretimiento glaciar se incrementará, lo que posiblemente provoque más inundaciones. Pero a largo plazo, con un retiro generalizado de los glaciares alpinos, algunas regiones de Europa pueden enfrentar una significativa reducción en la disponibilidad de agua potable.

Las consecuencias del cambio climático también conciernen a la industria turística en los Alpes, aunque este peligro no tenga influencia directa en el sitio del Patrimonio Mundial de Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn. La actividad en un área de deportes invernales se dice “asegurada” si se pueden garantizar 100 días ininterrumpidos de nevadas adecuadas. Hoy en día alrededor del 85% de los centros de ski en Suiza disfrutan de una capa de nieve suficiente. Pero una elevación de 300 m de la línea de nieve reduciría esta proporción al 63%<sup>28</sup>. En Suiza, alrededor de 100.000 empleos dependen del turismo y muchos de ellos enfrentan un futuro incierto en el contexto del cambio climático.

En Suiza se han considerado medidas para limitar el derretimiento de los glaciares. Por ejemplo, el campo de hielo de Tortin fue cubierto con una capa protectora aislante de 2.500 m<sup>2</sup> color azul claro para reducir su derretimiento durante el verano. Este tipo de medidas puede ayudar a estabilizar un glaciar a corto plazo, pero no es una solución adecuada para el sitio del Patrimonio Mundial de Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn, y no puede asegurar a largo plazo un nivel de conservación adecuado que garantice que los glaciares no serán sólo un recuerdo para las generaciones futuras.

28. H. Elsasser, P. Messerli, 2001, *The Vulnerability of the Snow Industry in the Swiss Alps*, Mountain Research and Development, 21(4), págs. 335-339.

# 2

## Biodiversidad Marina y Patrimonio Mundial

28

Los cambios climáticos influyen en las características físicas, biológicas y biogeoquímicas de los océanos en diferentes escalas espaciales y temporales. Por lo tanto tienen consecuencias determinantes para la conservación de los ecosistemas marinos, y para su papel de proveedores de bienes y servicios como los recursos pesqueros, de los cuales dependen para su subsistencia miles de millones de personas.

Pero los océanos son también una parte integrante y activa del sistema climático e interactúan directamente con el clima. El IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) afirma que el calentamiento global afectará a los océanos a través de cambios de la temperatura de la superficie del mar, del nivel del mar, de la extensión de la banquisa, de la salinidad, de la alcalinidad, de la circulación oceánica y de las oscilaciones climáticas a gran escala<sup>1</sup>. El papel de los océanos como reguladores del clima, especialmente a través de la circulación que redistribuye calor y salinidad mediante la "cinta transportadora global" (conveyor belt o sistema de circulación termohalina), podría ser dramáticamente modificado. Estos cambios también tendrían consecuencias adversas tanto para los ciclos

biogeoquímicos como para la captura y almacenamiento de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono.

Los aspectos principales de los cambios observados y previstos son<sup>2</sup>:

- El incremento del contenido total de calor en el océano desde finales de los años 50.
- Un aumento global promedio del nivel del mar entre 0,1 m y 0,2 m durante el siglo XX debido a la dilatación térmica del agua del océano y al derretimiento de masas de hielo en glaciares y calotas. Se prevé que este aumento alcance entre 0,09 m y 0,88 m entre 1990 y 2100.
- La disminución de la extensión de la banquisa en el hemisferio norte de más del 10% desde los años 50 en primavera

y verano y una reducción probable del 40% de su espesor en décadas recientes durante el fin del verano y el otoño.

- El aumento de la frecuencia, persistencia e intensidad de los episodios cálidos del fenómeno de El Niño-Oscilación Austral (El Niño-Southern Oscillation, ENSO) desde mediados de los años 70 en comparación con los 100 años precedentes. Las previsiones actuales muestran un leve incremento en la amplitud de ENSO durante los próximos 100 años.
- El debilitamiento de la circulación termohalina.

Los ecosistemas costeros son sensibles a estos cambios físicos y químicos, especialmente en relación con<sup>3</sup>:

- El incremento en las inundaciones costeras, la pérdida de pantanos y

1. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Resumen técnico.

2. IPCC, 2001, GT1, op. cit., Resumen para responsables de políticas.

3. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Resumen para responsables de políticas.



manglares y la intrusión de agua de mar en fuentes de agua dulce.

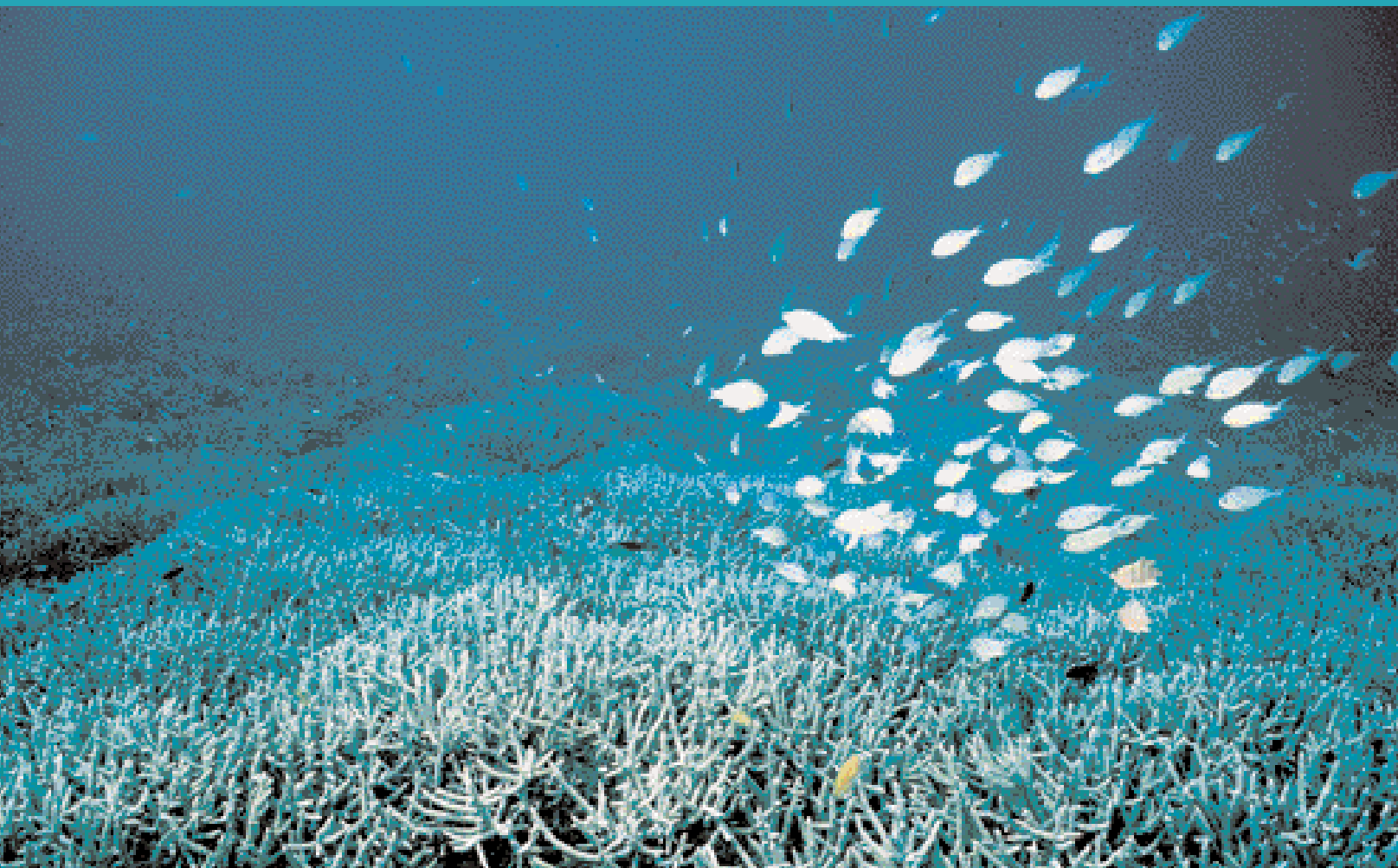
■ El incremento de la extensión y severidad de los impactos de las tormentas como la erosión costera a causa del aumento del nivel del mar, especialmente en aquellas áreas en latitudes altas en que disminuyen los efectos protectores del permafrost y de la banquisa.

Los ecosistemas marinos se verán afectados por los cambios en la temperatura del agua del mar, en la circulación oceánica global y en la salinidad, con un amplio rango de efectos como cambios en los comportamientos migratorios, en la composición de las comunidades y en

el funcionamiento de los ecosistemas. La respuesta de estos ecosistemas dependerá de la rapidez y de la amplitud del cambio climático. Otros factores importantes que afectarán sus capacidades de adaptación son el espacio disponible para migraciones y sus eventuales obstáculos.

Además, el incremento en la cantidad de CO<sub>2</sub> atmosférico absorbido por los océanos está empezando a afectar el delicado equilibrio que regula la acidez de las aguas oceánicas. Está previsto que el aumento de la subsaturación de carbonatos y de la acidez de los océanos tenga un efecto generalizado sobre animales marinos con exoesqueletos o

estructuras calcáreas, como el zooplankton y un gran número de especies que viven en el fondo del mar (como corales y moluscos), dificultando su crecimiento y disolviendo sus corazas protectoras. Se prevé que estos efectos, junto con el aumento de la temperatura del agua, perturben las cadenas tróficas con efectos devastadores tanto en aguas abiertas como en las comunidades bentónicas (del fondo del mar) en todos los océanos, y tanto en aguas profundas como superficiales. Se espera que los cambios previstos en la química de los océanos afecten aproximadamente al 70% de los corales de aguas profundas del mundo para el año 2100<sup>4</sup>.



La Gran Barrera  
Australia

4. PNUMA, IUCN, 2006, *Ecosystems and Biodiversity in Deep Waters and High Seas*, UNEP Regional Seas Reports and Studies, No. 178, [http://www.iucn.org/en/news/archive/2006/06/16\\_unep\\_high\\_seas\\_lr.pdf](http://www.iucn.org/en/news/archive/2006/06/16_unep_high_seas_lr.pdf)

# La Gran Barrera

Australia

2

30

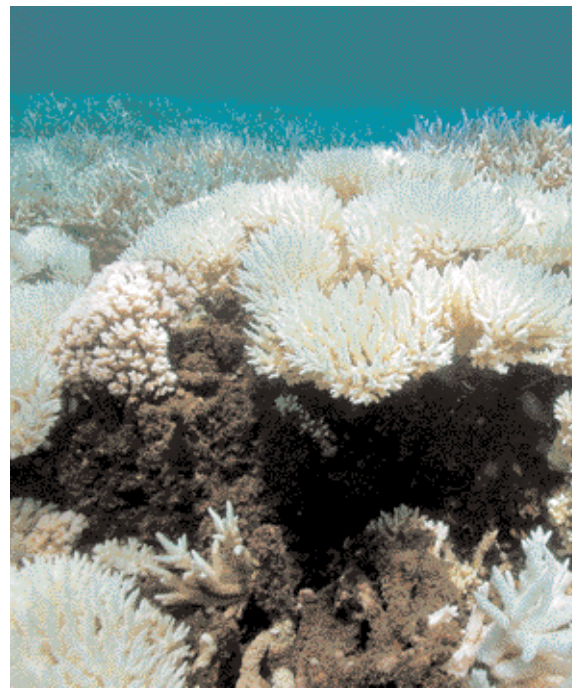
La Gran Barrera de Coral es un sitio de extraordinaria belleza, cercano a la costa noreste de Australia. Es el mayor ecosistema coralino del mundo, con 2.100 km de longitud y un área de 344.400 km<sup>2</sup>. Su laguna contiene 2.900 arrecifes individuales con 400 especies de coral, 1.500 especies de peces y varios miles de especies de moluscos. Otro aspecto de su interés científico es el de ser hábitat de especies como el dugong (“vaca de mar”) y las tortugas verde y caguama, en vías de extinción. Por estas razones fue incluida en la Lista en 1981, satisfaciendo los cuatro criterios naturales de sitio del Patrimonio Mundial.

## Impactos del cambio climático

La ecología de este sitio del Patrimonio Mundial es sensible a riesgos ligados a cambios en los siguientes parámetros climáticos: aumentos del nivel y de la temperatura del mar, frecuencia e intensidad de las tormentas, regímenes de precipitaciones, sequías, escorrentía terrestre, circulación oceánica y acidez del agua. Entre los efectos más serios de los cambios climáticos observados y previstos se cuentan las consecuencias fisiológicas del blanqueo del coral, que ya ha causado daños en arrecifes coralinos alrededor del mundo que persistirán por largo tiempo.

### Blanqueo del Coral

Como muchos corales viven cerca de su límite superior de tolerancia a la temperatura del agua, el aumento de la temperatura de la superficie del mar constituye un serio riesgo para los ecosistemas de los arrecifes. Aunque a menor velocidad que la temperatura de la atmósfera, el contenido global promedio de calor en los océanos está aumentando<sup>5</sup>. El incremento observado en la frecuencia, persistencia e intensidad de los episodios cálidos de El Niño-Oscilación Austral (ENSO) representa un riesgo adicional para las regiones afectadas. Además, los océanos representan un sumidero importante para el dióxido de carbono atmosférico. Al aumentar el dióxido de carbono disuelto, aumenta también la acidez del agua, lo provoca la disminución de la concentración de iones carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) y a su vez la del



5. IPCC, 2001, GT1, op. cit., Resumen para responsables de políticas.



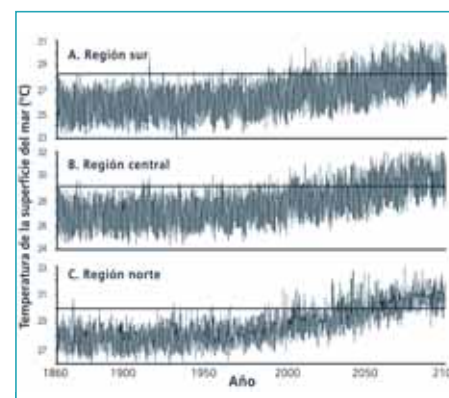
La Gran Barrera es el mayor ecosistema de arrecifes de coral en el mundo.

nivel de saturación del  $\text{CaCO}_3$ . En consecuencia, los corales tienden a crecer más lentamente o a tener exoesqueletos más débiles. Según el IPCC, el incremento de la temperatura de la superficie del mar y del  $\text{CO}_2$  disuelto serán los riesgos más serios que enfrentarán los arrecifes de coral durante el siglo XXI<sup>6</sup>.

Como respuesta a cambios abruptos en temperatura, luminosidad, salinidad o turbidez del agua, los corales tienden a blanquearse. La intensidad de su color palidece debido a la falta de algas simbióticas, proveedoras esenciales de nutrientes. Este blanqueo puede ocurrir a escala local (algunos cientos de metros), pero se han comenzado a registrar eventos masivos, que afectan miles de kilómetros cuadrados de arrecifes, desconocidos en la literatura científica antes de 1979<sup>7</sup>. Los eventos de blanqueo masivo ocurren cuando la temperatura de la superficie del mar excede los máximos estacionales de  $1,5^\circ\text{C}$  a  $2^\circ\text{C}$ . Si las anomalías de temperatura alcanzan los  $3^\circ\text{C}$  durante varios meses, el coral muere<sup>8</sup>. Después de un evento moderado, cuando las condiciones ambientales vuelven a la normalidad, los arrecifes pueden recuperarse y los efectos del blanqueo son frecuentemente temporarios, sin embargo, a menudo los corales que sobreviven sufren dificultades de crecimiento y ven reducida su capacidad reproductiva<sup>9</sup>.

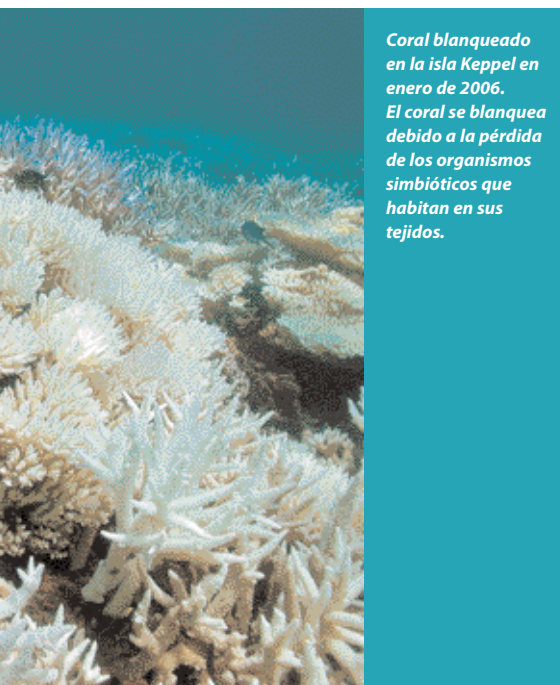
Las temperaturas en la superficie de la laguna de la Gran Barrera medidas durante el siglo

pasado muestran una tendencia positiva de aproximadamente  $1^\circ\text{C}$ , lo que las sitúa en una posición similar a aquellas reportadas en otras regiones tropicales. La tasa de calentamiento ha aumentado a lo largo de los últimos 30 años de modo que el año 1998 fue el más cálido en 95 años de datos instrumentales. Hoy en día se cree que la tasa actual de calentamiento es



Tendencias de la temperatura de la superficie del mar en la región de la Gran Barrera generadas por un modelo global acoplado del sistema atmósfera-océano-hielo (ECHAM4/OPYC3) forzado por el calentamiento producto del efecto invernadero correspondiente al escenario IS92a del IPCC. Las líneas horizontales indican los umbrales térmicos de los corales en cada sitio (O. Hoegh-Guldberg, 1999)\*.

\* O. Hoegh-Guldberg, 1999, *Climate change, Coral Bleaching and the Future of the World's Coral Reefs*, Marine and Freshwater Research, 50, págs. 839-866.



Coral blanqueado en la isla Keppel en enero de 2006. El coral se blanquea debido a la pérdida de los organismos simbióticos que habitan en sus tejidos.

6. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Sección 6.4.5.  
 7. O. Hoegh-Guldberg, 2003, *Coral Reefs, Thermal Limits and Climate Change*, en M. Howden, L. Hughes, M. Dunlop, I. Zethoven, D. Hilbert y C. Chilcott, *Climate Change Impacts On Biodiversity*, in Australia, Resultados de un taller financiado por el "Biological Diversity Advisory Committee", 1-2 de octubre de 2002, Canberra, Australia.  
 8. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Sección 6.4.5.  
 9. A.H. Baird y P. Marshall, 2002, *Mortality, Growth and Reproduction in Scleractinian Corals Following Bleaching on the Great Barrier Reef*, Mar. Ecol. Prog. Ser., 237, págs.133-141.



superior a un grado por siglo<sup>10</sup>. La consecuencia de este cambio ambiental es una drástica reducción de los hábitats adecuados para los arrecifes de coral en la región<sup>11</sup>.

Además, las oscilaciones en la temperatura de la superficie del mar asociadas con el fenómeno de El Niño tienen un impacto en esta tendencia positiva. El Niño es parte de la variabilidad natural del clima, pero de acuerdo con el IPCC, la frecuencia, persistencia e intensidad de los episodios cálidos de la oscilación están aumentando<sup>12</sup>.

En 1998, el calentamiento estival regional inducido por El Niño combinado con la tendencia positiva global causaron que la temperatura de la superficie del mar superara los umbrales de blanqueo<sup>13</sup>. Cerca del 65% de los arrecifes interiores sufrió niveles altos (más de 10%) de blanqueo de coral, y en el 25% se registraron niveles extremos (más de 70%). En alta mar, alrededor del 14% de los arrecifes fue afectado por blanqueos severos. Por fortuna, la mayoría de los corales de la Gran Barrera ha sobrevivido esta vez. Sin embargo, en algunos lugares más del 50% de los corales murió<sup>14</sup>. El incremento de la temperatura de la superficie del mar asociado con la fase positiva de ENSO está lejos de estar limitado a la Gran Barrera: se estima que el 16% de todos los corales del mundo murió en 1998, y en algunas áreas como el Océano Índico Occidental, esta proporción alcanzó a más de la mitad<sup>15</sup>.

La escala de tiempo estimada para la recuperación de un arrecife luego de un evento severo de mortalidad inducido por el blanqueo es de 10 a 30 años. Por lo tanto el conocimiento de la frecuencia e intensidad de este tipo de eventos es crucial.

En este contexto debe tenerse en cuenta que el evento de 1998 fue seguido, casi de inmediato, en 2002, del mayor evento de blanqueo del que se tenga registro en la Gran Barrera<sup>16</sup>. Dos períodos de varias semanas de tiempo caluroso condujeron a una anomalía cálida respecto de la media estacional de la temperatura del agua de varios grados centígrados. Inspecciones aéreas realizadas en marzo y abril



La Gran Barrera.

de 2002 revelaron un 60% de blanqueo en los arrecifes observados.

De acuerdo a las proyecciones de los modelos, el calentamiento en la región de la Gran Barrera se ubicaría en el rango de 2°C a 5°C para el año 2100. La consecuencia más probable es el aumento de la frecuencia de eventos masivos de blanqueo, con mortalidades generalizadas de corales en las costas australianas en las próximas décadas<sup>17</sup>. Las proyecciones actuales indican que la frecuencia de eventos de blanqueo crece a razón de 1,6% por década. Los arrecifes de coral enfrentarán temperaturas por sobre el umbral de blanqueo todos los años antes del fin del siglo XXI, incluso considerando los escenarios más optimistas<sup>18</sup>.

Adaptación y aclimatación son las dos principales maneras que tiene la biota marina de responder a los cambios de temperatura. Las especies marinas se aclimatan cambiando su fisiología para volverse más tolerantes a las altas temperaturas. El concepto de adaptación corresponde a la selección de las especies más robustas, mientras que para otras se vuelve imposible sobrevivir o reproducirse. La ocurrencia de adaptación o aclimatación depende

10. J.M. Lough, 1999, *Sea Surface Temperatures on the Great Barrier Reef: A Contribution to the Study of Coral Bleaching, Reporte final*. Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera.

11. J.M. Guinotte, R.W. Buddemeier y J.A. Kleypas, 2003, *Future Coral Reef Habitat Marginality: Temporal and Spatial Effects of Climate Change in the Pacific Basin*, *Coral Reefs*, 22, págs.551-558.

12. IPCC, 2001, *GT1*, op. cit., *Resumen para responsables de políticas*.

13. IPCC, 2001, *GT2*, op. cit., Sección 12.4.7.

14. O. Hoegh-Guldberg, 1999, *Climate change, Coral Bleaching and the Future of the World's Coral Reefs*, *Marine and Freshwater Research*, 50, págs.839-866.

15. C. Wilkinson, (ed.), *Status of Coral Reefs of the World 2004*, Instituto Australiano de Ciencias Marinas, Australia.

16. *The State of the Great Barrier Reef On-line*, Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera, [http://www.gbrmpa.gov.au/corp\\_site/info\\_services/publications/sot](http://www.gbrmpa.gov.au/corp_site/info_services/publications/sot)

17. IPCC, 2001, *GT2*, op. cit., Sección 12.4.7.

18. O. Hoegh-Guldberg, 1999, op. cit.

## Consecuencias para la biodiversidad marina

fuertemente de las escalas de tiempo de los cambios previstos. El tiempo requerido para aclimatación es del orden de días, pero la adaptación es mucho más lenta.

En lo que concierne a la Gran Barrera, la tolerancia a la temperatura de los arrecifes de coral varía geográficamente<sup>19</sup>. El umbral aparente de blanqueo de coral es más alto en la parte norte de la Barrera. Esta variabilidad latitudinal sugiere que de alguna manera ya ha habido una adaptación a largo plazo a través de la

Los arrecifes de coral tienen un papel significativo en los ecosistemas. Son el hábitat primario para cientos de miles de peces y otros organismos, y fuente producción primaria en aguas tropicales que de otro modo serían pobres en nutrientes. A veces los niveles de productividad son varios miles de veces mayores dentro de los arrecifes que en el mar abierto circundante<sup>22</sup>. Este alto nivel de productividad hace de los arrecifes un elemento fundamental en la cadena trófica de las áreas tropicales.

La predicción de las consecuencias del blanqueo de coral en los ecosistemas de los arrecifes, que pueden ser positivas o negativas para la biodiversidad marina, no es una tarea fácil. Para la mayoría de los organismos del arrecife no directamente ligados con las colonias coralinas, el resultado del blanqueo es muy difícil de predecir. Como regla general, cuanto más frecuentes sean los eventos de blanqueo, menos atractivo será el arrecife, pero la diversidad de algunos grupos marinos y la abundancia de invertebrados podría aumentar en el corto plazo, al volverse disponibles hábitats nuevos<sup>23</sup>. Después del gran evento de blanqueo de 1998 que mató al 88% de los corales de los arrecifes de Tanzania, la diversidad de peces pareció no verse afectada y la cantidad de peces creció en un 39%, a causa de la abundancia de herbívoros debida a la mayor disponibilidad de micro algas<sup>24</sup>. De todos modos, las observaciones son muy limitadas en el espacio y válidas solamente a corto plazo y para el tiempo presente. A largo plazo, el blanqueo

selección de especies simbióticas más tolerantes al calor a partir de eventos previos de blanqueo<sup>20</sup>. Sin embargo, la escala temporal de tal evolución de los arrecifes de coral está lejos de ser compatible con las escalas temporales actuales de aumento de la temperatura de la superficie del mar. Campañas de medida muestran que las colonias coralinas están tan cerca de sus límites termales como lo estaban a principios de la década del 80, lo que sugiere que en el pasado reciente no ha habido ni aclimatación ni adaptación en absoluto<sup>21</sup>.

reduciría las tasas reproductivas de los corales, su desarrollo y su calcificación, resultando en una degradación generalizada del hábitat del arrecife, por lo que se esperan efectos sustanciales en la reducción de la productividad de todo el ecosistema. En muchos casos, las especies de peces son dependientes del coral (sólo se alimentan y reproducen alrededor del arrecife) y desaparecen rápidamente después de la destrucción de éste<sup>25</sup>. Por ende los resultados de la pesca se verán reducidos, con consecuencias dramáticas para la biodiversidad de la región y para las poblaciones que de ella dependen<sup>26</sup>.

Los corales que construyen los arrecifes proporcionan la mayor parte de su producción primaria, además de un importante refugio para los organismos que en ellos habitan. Al reducirse la abundancia y la diversidad de corales constructores de arrecifes, es altamente probable que la biodiversidad circundante se vea muy afectada. La producción de las reservas de pesca tropicales está disminuyendo en todo el mundo y es claro que las condiciones pueden volverse críticas para las poblaciones locales, frecuentemente pobres. Aunque se han reportado muy pocos estudios sobre las consecuencias a largo plazo del blanqueo de coral en los organismos que viven en los arrecifes, se ha podido establecer una correlación entre la variabilidad de El Niño y las condiciones negativas para tortugas, aves y mamíferos marinos<sup>27</sup>.

19. O. Hoegh-Guldberg, 1999, op. cit.

20. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Sección 12.4.7.

21. O. Hoegh-Guldberg, 1999, op. cit.

22. *Ibid.*

23. S.L. Coles, 2001, *Coral Bleaching: What Do We Know And What Can We Do?* en R.V. Salm, y S.L. Coles, (eds.), 2001, *Coral Bleaching and Marine Protected Areas*, Actas del taller "Mitigating Coral Bleaching Impact Through Marine Protected Areas Design", Bishop Museum, Honolulu, Hawaii, 29-31 de mayo de 2001, Asia Pacific Coastal Marine Program Report # 0102, The Nature Conservancy, Honolulu, Hawaii, Estados Unidos. 118 págs. <http://conserveonline.org/docs/2001/10/CoralBleachingMPAsWorkshop.pdf>

24. U. Lindahl, M.C. Ohman y C.K. Schelten, 2001, *The 1997/1998 Mass Mortality of Corals: Effects on Fish Communities on a Tanzanian Coral Reef*, Marine Pollution Bulletin, 422, págs. 127-131.

25. O. Hoegh-Guldberg, 2004, *Marine Ecosystems and Climate Change*, Chapter 20, en T. Lovejoy y L. Hannah (eds.), *Climate Change and Biodiversity*, Yale University Press, Estados Unidos, 34 págs.

26. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Sección 6.4.5.

27. Hoegh-Guldberg, 1999, op. cit.

## Consecuencias para el turismo



El blanqueo de coral tiene implicaciones para la industria turística en el Parque Marino de la Gran Barrera<sup>28</sup>. La industria turística marina contribuye de manera esencial a la economía australiana. El turismo es la principal actividad comercial en la región de la Gran Barrera, que atrae aproximadamente 1,8 millones de visitantes por año y genera más de 5,1 miles de millones de dólares australianos. En 2005 había aproximadamente 820 operadores turísticos autorizados y 1.500 barcos y aviones tenían permiso para operar en el parque.

Muchos turistas visitan los arrecifes más cercanos a la costa, a los que se puede llegar en menos de dos horas de navegación. Estos se hallan en aguas relativamente poco profundas, y por lo tanto potencialmente más expuestas a

los impactos del cambio climático<sup>29</sup>. Además, están más expuestas a la polución proveniente de la descarga de los ríos en áreas costeras. En el contexto del cambio climático, se espera que las crecidas sean menos frecuentes pero más intensas<sup>30</sup>, aumentando tanto la carga de sedimentos y nutrientes como la penetración de las aguas fluviales en el arrecife<sup>31</sup>.

El cambio climático en la Gran Barrera tendría consecuencias directas en la economía local. Pero este riesgo es real para otros arrecifes: se ha estimado que el costo de la desaparición del 58% de los arrecifes coralinos del mundo podría llegar a 90 mil millones de dólares de los Estados Unidos sólo para la industria del turismo<sup>32</sup>.

## Otras amenazas

**A escala global, hasta el 58% de los arrecifes de coral se considera expuesto a riesgos naturales excepcionales (tormentas o ciclones) y a aquellos provenientes de actividades humanas como desarrollo industrial y polución, turismo y urbanización, agricultura y fertilizantes, aguas contaminadas, incremento de los sedimentos, pesca excesiva, minas de coral, reclamos territoriales, caza y enfermedades<sup>33</sup>.**

En la Gran Barrera, otros peligros además del cambio climático amenazan la conservación del arrecife. La eutroficación (enriquecimiento de las aguas) antropogénica ligada a la descarga de aguas de escorrentía cargadas de sólidos suspendidos, herbicidas, pesticidas, nutrientes, etc. puede tener un efecto sobre el arrecife<sup>34</sup>. Ciertos estudios en la laguna de la Gran Barrera indican que en los últimos 65 años han ocurrido aumentos significativos en la concentración de fitoplancton.

El aumento del uso de la Gran Barrera puede verse como una amenaza debido a la consecuente descarga de detritus, los daños físicos

al arrecife producidos por las anclas, los buceadores y su contacto con los corales, la perturbación de la fauna de las islas (especialmente aves) y la pesca o colecta excesivas. Estas amenazas se extienden hoy en día a todo el área del Patrimonio Mundial de la Gran Barrera a causa de la presencia de lanchas rápidas que permiten el acceso a casi el 80% del parque en excursiones de un día<sup>35</sup>. Sin embargo el turismo está particularmente bien controlado a través de un sistema de permisos. Por ello, aunque algunos sitios estén en peligro, el turismo y las actividades recreativas no producen un daño significativo a la Gran Barrera a la escala ecológica.

28. H. Hoegh-Guldberg and O. Hoegh-Guldberg, 2004, *Biological, Economic and Social Impacts of Climate Change on the Great Barrier Reef*, WWF, 318 págs.  
29. S. Crimp, J. Balston, A. Ash, L. Anderson-Berry, T. Done, R. Greiner, D. Hilbert, M. Howden, R. Jones, C. Stokes, N. Stoeckl, B. Sutherst y P. Whetton, 2004, *Climate Change in the Cairns and Great Barrier Reef Region: Scope and Focus for an Integrated Assessment*, Australian Greenhouse Office, Australia. <http://www.greenhouse.gov.au/impacts/publications/pubs/gbr.pdf>  
30. CSIRO, 2001: *Climate Change Projections for Australia*, CSIRO Atmospheric Research, 8 págs.  
31. B. King, M. Zapata, F. McAllister y T. Done, 2002, *Modelling the Distribution of River Plumes on the Central and Northern Great Barrier Reef Shelf*, CD interactivo y Reporte Técnico No.44, Cooperative Research Centre for the Great Barrier Reef World Heritage Area, Asia-Pacific Applied Science Associates y Australian Institute of Marine Science, <http://www.reef.crc.org.au/discover/threats/king10rivers/index.html>  
32. D. Bryant, L. Burke, J. McManus, and M. Spalding, 1998, *Reefs at Risk: a Map-Based Indicator of Threats to the World's Coral Reefs*. World Resources Institute, Washington, D.C. Estados Unidos.  
33. IPCC, 2001, *GT2*, op. cit., Sección 6.4.5.  
34. P.R.F Bell, and I. Elmetri, 1995, *Ecological Indicators of Large-Scale Eutrophication in the Great Barrier Reef Lagoon*, *Ambio*, XXIV (4), 208-15.  
35. S. Hillman, 1996, *The State of the Great Barrier Reef World Heritage Area*, Report, Reef Research, 6(1).

## Soluciones Posibles

Existen varias acciones que pueden ejecutarse para ayudar a los arrecifes coralinos a soportar el cambio climático<sup>36</sup>. Para comprender mejor y responder a los peligros asociados, en la Gran Barrera se desarrolló un programa de respuesta al cambio climático (2004-2008). Los resultados claves de este programa, financiado conjuntamente por la Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera y el Organismo Australiano del Efecto Invernadero, incluyen un plan de respuesta al blanqueo de coral y un plan de acción contra el cambio climático.

El objetivo del plan de respuesta al blanqueo de coral es detectar y medir el blanqueo y otros impactos a corto y a largo plazo (utilizando imágenes de satélite, mediciones subacuáticas y observaciones directas) y ha recibido el reconocimiento internacional (fue adoptado por los Cayos de La Florida e Indonesia, por ejemplo). El objetivo del plan de acción contra el cambio climático es de sostener ecosistemas, industrias y comunidades identificando e implementando acciones de gestión relevantes, adaptando políticas y favoreciendo las colaboraciones. Una evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático se encuentra en ejecución, y permitirá un análisis completo de sus impactos, observados y proyectados en el sistema social y ecológico de la Gran Barrera.

La resistencia de los arrecifes de coral al cambio climático puede mejorarse significativamente reduciendo los efectos de otras amenazas al ecosistema. Arrecifes debilitados por otros riesgos (como la calidad del agua, la abundancia de herbívoros, y la accesibilidad a las fuentes de larvas de coral) pueden ser más susceptibles al blanqueo, sobrevivir menos y recuperarse más lentamente. Para maximizar la resistencia de la Gran Barrera a futuras presiones externas como el cambio climático, se han desarrollado iniciativas como un plan de protección de la calidad del agua del arrecife, varios planes de gestión de la pesca y el programa de zonas representativas<sup>37</sup>. En 2004

la Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera aumentó el porcentaje de áreas prohibidas para la colecta de 5% a 33% para mejorar la resistencia del parque, protegiendo regiones de biodiversidad única, incluyendo áreas cruciales para los peces y otros organismos. El gobierno australiano trabaja a la par del gobierno de Queensland en el plan de protección de la calidad del agua del arrecife, cuyo objetivo es detener y revertir la disminución de la calidad del agua que entra en el parque marino para 2013. La Autoridad del Parque Marino también trabaja con los pescadores para asegurar el uso ecológicamente sustentable de los recursos en el predio del parque.

Estas acciones de gestión en proceso de implementación han sido reconocidas como las mejores prácticas a nivel mundial y el sitio ha experimentado impactos del blanqueo relativamente bajos hasta la fecha, aunque futuros eventos serán inevitables. El desafío mayor es aumentar la resistencia del sistema ecológico de la Gran Barrera de Coral, incorporando especies, hábitats y procesos, haciendo participar a los industriales y a las comunidades de la región que dependen del arrecife. Esto requerirá la continuidad y profundización de los actuales esfuerzos de gestión, la cooperación entre agencias gubernamentales y colaboraciones activas con los actores pertinentes y los miembros de la comunidad<sup>38</sup>.

36. P.A. Marshal, y H.Z. Schuttenberg, 2006, *A Reef Manager's Guide to Coral Bleaching*. Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera. Townsville, Australia.

37. Natural Resource Management Ministerial Council, 2004, *National Biodiversity and Climate Change Action Plan 2004-2007*, Gobierno Australiano, Department of the Environment and Heritage, Canberra, Australia, <http://www.deh.gov.au/biodiversity/publications/nbccap/index.html>.

38. P.A. Marshal y H.Z. Schuttenberg, (2006), *Adapting Coral Reef Management in the Face of Climate Change*. En J.T. Phinney, A. Strong, W. Skrivning, J. Kleypas y O. Hoegh-Guldberg (eds.), *Coral Reefs and Climate Change: Science and Management* (pág. 244). American Geophysical Union Coastal and Estuarine Series, Volumen 63.



# Sundarbans

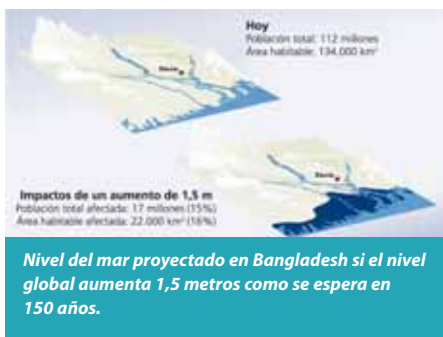
India, Bangladesh



**El manglar de los Sundarbans, el más grande de su tipo en el mundo (más de 10.000 km<sup>2</sup> de tierra y agua, más de la mitad situado en India, el resto en Bangladesh), se ubica entre el delta de los ríos Ganges, Brahmaputra y Meghna en la bahía de Bengala. El sitio está atravesado por una compleja red de brazos de agua, estanques y pequeñas islas con bosques de mangles.**

Los mangles son árboles de hojas perennes adaptados al agua salada. Sólo crecen en las zonas litorales influenciadas por las mareas en los países tropicales y se extienden hacia el interior a lo largo de los estuarios. Los manglares funcionan como protecciones naturales contra ciclones tropicales y como filtro entre las aguas dulces y saladas, además de constituir un ambiente ideal para el crecimiento de varias especies de peces y de invertebrados marinos.

El manglar de los Sundarbans es famoso por su biodiversidad, que incluye 260 especies de aves, nutrias indias, ciervos moteados, jabalíes salvajes, cangrejos violinistas y de los manglares, tres especies de lagartos marinos y cinco de tortugas marinas. Pero también alberga especies amenazadas de extinción como el cocodrilo de los estuarios, la pitón india y el simbólico tigre de Bengala. Por estas razones, el Parque Nacional de Sundarbans en India y la parte bangladesí de los Sundarbans fueron agregados a la Lista del Patrimonio Mundial en 1987 y 1997, respectivamente.



De acuerdo con el IPCC, el aumento del nivel del mar es el mayor peligro y a la vez el mayor desafío para un desarrollo sustentable en el sur y el sureste de Asia<sup>39</sup>. Las consecuencias de esta elevación provocan serias preocupaciones por el bienestar de las poblaciones locales debido a las inundaciones de los deltas bajos, la erosión de la costa, la salinización y acidificación del suelo y las modificaciones en las napas acuíferas.

Además del aumento global del nivel del mar (o más precisamente elevación eustática, o sea el cambio en el nivel global promedio provo-

cado por la alteración del volumen total del océano), los Sundarbans sufren una subsidencia natural<sup>40</sup>, lo cual provoca un aumento del nivel del mar de alrededor de 2,2 mm por año. El aumento resultante del nivel del mar es de 3,1 mm por año en Sagar.

Otros factores exteriores de presión\*, no directamente relacionados con el cambio climático, incluyen el trasvase río arriba del flujo de agua dulce del Ganges, a causa de la represa de Farraka en India, construida en 1974 para morigerar la acumulación de sedimentos en el puerto de Calcuta. El trasvase debido a esta represa redujo el flujo durante la estación seca en un 40%<sup>41,42</sup>.

La acción conjunta del aumento del nivel del mar, del incremento de la evapotranspiración y de la disminución del flujo de agua dulce fluvial en invierno, tendrá como consecuencia un incremento en la salinidad en el área, poniendo en peligro la conservación de los manglares<sup>43</sup>. En los Sundarbans, como en muchas áreas protegidas alrededor del mundo, la conservación se ve amenazada por varios factores externos y como ya se ha

39. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Sección 11.3.2.4.

40. P. Sanyal, 2002, *Sea-Level Rise and Sundarban Mangrove*, en G. Quadros, (ed.), Proceedings of the National Seminar on Creeks, Estuaries and Mangroves – Pollution and Conservation, 28-30 de noviembre de 2002, Thane, India, págs. 47-50.

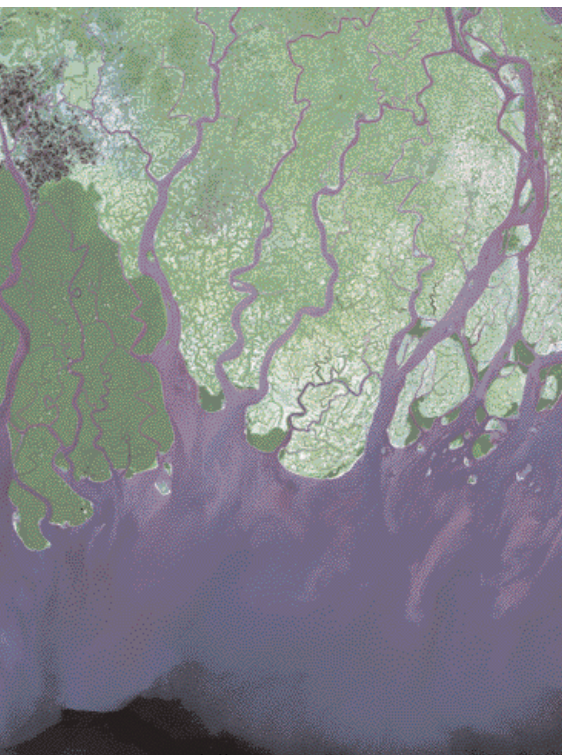
41. Informes de evaluación para los sitios del Patrimonio Mundial no 452 (1987) y no 798 (1997), [http://whc.unesco.org/archive/advisory\\_body\\_evaluation/452.pdf](http://whc.unesco.org/archive/advisory_body_evaluation/452.pdf), [http://whc.unesco.org/archive/advisory\\_body\\_evaluation/798.pdf](http://whc.unesco.org/archive/advisory_body_evaluation/798.pdf)

42. J.C. Pernetta, (ed.), 1993, *Marine Protected Area Needs in the South Asian Seas Region*, Vol. 2, India, A Marine Conservation and Development Report, UICN, Gland, Suiza, vii+ 77 págs., [http://www.uicn.org/themes/marine/pdf/mpan\\_v2.pdf](http://www.uicn.org/themes/marine/pdf/mpan_v2.pdf)

43. S. Huq, A. Rahman, M. Konate, Y. Sokona y H. Reid, 2003, *Mainstreaming Adaptation to Climate Change in least-developed countries (LDCs)*, International Institute for Environment and Development, 40 págs., <http://www.iied.org/pubs/pdf/full/9219IIED.pdf>



Los manglares están formados de árboles adaptados al agua salada que actúan como barrera protectora contra huracanes tropicales, como filtro de las aguas del río y del estuario, y como hábitat de muchas especies de invertebrados marinos y de peces. El bosque de mangles de los Sundarbans uno de los más extensos del mundo.



El delta del río Ganges cubierto por los manglares de los Sundarbans.

mencionado, el cambio climático debería ser considerado solamente como un peligro entre otros. La suma de estos factores podría conducir, en el caso de un aumento global del nivel del mar de 45 cm, a la destrucción del 75% de los manglares de los Sundarbans<sup>44</sup>.

El daño a los manglares de los Sundarbans podría disminuir su capacidad de protección natural contra los ciclones. La bahía de Bengala se ve largamente afectada por las tormentas tropicales: cerca del 10% de todos los ciclones tropicales del mundo ocurren en el área y el 17% de ellos toca tierra en Bangladesh<sup>45</sup>. Sin importar la frecuencia o intensidad del cambio en los regímenes de ciclones debido a perturbaciones en el clima, la exposición de la región a los efectos devastadores de las tormentas será mayor en el futuro si los manglares ni pueden ser exitosamente conservados<sup>46</sup>.

El aumento del nivel del mar es un proceso que no puede ser evitado mediante estrategias locales. Sin embargo, las medidas siguientes

podrían ayudar a incrementar la capacidad de adaptación de los manglares de los Sundarbans contra sus efectos adversos:

- conservación de los manglares restantes mediante áreas protegidas;
- restauración o rehabilitación de los manglares replantando especies seleccionadas de manglares, por ejemplo a lo largo de los brazos de agua en los territorios en disputa (llevado a la práctica con éxito en Sagar Island)<sup>47,48</sup>.

Tales medidas tienen tanto sentido ecológico como económico. Un proyecto del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP) ha evaluado el costo de construir 2.200 km de obras de protección de las costas contra tormentas e inundaciones, que proporcionarían el mismo nivel de protección que los manglares de los Sundarbans. La inversión de capital ha sido estimada en 294 millones de dólares con un presupuesto de mantenimiento de 6 millones de dólares<sup>49</sup>, mucho más de lo que se gasta actualmente en conservación de los bosques de manglares en el área.

\* El Gobierno de India hace saber su desacuerdo con esta afirmación sobre la base de los resultados de un estudio científico que estarán disponibles en el futuro.

44. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Sección 19.3.3.5.

45. L.J. Hansen, J.L. Biringer, J.R. Hoffmann, (eds.), 2003, Buying Time: A User's Manual for Building Resistance and Resilience to Climate Change in Natural Systems, WWF, 246 págs., [http://assets.panda.org/downloads/buyingtime\\_unfe.pdf](http://assets.panda.org/downloads/buyingtime_unfe.pdf)

46. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Sección 11.2.4.5.

47. Sanyal, 2002, op. cit.

48. S. Saha y A. Choudhury, 1995, Vegetation Analysis of Restored and Natural Mangrove Forest in Sagar Island, Sundarbans, East Coast of India, Indian Journal of Marine Sciences, 24(3), págs. 133-136.

49. UNDP, FAO, Gobierno de Bangladesh, 1995, Integrated Resource Development of the Sundarbans Reserved Forest, Draft Report, Vol. 1.

# 2 Parque Nacional de Komodo

Indonesia

38

El Parque Nacional de Komodo fue inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial en 1991. En él, pendientes accidentadas de sabana árida y bolsones de arbustos espinosos contrastan con playas de arena rosada brillante y aguas azules que acarician los corales. Además de ser un sitio de belleza natural excepcional en que se hallan algunos de los arrecifes de coral más diversos del mundo, el Parque Nacional de Komodo es famoso por ser el último reducto del mayor lagarto del mundo, el dragón de Komodo (*Varanus komodoensis*), que no existe en ningún otro lugar en el mundo y es también de gran interés para los científicos.

El cambio climático pone en peligro varias características de este sitio. El aumento del CO<sub>2</sub> disuelto y de la temperatura del mar amenazan a los arrecifes de coral. El aumento del nivel del mar puede afectar a las playas que las tortugas usan para desovar, y cambios en la temperatura de la atmósfera pueden afectar la eclosión de sus huevos. Además, el aumento del nivel del mar podría amenazar la conservación de los manglares si éstos carecieran de espacio para reubicarse al desplazarse la línea costera. Respecto del dragón de Komodo, hasta ahora ninguna evidencia sugiere posibles impactos del cambio climático en su población endémica.

El aumento de la temperatura de la superficie del mar provoca el blanqueo y el aumento de la mortalidad de los pólipos de coral, lo que posiblemente conduzca a la pérdida de diversidad biológica y de los servicios que brinda el ecosistema (protección costera, pesca, turismo). Además, el incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> afecta las concentraciones de ácido carbónico y de ion bicarbonato en el océano, lo que acarrea un descenso en la concentración de ion carbonato necesario para la

calcificación del coral<sup>50</sup>, resultando en esqueletos más débiles, disminuyendo la tasa de crecimiento, su capacidad para competir por el espacio del arrecife e incrementando su sensibilidad a la erosión biológica y a la ruptura. En 1998-99 ocurrió un blanqueo masivo debido al

aumento de la temperatura, aunque este evento se mantuvo confinado a la parte norte del parque, donde las corrientes son más débiles y la transferencia de temperatura a lo largo de la columna de agua es mínima.



50. C. Langdon, 2003, *Review of Experimental Evidence for Effects of CO<sub>2</sub> on Calcification of Reef Builders*, Proceedings of the 9th International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia, 23-27 October 2000, Vol.2, págs. 1091-1098.





El Parque Nacional de Komodo es famoso por ser el último hábitat que resta del mayor lagarto del mundo (el dragón de Komodo). También alberga algunos de los arrecifes de coral más diversos del mundo, además de manglares y playas elegidas por las tortugas para su reproducción. Esta vista aérea de Pulau Sebayor (al norte del Parque Nacional de Komodo) muestra una variedad de hábitats costeros y marinos (arrecifes, praderas submarinas, manglares, canales y playas).

La resistencia de los arrecifes de coral en el Parque Nacional de Komodo puede ser significativamente aumentada fomentando el respeto por las zonas de pesca prohibida ya establecidas. Estas zonas protegidas aseguran la buena salud de la población de peces, incluyendo especies herbívoras como el pez cirujano o el pez loro, quienes ayudan a mantener bajo control la población de macro algas luego de eventos de blanqueo masivo. Los peces herbívoros favorecen el restablecimiento del arrecife equilibrando la competencia entre corales y algas en favor de los primeros. Un programa específico de vigilancia de los corales debería ser implementado, incluyendo indica-

dores asociados a los blanqueos masivos para mejorar nuestro conocimiento de este fenómeno.

El aumento de la temperatura afectará a las tortugas de mar ya que la temperatura a la que los huevos son incubados influye en el sexo de los nuevos individuos. Las temperaturas altas modifican la proporción de sexos haciendo que predominen las hembras<sup>51,52</sup>. Una proporción mayor de hembras podría favorecer la fertilidad de la especie, pero este efecto podría ser compensado por la

falta de playas para desovar debido al aumento del nivel del mar. El resultado final de los efectos combinados del aumento del nivel del mar y de la temperatura es incierto.

Considerando las incertezas respecto del impacto del cambio climático en la población de tortugas de mar, las decisiones de gestión deben aumentar su probabilidad de supervivencia concentrándose en la mitigación de otras amenazas, como los jabalíes salvajes, los dragones de Komodo y la colecta furtiva de individuos y huevos. Además, la vigilancia de los rangos de temperatura de incubación y de las tendencias en la proporción de natalidad serán de utilidad para clarificar los efectos del cambio climático sobre estos quelonios. Un programa estudio de este tipo es una actividad a largo plazo, debido a los dilatados ciclos vitales de las tortugas.

Considerando la amenaza del aumento del nivel del mar<sup>53</sup>, la morfología de las playas utilizadas por las tortugas para desovar y del terreno circundante debería ser utilizada para describir su vulnerabilidad respecto de inundaciones y erosión. Los huevos depositados en playas sujetas a la erosión o fácilmente inundables podrían ser desplazados y reubicados en playas más estables. Esta tarea debe ser regulada por estrictos estándares y detallados protocolos que describan cuándo y cómo intervenir.

El incremento del nivel del mar es la amenaza más significativa causada por el cambio climático a los manglares, causante de inundaciones, erosión y destrucción. Los manglares ubicados en la frontera entre el mar y terrenos altos, que típicamente sufren de la falta de sedimentos ferrosos, están más expuestos al daño causado por la erosión y las inundaciones que aquellos basados en zonas costeras bajas y planas. Estos últimos reciben un mayor flujo de sedimentos tanto fluviales como marinos y cuentan con el espacio para expandirse tierra adentro si el nivel del mar aumenta. De manera similar, los manglares en islas bajas pueden ser inundados rápidamente ya que no cuentan ni con espacio para desplazarse ni con fuentes de sedimentos para asegurar su base de sustentación.

La elaboración de una cartografía detallada de la extensión y distribución de manglares respecto de la topografía local facilitará la evaluación de posibles impactos del aumento del nivel del mar. Los manglares vecinos por su flanco terrestre a playas de arena o terrenos bajos deben recibir mayor protección para evitar la ocupación del territorio, la explotación de la madera o cualquier interferencia con la hidrología del área. La expansión tierra adentro de este tipo de manglares debe ser vigilada como parte de un programa general que también incluya a aquellos que limitan con tierras altas para comprender sus reacciones al aumento del nivel del mar.

Un buceador encuentra un abanico de mar gigante de casi cuatro metros de ancho. Este arrecife de coral alberga a muchos peces e invertebrados, un verdadero universo en miniatura. Un programa especializado de observación en el Parque Nacional de Komodo mejoraría sustancialmente nuestra comprensión de los eventos de blanqueo masivo.

51. R.R. Carthy, A.M. Foley y Y. Matsuzawa, 2003, *Incubation Environment of Loggerhead Turtle Nests: Effects on Hatching Success and Hatchling Characteristics*, en *Loggerhead Sea Turtles*, A.B. Bolten and B.E. Witherington, (eds.), págs. 144–153, Smithsonian Institution, Washington, DC, Estados Unidos.

52. F.J. Janzen, 1994, *Climate Change and Temperature-Dependent Sex Determination in Reptiles*, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 91, págs. 7487–7490.

53. M.R. Fish, I.M. Côté, J.A. Gill, A.P. Jones, S. Renshoff y A.R. Watkinson, 2005, *Predicting the Impact of Sea-Level Rise on Caribbean Sea Turtle Nesting Habitat*, *Conservation Biology*, 19 (2), págs. 482–491, doi: 10.1111/j.1523-1739.2005.00146.x.



# 3

## Biodiversidad Terrestre y Patrimonio Mundial

40

La biodiversidad terrestre se verá afectada por un amplio espectro de cambios geofísicos resultantes del cambio climático: aumento de la temperatura de la atmósfera y de la concentración de CO<sub>2</sub>, cambios en los regímenes de lluvias y ciclos hidrológicos, aumento de la frecuencia de eventos extremos, etc. En latitudes templadas, de acuerdo con los modelos climáticos, está previsto que la primavera llegue con 2 o 3 días de adelanto por década en los próximos años. Durante el siglo XX, un estudio de 1.700 especies biológicas determinó un desplazamiento promedio hacia los polos de 6 km por década<sup>1</sup>. Estos cambios tienen tan profundas implicancias en la biodiversidad del planeta que, según el Convenio sobre la Diversidad Biológica<sup>2</sup>, el cambio climático será una de las principales causas de pérdida de biodiversidad en las próximas décadas.

Se esperan los siguientes impactos del cambio climático sobre la biodiversidad terrestre<sup>3,4</sup>:

- Distribución de las especies. Respuesta de las especies individualistas (incluyendo especies extranjeras invasivas, patógenas y parásitas) a condiciones más cálidas/frías y más secas/húmedas

con posibles migraciones en latitud y altura. Extinción local, regional y global de especies debida a la expansión, contracción o desaparición de sus respectivos hábitats.

- Composición y configuración de las comunidades. Cambios en la abundancia relativa y absoluta de cada especie

1. C. Parmesan and G. Yohe, 2003, A Globally Coherent Fingerprint of Climate Change Impacts Across Natural Systems, *Nature*, 421, págs. 37–42.

2. Declaración del Dr Ahmed Djoghlaif, Secretario Ejecutivo del Convenio sobre la Diversidad Biológica, a la ocasión del "High Level Segment of the 14th session of the Commission on Sustainable Development" el 15 de mayo de 2006, disponible en inglés en <http://www.biodiv.org/doc/speech/2006/sp-2006-05-15-csd14-en.pdf>

3. L. Hannah, G.F. Midgley, T.E. Lovejoy, W.J. Bond, M. Bush, J.C. Lovett, D. Scott y F.I. Woodward, 2002, *Conservation of Biodiversity in a Changing Climate*, *Conservation Biology*, 16, págs. 264-268.

4. L. Hannah, G.F. Midgley y D. Millar, 2002, *Climate Change-Integrated Conservation Strategies*, *Global Ecology and Biogeography*, 11, págs. 485-495.

dentro de una comunidad y formación de comunidades diferentes basadas en nuevas interrelaciones entre especies.

■ **Funcionamiento de los ecosistemas.** Cambios en la fenología (distribución temporal de eventos biológicos tales como la floración), en los ciclos de los nutrientes y en la disponibilidad de recursos naturales como el agua dulce,

en las relaciones predador-presa, parásito-huésped, planta-polinizador y planta-dispersor, en el control de plagas, en la polinización y en la estabilización del suelo.

■ **Perturbación de regímenes.** Cambios en la intensidad, frecuencia y estacionalidad de eventos extremos como incendios forestales, inundaciones y sequías,

y sinergias con el cambio global, incluyendo presiones debidas a modificaciones en el uso humano de la tierra.

■ **Los bienes y servicios provistos por los ecosistemas se verán también modificados, con impactos significativos en la vida de las personas relacionados con actividades socioeconómicas como la agricultura, la pesca y el turismo.**



*Rana dorada panameña*  
América central

## Estudio de caso principal

# 3 Zonas protegidas de la región floral de El Cabo Sudáfrica<sup>5</sup>

La región floral de El Cabo representa menos del 0,5% del área de África pero alberga cerca del 20% de la biodiversidad floral del continente. En este sentido, es una de las áreas más ricas en plantas del mundo. Registra los mayores niveles de endemismo (31,9%) y ha sido designada uno de los 18 lugares con más biodiversidad del mundo. Por sus cualidades únicas se la reconoce como uno de los seis "Reinos Florales" a nivel mundial. En el sitio se pueden observar remarcables procesos ecológicos y biológicos asociados con el bioma *fynbos*, exclusivo de esta región. Las estrategias reproductivas de algunas plantas son únicas, incluyendo sus respuestas adaptativas al fuego o los mecanismos de dispersión de semillas por parte de hormigas y pequeños mamíferos (roedores). La biología de la polinización y el ciclo de nutrientes son también procesos destacables del sitio. La Región floral de El Cabo es un centro de especiación activa en cuya flora se pueden observar interesantes patrones de endemismo y de expansión adaptativa.

## Impactos del cambio climático

La región floral de El Cabo ha experimentado probablemente cambios climáticos suaves, con condiciones predominantes más frías y húmedas durante épocas glaciales, durante al menos los últimos dos millones de años. Esto ha conducido a la persistencia de muchas especies locales raras, de distribución restringida y con capacidades de dispersarse muy limitadas, y también de especies conservadas

que son sensibles al clima, sobre todo en las zonas pantanosas. Además, como resultado de esta relativa estabilidad climática, en la flora y fauna de la región han evolucionado mutualismos altamente especializados<sup>6</sup>.

De acuerdo con la IUCN<sup>7</sup>, experimentos, observaciones y modelos muestran que el cambio climático podría ser el peligro más

significativo que la biodiversidad en la región floral de El Cabo enfrentará en los próximos 50 o 100 años. Los aspectos más amenazantes del cambio climático para la conservación de esta área son (1) la reducción de los hábitats bioclimáticos óptimos por el calentamiento y eventuales sequías, (2) cambios en los ecosistemas como respuesta a modificaciones en las condiciones medioambientales, y (3) incremento de la frecuencia de incendios.

### Cambio climático previsto

Interpolando los resultados obtenidos con modelos climáticos globales de baja resolución espacial y teniendo en cuenta el clima local, la altitud, la topografía y la situación continental, ha sido posible elaborar previsiones climáticas más finas. Este trabajo muestra que para el año 2050 la región floral de El Cabo enfrentará condiciones en general más cálidas y secas con un incremento de las temperaturas medias anuales de alrededor de 1.8 °C en un

escenario de concentraciones de CO<sub>2</sub> duplicadas<sup>8</sup>. Pero en ciertas áreas, todavía el sentido del cambio en las precipitaciones es incierto. El calentamiento y las sequías que se esperan probablemente no tengan precedentes en los últimos 20.000 años y agravarán la ya acuciante falta de agua en la región, además de afectar de varias maneras a la biodiversidad y a los seres humanos.

5. B. Bomhard y G. Midgley, 2005, *Securing Protected Areas in the Face of Global Change: Lessons Learned from the South African Cape Floristic Region, A Report by the Ecosystems, Protected Areas, and People Project*, IUCN (Bangkok) y SANBI (Ciudad del Cabo), [www.iucn.org/themes/wcpa/pubs/theme.htm#climate](http://www.iucn.org/themes/wcpa/pubs/theme.htm#climate)

6. Comunicación de B. Bomhard y G. Midgley durante el Encuentro sobre cambio climático y Patrimonio Mundial en la UNESCO, 16-17 de marzo de 2006, en el documento WHC06-30COM7.1, disponible en inglés en <http://whc.unesco.org/archive/2006/whc06-30com-07.1e.pdf>

7. Informe sobre la previsión y la gestión del impacto del cambio climático en el patrimonio mundial, Documento WHC06-30COM7.1, disponible en inglés en <http://whc.unesco.org/archive/2006/whc06-30com-07.1e.pdf>

8. R.E. Schulze y L.A. Perks, 1999, *Assessment of the Impact of Climate*. Final Report to the South African Country Studies Climate Change Programme, School of Bioresources Engineering and Environmental Hydrology, Universidad de Natal, Pietermaritzburg, Sudáfrica.



**Bioma fynbos en la región floral del Cabo, uno de los polos de biodiversidad mundial, con un nivel de endemismo superior al 30%.**

## Consecuencias sobre la biodiversidad

Como resultado de estos cambios físicos, está previsto que cuatro de cada cinco áreas protegidas en Sudáfrica pierdan entre el 10% y el 40% de sus especies de plantas para el año 2050<sup>9</sup>. Los primeros impactos del cambio climático en la biodiversidad de la región floral de El Cabo ya son visibles y se esperan muchos más.

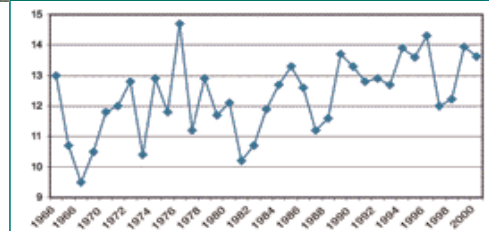
### Aumento global del nivel del mar

Algunas tierras bajas costeras están amenazadas por el aumento del nivel del mar en el área, lo que reducirá aún más las zonas de protección natural que quedan entre el océano y las asentamientos humanos a costa de especies y ecosistemas costeros.

### Especies invasivas

Antes del siglo XX fueron introducidos en la región árboles y arbustos de otros climas de tipo mediterráneo (Australia, California o la cuenca mediterránea). Actualmente la vegetación del 70% de la región floral de El Cabo está clasificada como natural, libre o con una baja densidad de especies forestales invasivas. De esta proporción, alrededor del 20% está en condiciones prístinas, completamente libre de plantas invasivas y con regímenes de fuego adecuados. El resto (alrededor del 30%) ha sido transformado por la agricultura, por la urbanización y por grandes cantidades de plantas invasivas que alteran la provisión de agua y la frecuencia de los incendios.

Está demostrado que cinco importantes representantes de las especies de plantas extranjeras invasivas en Sudáfrica se ven en general menos afectadas por el cambio climático que las especies indígenas<sup>10</sup>. Esto es preocupante, en un área de tan alto nivel de endemismo

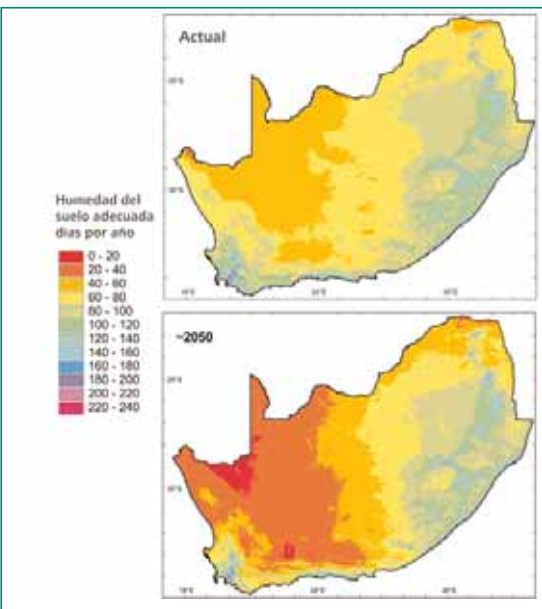


**La serie de temperaturas mínimas observadas en enero en un sitio interior (de Keur, Koue Bokkeveld) en la región floral del Cabo muestra una clara tendencia positiva. (Servicio Meteorológico Sudafricano).**

como la región floral de El Cabo. Sin embargo es difícil representar a estas especies en modelos bioclimáticos para predecir su reacción en general, en parte porque estas especies invasivas han sido introducidas recientemente y no han alcanzado todavía una distribución de equilibrio, que es una hipótesis necesaria en los modelos bioclimáticos.

### Cambio de forma, contracción y desplazamiento de hábitats

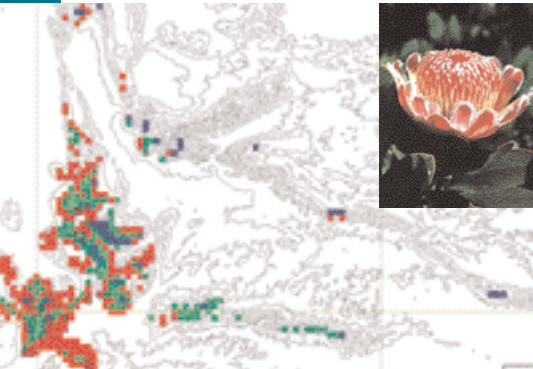
Los cambios que se esperan en la humedad del suelo y las precipitaciones invernales modificarán la distribución de especies. En la región floral de El Cabo, el aspecto hostil de la organización del paisaje puede volverse un obstáculo para la migración de especies como respuesta al cambio climático. En las tierras bajas costeras, fuertemente transformadas y fragmentadas queda poco espacio para ajustes en latitud o altura. Más aún, especies que habitan en la cumbre de las montañas no tendrán donde desplazarse cuando se produzca un aumento de la temperatura, y las especies cuyo hábitat es muy específico serán más afectadas que aquellas con una capacidad de adaptación más elevada. En consecuencia, el cambio climático afectará más a las especies locales raras



**Los efectos previstos del cambio climático en la biodiversidad en Sudáfrica pueden inferirse en estas cartas que muestran el número de días por año actuales y previstos en que tanto la temperatura como la humedad son adecuadas para el crecimiento de las plantas. Las proyecciones tienen en cuenta un aumento equivalente del CO<sub>2</sub> atmosférico del 50% respecto de los valores actuales. (Midgley, 2001)**

9. M.C. Rutherford, L.W. Powrie y R.E. Schulze, 1999, *Climate Change in Conservation Areas of South Africa and its Potential Impact on Floristic Composition: A First Assessment*, Diversity and Distributions, 5, págs. 253-262.  
 10. D.M. Richardson, W.J. Bond, W.R.J. Dean, S.I. Higgins, G.F. Midgley, S.J. Milton, L.W. Powrie, M.C. Rutherford, M.J. Samways y R.E. Schulze, 2000, *Invasive Alien Species and Global Change: A South African Perspective*, en H.A. Mooney y R.J. Hobbs, (eds.), *Invasive Species in a Changing World*, Island Press, Washington DC, Estados Unidos, págs. 303-349.





Las áreas habitables óptimas para la *Protea lacticolor* se desplazarán y contraerán. En la superficie marcada en verde esta simbólica especie persistirá, mientras que en muchas áreas (marcadas en rojo) se extinguirá. (Hannah et al. 2005)\*

\* L.Hannah, G.F. Midgley, G.O. Hughes, B. Bomhard, 2005: The view from the Cape: extinction risk, protected areas, and climate change, *BioScience*, 55, pp. 231-242.

## Consecuencias en la perturbación de regímenes

con hábitats restringidos y con menos capacidad de dispersarse. Se espera que alrededor del 40% de las especies de la región pierdan hasta un tercio del área que ocupan, mientras que sólo el 5% retendrá más de dos tercios.

Los modelos bioclimáticos, teniendo en cuenta tanto los cambios climáticos previstos como las respuestas de la especies biológicas, muestran que el área ocupada por la vegetación del bioma *fynbos* se verá significativamente reducida para 2050 con una pérdida estimada de hasta el 65%<sup>11</sup>. Esta reducción depende de la latitud, con un máximo en la parte norte de la región. En el sur, el bioma *fynbos* se desplazará hacia zonas más altas<sup>12</sup>. No se espera que las llanuras y las zonas bajas retengan bioclimas adecuados para este tipo de vegetación. Cerca del 10% de los 330 Proteaceae taxa habita exclusivamente en áreas incluidas en el bioma que, se espera, desaparecerá para 2050 y por lo tanto es más que probable que termine extinguiéndose<sup>13</sup>.

Si la superficie ocupada por un ecosistema cambia de forma o se contrae, algunas especies pueden adaptarse por migrando naturalmente. Pero si se desplaza completamente, sin intersección entre la localización actual y la futura, y si las especies no pueden dispersarse y establecerse suficientemente rápido en la nueva superficie, pueden extinguirse por completo. Sobre la base de investigaciones de la simbólica familia Proteaceae, se estima que este fenómeno podría afectar hasta al 30% de las especies para 2050.

### Incendios

Se espera que tanto el calentamiento como la disminución de la humedad afecten a los regímenes de incendios, con efectos que pueden ser devastadores para la biodiversidad y para los seres humanos. Además, en el bioma *fynbos* se observa un importante aumento del número de fuegos iniciados por estos últimos, lo que ha provocado incendios más frecuentes y menos intensos<sup>16</sup>. En consecuencia tanto el cambio global (a través de cambios inducidos por actividades humanas) como el cambio climático (a causa del calentamiento y sequedad en el área) afectarán a los regímenes de incendios en la región floral de El Cabo.

### Respuestas de los ecosistemas

Los cambios de forma, reducciones y desplazamientos de hábitats de especies pone en peligro mutualismos únicos y altamente especializados en la región floral de El Cabo como las interacciones planta-polinizador y planta-dispersor. Al modificar la distribución de las especies, estos cambios tendrán un impacto en la composición y en la configuración de las comunidades, y en consecuencia afectarán el estado, el funcionamiento y los servicios del ecosistema entero. En el peor de los casos, las especies que no puedan adaptarse rápidamente al cambio climático posiblemente se extingan. Por ende, muchas áreas protegidas pueden perder especies mediante cadenas de extinciones y migraciones que interrumpan mutualismos vulnerables<sup>14</sup>.

### Incremento de las concentraciones de CO<sub>2</sub>

El impacto del incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico en la biodiversidad es doble. Los impactos indirectos han sido mencionados más arriba en relación con el aumento del efecto invernadero (migraciones de especies, cambios en la fenología, etc.). Pero la disponibilidad de CO<sub>2</sub> tiene también influencia directa en el crecimiento de las plantas. Sin embargo, se cree que en la región floral de El Cabo, el efecto directo será limitado. De hecho la respuesta del bioma *fynbos* a la elevación del contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera será probablemente compensada por un aumento en la frecuencia de incendios que generalmente limitan la competencia por recursos entre individuos maduros<sup>15</sup>.

Muchas especies raras en la región son sensibles al fuego y por lo tanto se encuentran en peligro. En particular la evolución de los mecanismos de la biodiversidad será afectada por cambios en las complejas interacciones entre plantas indígenas e invasivas, la disponibilidad de combustible, la estacionalidad, frecuencia e intensidad de los incendios, los regímenes meteorológicos locales, y el equilibrio de las reservas de agua<sup>17</sup>. En el estudio monográfico de la región de las Montañas Azules (Australia) p.46, se da una discusión adicional acerca del impacto de los incendios forestales sobre la biodiversidad.

11. G.F. Midgley, L. Hannah, D. Millar, M.C. Rutherford y L.W. Powrie, 2002, *Assessing the Vulnerability of Species Richness to Anthropogenic Climate Change in a Biodiversity Hot Spot*, *Global Ecology and Biogeography*, 11, págs. 445-451.
12. G.F. Midgley, L. Hannah, D. Millar, W. Thuiller y A. Booth, 2003, *Developing Regional and Species-level Assessments of Climate Change Impacts on Biodiversity in the Cape Floristic Region*, *Biological Conservation*, 112, págs. 87-97.
13. Midgley et al. (2002), *op.cit.*,
14. W.J. Bond, 1994, *Do Mutualisms Matter? Assessing the Impact of Pollinator and Disperser Disruption on Plant Extinctions*, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B, 344, págs. 83-90.
15. W.D. Stock y G.F. Midgley, 1995, *Ecosystem Response to Elevated CO<sub>2</sub>: Nutrient Availability and Nutrient Cycling*, en J.M. Morenoand y W.C. Oechel, (eds.), *Global Change and Mediterranean-Type Ecosystems*, Springer, Nueva York, págs. 326-342.
16. S.I. Higgins y D.M. Richardson, 1998, *Pine Invasions in the Southern Hemisphere: Modelling Interactions Between Organism, Environment and Disturbance*, *Plant Ecology*, 135, págs. 79-93.
17. H.A. Mooney, M.T.K. Arroyo, W.J. Bond, J. Canadell, R.J. Hobbs, S. Lavorel y R.P. Neilson, 2001, *Mediterranean-Climatic Ecosystems*, en Chapin III, F.S. Sala y O.E. Huber-Sannwald, (eds.), *Global Biodiversity in a Changing Environment: Scenarios for the twenty-first century*, Springer, Nueva York, págs. 157-199.

## Soluciones posibles

Aunque no exista una estrategia de respuesta coordinada al cambio climático en la región floral de El Cabo, diversos actores participantes han empezado a atacar el problema de varias maneras en diferentes escalas espaciales y temporales. De estas acciones han surgido una serie de principios generales y prácticas que hoy en día se aplican a la biodiversidad dentro y fuera de las fronteras la región. Lo que sigue representa un resumen de las acciones tomadas y proyectadas.

### Vigilancia y evaluación de riesgos

Los modelos bioclimáticos son una excelente herramienta para la evaluación de riesgos pero las inevitables incertezas asociadas deben ser resueltas por estudios experimentales y de observación, sin olvidar una continua vigilancia. Un sistema de alerta para detectar posibles efectos del cambio climático ya se encuentra en funcionamiento<sup>18</sup>, incluyendo el control de las especies tanto nativas como exóticas (o invasivas) presentes. La detección de otras especies potencialmente invasivas que por el momento no existen en la región podría evitar futuras invasiones al bioma fynbos.

### Aumento de la resistencia

Como en el caso de la protección del sitio del Patrimonio Mundial de la Gran Barrera (capítulo 2, p.30) la reducción o eliminación de amenazas externas al ecosistema podría ayudar enormemente a la región floral de El Cabo a mitigar los efectos adversos, tanto posibles como confirmados, del cambio climático.

### Anticipación

El peligro representado por incendios forestales naturales o antropogénicos podría reducirse mediante acciones de preparación para tales incidentes. Mejorar la red de detección y prevención de incendios forestales sería la manera más eficaz de proteger a este bioma de la frecuencia e intensidad de los fuegos. Las estrategias de gestión de los incendios están siendo cuidadosamente reconsideradas por las agencias nacionales y provinciales en sus actividades de gestión, cartografía y vigilancia<sup>19</sup>.

### Diseño de áreas protegidas

La investigación científica sobre la predicción de los efectos del cambio climático basada en la modelización bioclimática es una actividad fundamental para la planificación de la adaptación en la región floral del Cabo. Los modelos pueden también ser utilizados para evaluar los

escenarios de adaptación, en particular para estudiar posibles redefiniciones del diseño de áreas protegidas enfocándose en los corredores migratorios que podrían ayudar a aliviar los efectos del cambio climático permitiendo a las especies desplazarse siguiendo los cambios.

De hecho, comparando las distribuciones espaciales actuales y previstas de las especies, y asumiendo que se adaptarán lo suficientemente rápido para desplazarse, pueden sugerirse modificaciones que permitirían la conservación de las especies más frágiles:

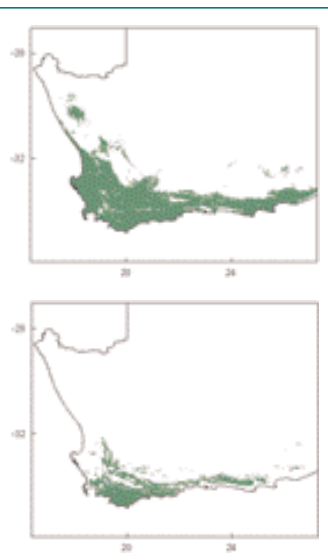
- Desplazar o extender los bordes de las áreas protegidas y de las zonas intermedias;
- Aumentar la heterogeneidad del hábitat y la diversidad topográfica;
- Incrementar la conectividad de las áreas protegidas actuales y futuras diseñando corredores migratorios, en el caso de que no se pueda asegurar la intersección de los bordes actuales y los previstos.

Además, las áreas para las cuales no existen o son mínimos los cambios previstos en varios escenarios de cambio climático, deberían ser identificadas y su conservación debería ser priorizada.

### Desplazamiento de especies en peligro excepcional

Por último, para aquellas especies que, se espera, enfrentarán las amenazas más acuciantes, se podría contemplar su desplazamiento, tanto hacia hábitats salvajes más seguros como a reservas artificiales ex-situ además de conservar su información genética en bancos de genes o de semillas. Sin embargo, estas estrategias son sumamente sensibles y sus impactos en la biodiversidad de las áreas involucradas deben ser cuidadosamente evaluados.

Área actual modelizada del bioma fynbos (arriba) y contracción modelizada de las condiciones bioclimáticas óptimas como consecuencia del cambio climático. Las proyecciones tienen en cuenta un incremento del nivel de CO<sub>2</sub> atmosférico del 50% respecto de la actualidad. (G. Midgley)



18. UICN, 2003, Informe de evaluación sobre las zonas protegidas de la región floral de El Cabo para el Comité del Patrimonio Mundial, 2003, disponible en inglés en: [http://whc.unesco.org/archive/advisory\\_body\\_evaluation/1007rev.pdf](http://whc.unesco.org/archive/advisory_body_evaluation/1007rev.pdf)

19. Bomhard y Midgley, 2005, op. cit.



# Región de las Montañas Azules

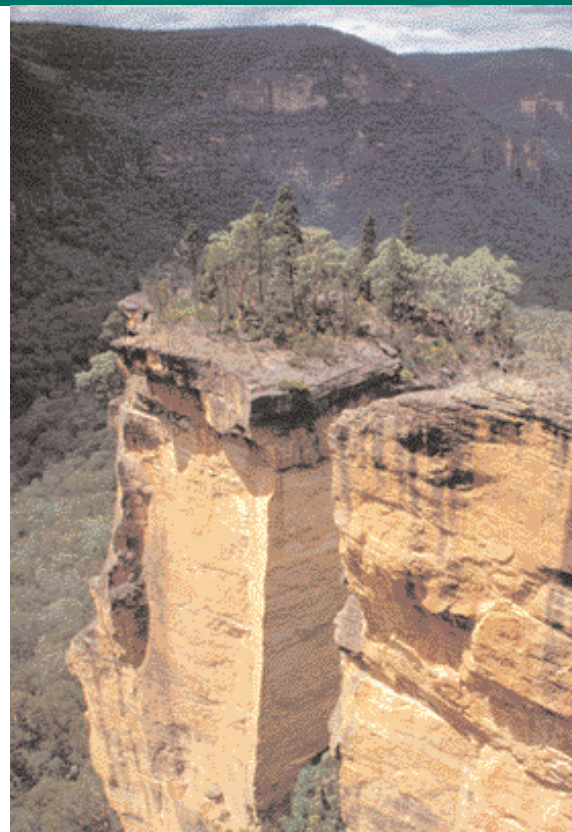
Australia

# 3

46

La región de las Montañas Azules abarca más de un millón de hectáreas de mesetas calizas, acantilados y gargantas cubiertas por bosques templados de eucaliptos. El sitio, que comprende ocho áreas protegidas, fue inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial por su representatividad de la adaptación evolutiva y diversificación de los eucaliptos durante el aislamiento del continente australiano post-Gondwana. La región de las Montañas Azules se destaca por la excepcional expresión de la diversidad estructural y ecológica de los eucaliptos: se han documentado más de 100 taxones, asociados con un amplio espectro de hábitats. Su inscripción en la Lista del Patrimonio Mundial está también justificada por la presencia de hábitats y de especies de flora y fauna cuya conservación es sumamente relevante, ya que alberga 120 especies raras o amenazadas, incluyendo 114 taxones endémicos y fósiles vivos.

Australia ha experimentado un incremento de la temperatura promedio de 0.7°C entre 1910 y 1999 del cual la mayor parte ha ocurrido desde 1950<sup>20,21</sup>. Previsiones realizadas con el modelo climático del CSIRO (Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) sugieren un aumento del promedio anual de temperatura de 0,4 a 2,0 °C para 2030, y de 1 hasta 6°C para 2070<sup>22,23</sup>. La evaluación de tendencias futuras en la precipitación es mucho más difícil con los modelos climáticos actuales<sup>24</sup>. Estos cambios en los regímenes climáticos traen consigo una preocupación especial respecto de los bosques, en los que el aumento de la temperatura puede resultar en incendios forestales más frecuentes, intensos y destructivos.



Los bosques de eucaliptos australianos, incluyendo los de la región de las Montañas Azules en Nueva Gales del Sur, están entre los ecosistemas que más dependen del fuego en el mundo. La neblina azul de la región, de la cual deriva su nombre, proviene del altamente inflamable aceite de eucalipto segregado por los árboles a causa del calor. Muchas especies de la flora nativa como eucaliptos y banksias se han adaptado de tal modo al fuego que sólo liberan sus semillas una vez que el incendio ha pasado, de modo que los nutrientes presentes

20. N. Plummer, Z. Lin y S. Torok, 1995, *Trends in the Diurnal Temperature Range Over Australia Since 1951*. Atmospheric Research, 37: págs. 79–86.

21. S.J. Torok y N. Nicholls, 1996, *A Historical Annual Temperature Data Set for Australia*. Australian Meteorological Magazine, 45. págs. 251-260.

22. M. Howden, 2003, *Climate Trends and Climate Change Scenarios*, en *Climate Change Impacts on Biodiversity in Australia*, M. Howden, L. Hughes, M. Dunlop, I. Zethoven, D. Hilbert y C. Chilcott (eds.), págs. 8-13. Canberra, Australia, <http://www.deh.gov.au/biodiversity/publications/greenhouse/pubs/climate-change.pdf>

23. *Climate Change Projections for Australia*. Climate Impact Group, CSIRO Atmospheric Research, Melbourne. 8 págs., <http://www.cmar.csiro.au/e-print/open/projections2001.pdf>

24. L. Hughes, 2003, *Climate Change in Australia: Trends, Projections and Impacts*, Austral Ecology, 28, págs. 423-443.



Los bosques templados de eucaliptos en la región de las Montañas Azules (Australia) se hallan entre los ecosistemas más dependientes del fuego del mundo. Los potenciales efectos del cambio climático en los regímenes de incendios forestales en este área deberían ser evaluados cuidadosamente.



en las cenizas compensen la pobreza de los suelos.

La tasa de crecimiento de eucaliptos y banksias dentro de los tres años posteriores a un incendio de

grandes proporciones es alta. Sin embargo, un segundo incendio durante el estadio de regeneración puede provocar severos daños y pérdida de diversidad de especies al matar a ciertas plantas antes de que hayan madurado lo suficiente para producir semillas. En consecuencia, si el intervalo entre incendios forestales intensos cambia de ciclos largos de diez o veinte años a menos de seis, habría una disminución significativa en la diversidad de las principales especies de eucaliptos y de otra flora de la región<sup>25</sup>, un cambio que podría tener serias consecuencias para la integridad de los ecosistemas del área y para su valor en tanto que sitio del Patrimonio Mundial<sup>26</sup>.

Los impactos del cambio climático en la composición de las comunidades mencionados (p.42) para la región floral de El Cabo (Sudáfrica) también se aplican a la región de las Montañas Azules. El aumento de las temperaturas podría afectar la flora y la fauna de las partes más altas y húmedas de la región, al forzar a ciertas especies a migrar en altura como respuesta al aumento de las temperaturas y a la reducción en la disponibilidad de agua. Una de las características de las Montañas Azules que justifica su inscripción con criterios naturales, es la

variabilidad de la vegetación en respuesta a la disminución de temperatura con la altitud entre 100 y 1.400 metros.

Por ejemplo, los pantanos altos de las Montañas Azules albergan ciertas especies únicas, adaptadas a suelos inundables estacionalmente. Estas especies corren el riesgo de ser desplazadas por especies tolerantes a suelos más secos. Los pantanos altos también son hábitat de especies en peligro de extinción como el lagarto *Elamprus leuraensis* y la libélula gigante. Su capacidad de retener el agua y liberarla lentamente también favorece la supervivencia de plantas amenazadas de extinción, como *Microstrobos fitzgeraldii* y *Epacris hamiltonii*, adaptadas a hábitats permanentemente húmedos. Los pantanos que actualmente se hallan cerca del límite inferior de precipitaciones suficientes correrían un elevado riesgo de contracción debido a las modificaciones en las precipitaciones y/o evaporación asociadas con el cambio climático.

En la actualidad existen varios proyectos de investigación relacionados con los impactos del cambio climático en la región de las Montañas Azules auspiciados por el Organismo Australiano del Efecto Invernadero, el Departamento de Medio Ambiente y Conservación de Nueva Gales del Sur y el Instituto del Patrimonio Mundial de las Montañas Azules. Los temas en estudio

incluyen impactos en la biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas (terrestres y acuáticos), efectos sinérgicos con otros peligros como las especies invasivas, y los riesgos para las personas y las propiedades derivados de los incendios forestales.

Para proteger a la región de las Montañas Azules del impacto adverso de los incendios forestales en un contexto climático cambiante se están desarrollando varias estrategias. La primera es la implementación de políticas basadas en mejor información a través de la investigación del comportamiento del fuego y sus impactos ecológicos, sobre todo después de los destructivos incendios de 2002, que condujeron a la fundación del Centro de Investigación Cooperativo de Incendios Forestales, en diciembre de 2003<sup>27</sup>. La segunda consiste en intervenir provocando fuegos controlados, para limitar el riesgo de incendios masivos y ecológicamente destructivos, diseñados cuidadosamente para tener en cuenta la especificidad de los ecosistemas afectados. Como la región de las Montañas Azules limita con suburbios de Sydney en rápida expansión, existe un riesgo real de conflictos de prioridad entre las políticas de protección de la propiedad urbana y de conservación de la biodiversidad.

25. J. Merson, 2004, *Climate Change and Ecosystem Stress: The Impact of Increased Forest Fire Frequency and Intensity on Australian Protected and World Heritage Areas*, 3er Congreso Mundial de la Conservación de la UICN, Ginebra, Suiza.

26. R.A. Bradstock y B.J. Kenny, 2003, *An Application of Plant Functional Types to Fire Management in a Conservation Reserve in South Eastern Australia*, *Journal of Vegetation Science*, 14, págs. 345-354.

27. <http://www.bushfirecr.com/>

# 3 Parque Nacional de Ichkeul

Túnez

*El Parque Nacional de Ichkeul (Túnez) es un importante punto de escala para cientos de miles de aves migratorias en el norte de África.*



48

**El amplio espectro de impactos del cambio climático en zonas húmedas suscita creciente atención. Las zonas húmedas cubren el 10% de la superficie de la Tierra y son ecosistemas críticos proveedores de significativos beneficios sociales, económicos y ambientales. Se estima que el valor total de los servicios provistos por las áreas costeras y los ecosistemas de humedales alcanza los 15,5 trillones de dólares por año, el equivalente del 46% del valor total de los servicios que se estiman ofrecidos por todos los ecosistemas a nivel global<sup>28</sup>. La convención de Ramsar en 1971 estableció un marco internacional para el estudio y la gestión de los humedales a nivel mundial, incluyendo los aspectos relacionados con el cambio climático<sup>29</sup>.**

El aumento de la temperatura, los cambios en la precipitaciones y el aumento del nivel del nivel del mar afectarán la distribución y las funciones de los humedales. Al mismo tiempo, las zonas húmedas y las turberas tienen un papel significativo en el ciclo global del carbono. Por ende, si el cambio climático afecta a las zonas húmedas, éstas a su vez modificarán el clima. Por ello es necesario investigar simultáneamente cómo los cambios en el uso del suelo y en el clima pueden afectar el papel de los humedales en el ciclo global del carbono, y por lo tanto cómo esos biomas afectan y son afectados por el equilibrio climático del planeta.

Un amplio espectro de impactos del cambio climático afectarán a los humedales de todo el planeta:

- Aumento del nivel del mar. La elevación del nivel del mar tendrá varios efectos adversos en los humedales costeros incluyendo erosión e inundaciones costeras, la pérdida de hábitats, el incremento de la salinidad de los estuarios y

acuíferos, cambios en los regímenes de mareas en ríos y bahías, transporte de sedimentos y nutrientes, contaminación en las zonas costeras, etc. Como resultado son probables respuestas individuales y cambios en la composición y funcionamiento de los ecosistemas, que a su vez afectarán la productividad y las funciones de los humedales<sup>30</sup>.

- Ciclo hidrológico. Se espera que el cambio climático intensifique el ciclo hidrológico global acompañado de grandes cambios en la distribución y disponibilidad espacial y temporal de agua. Los cambios en precipitación, evaporación, transpiración, escorrentía y alimentación y flujo de las napas representan un claro peligro para los humedales afectando tanto a los sistemas de la superficie como a los del subsuelo.

- Incremento de la temperatura de las masas de agua. Aunque su tiempo de respuesta es mayor que el de la atmósfera (por su mayor inercia térmica), se esperan significativos efectos del aumento de la temperatura en la productividad biológica en las masas de agua. Cambios en la temperatura de superficie de los

humedales también modificarán su estabilidad estática, y por ende tendrán consecuencias en los regímenes de mezcla vertical entre aguas superficiales y profundas.

- Actividad de las tormentas. En muchas áreas, el viento representa un importante papel en la mezcla de los humedales. Cambios en la actividad de las tormentas pueden dificultar la mezcla en masas de agua fuertemente estratificadas<sup>31</sup>.

- Incremento de la temperatura de la atmósfera. Incluso un leve incremento en la temperatura de la atmósfera puede ocasionar el derretimiento de grandes áreas de permafrost. Se define al permafrost como suelo permanentemente congelado, debido a varios años de temperaturas por debajo de 0°C y es considerado una forma de humedal. Este derretimiento también modificará los procesos que contribuyen a las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) asociadas con este tipo de humedales<sup>32</sup>.

El lago de Ichkeul y su marisma constituyen un remarcable sistema de zonas húmedas en

28. R. Costanza, R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton y M. van den Belt, 1997, *The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital*, *Nature*, 387, págs. 253-260.

29. G. Bergkamp and B. Orlando, 1999, *Wetlands and Climate Change, Exploring Collaboration Between the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971) and the United Nations Framework Convention on Climate Change*, [http://www.ramsar.org/key\\_unfccc\\_bkgd.htm#2](http://www.ramsar.org/key_unfccc_bkgd.htm#2)

30. R.S. Warren y N.A. Niering, 1993, *Vegetation Change on a Northeast Tidal Marsh: Interaction of Sea Level Rise and Marsh Accretion*, *Ecology*, 74, págs. 96-103.

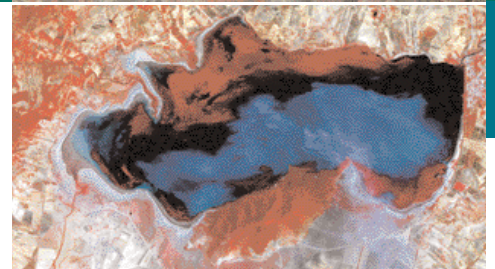
31. J. Talling y J. Lamoalle, 1998, *Ecological Dynamics of Tropical Inland Waters*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 441 págs.

32. T.A. Clair, B.G. Warner, R. Robarts, H. Murkin, J. Lilley, L. Mortsch y C. Rubec, 1997, *Executive Summary - Impacts of Climate Change to Inland Wetlands: A Canadian Perspective*.





**Imágenes del satélite ASTER que muestran la vegetación en tonos de rojo. La fotografía del lago y los humedales de Ichkeul tomada en 2001 (arriba) muestra que *Potamogeton Pectinatus* había desaparecido del lago. En 2005 (abajo) después de que fuera implementado un plan específico de adaptación y de que las condiciones climáticas mejoraran, el lago recuperó su vegetación.**



el norte de África. Es un importante lugar de pasaje para cientos de miles de aves migratorias como patos porrones, silbones, gallaretas y gansos que lo usan para alimentarse y anidar. Ichkeul es también el último remanente de una cadena de lagos que se extendía a lo largo del norte de África. Como tal, fue incluido en 1980 en la Lista del Patrimonio Mundial.

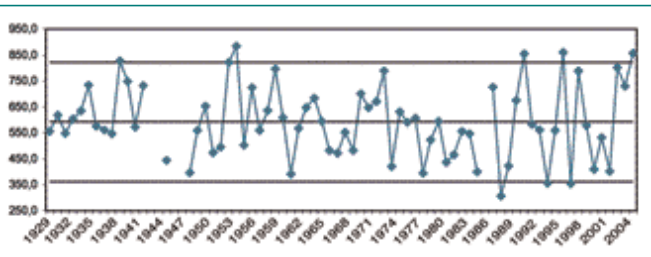
La especificidad del sistema del lago y la marisma de Ichkeul descansa en el ciclo estacional del flujo de agua: dulce en invierno, proveniente de seis ríos cuyas cuencas se hallan aguas arriba, y salada del mar en verano. Esta hidrología peculiar condujo al desarrollo de una flora adaptada utilizada como fuente primaria de alimento por miles de aves migratorias:

de tres represas sobre los ríos que proveen agua al lago de Ichkeul y sus marismas condujo a largos períodos de sequía entre 1993 y 2002 que eliminaron una cantidad significativa de flujo de agua dulce y resultaron en un incremento del influjo de agua salada. Además, una leve disminución en la precipitación ha sido observada desde los años 30 acompañada de una mayor variabilidad interanual, o sea, una frecuencia creciente de años muy húmedos o muy secos en el pasado reciente.

En consecuencia, se observaron un incremento de la salinidad del lago y sequía en las marismas. Los *potamogeton pectinatus* desaparecieron del lago y los *scirpus*, ciperáceas y otras plantas de agua dulce de las marismas fueron reemplazadas por plantas halófitas, con la consecuente rápida reducción de las poblaciones de aves migratorias dependientes del hábitat antes provisto por el lago. De acuerdo con la UICN, todas la especies dependientes de los juncales incluyendo garzas imperiales, calamones y carriceros desaparecieron de la zona de Ichkeul y la abundancia de algunas especies de peces como las anguilas también fue afectada.

remarcablemente un aumento de la variabilidad espacial y temporal como el observado en el pasado reciente en el área de Ichkeul. Estos cambios probablemente afecten el funcionamiento de las cuencas hidrográficas e incrementaran la presión sobre el Parque Nacional de Ichkeul. Las sequías de los 90 (aunque atribuidas a la variabilidad climática más que al cambio climático por el momento) sugieren lo que podría llegar a ocurrir si las tendencias previstas se confirman.

Para enfrentar estos impactos, se desarrollaron medidas de adaptación y el planeamiento de la provisión de agua toma ahora en cuenta el consumo de agua dulce del lago y de la marisma de Ichkeul. El flujo desde las represas aguas arriba es regulado, como también los intercambios de agua salada con el mar aguas abajo. Se ha implementado un programa científico específico de vigilancia. Además, desde 2002 las condiciones climáticas han mejorado y con la implementación de estas medidas de gestión, el sitio se ha recuperado rápidamente, mostrando la gran resistencia de este bioma. En consecuencia, el sitio fue retirado de la Lista del Patrimonio Mundial en Peligro en julio de 2006. Pero si las tendencias proyectadas de cambio climático se confirman durante el siglo XXI, el humedal de Ichkeul probablemente enfrentará condiciones similares o peores que las de los años 90. Por ello es indispensable desarrollar y refinar estas medidas de adaptación.



**Precipitación anual (en mm) registrada en la estación de Tinja (región de Ichkeul) entre 1929 y 2004. Puede notarse una leve tendencia negativa, pero principalmente un aumento de la variabilidad (frecuencia de años extremadamente lluviosos o secos) en el pasado reciente. Los modelos climáticos actuales predicen que esta tendencia continuará durante el siglo XXI. (ANPE Túnez, 2006)\***

\* Tendencias de precipitación en el área de Ichkeul © Rapport sur le suivi scientifique au Parc national de l'Ichkeul, 2004/2005, Agence Nationale de Protection de l'Environnement, Túnez, 2006.

grandes extensiones de plantas acuáticas de agua dulce llamadas *potamogeton pectinatus* en el lago y preeminencia de *scirpus maritimus* en las marismas.

En 1996 este sitio fue inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial en Peligro. La construcción

En general, los modelos climáticos predicen un incremento en la temperatura de la atmósfera en el norte de África durante el siglo XXI<sup>33</sup>. Este incremento alcanzaría 2°C a 4°C. Se espera también un aumento del nivel del mar de hasta 0,88 m. Las tendencias previstas en la precipitación muestran un leve descenso, y

33. H. Kraiem, 2002, *Biophysical and Socio-economic Impacts of Climate Change on Wetlands in the Mediterranean*, in *Mediterranean Regional Roundtable on Water, Wetlands and Climate Change – Buildings Linkages for their Integrated Management*, UICN GWP med-MedWet, Atenas, Grecia, 10-11 de diciembre de 2002.

# 3

## Trópicos húmedos de Queensland

Australia



Los trópicos húmedos de Queensland albergan un conjunto muy completo y variado de flora y fauna tropicales. Pero incluso un aumento de 1°C en la temperatura media del aire acarreará una significativa reducción del área habitable para casi todos los vertebrados endémicos de la región.

El sitio del Patrimonio Mundial de los trópicos húmedos de Queensland se extiende a lo largo de 450 km sobre la costa noreste de Australia. Está constituido de tierras bajas tropicales y de densa selva húmeda en las tierras altas, complejos de vegetación, manglares y bosques de vegetación esclerófila. Estos ecosistemas albergan una comunidad particularmente grande y diversa de especies de plantas y de animales, de las cuales varias son consideradas endémicas, evolutivamente significativas, raras o amenazadas de extinción. Estas características justificaron su inscripción en la Lista del Patrimonio Mundial Natural en 1988.

### Impactos del cambio climático en los trópicos húmedos de Queensland

Este ecosistema remarkable se ve amenazado por rápidos cambios de la temperatura y de las precipitaciones, ya que muchas especies en el área son incapaces de adaptarse al ritmo del cambio climático. Incluso con un aumento de la temperatura del aire de 1°C, los modelos bioclimáticos predicen significativas disminuciones del hábitat de casi todos los vertebrados endémicos de la bioregión de los trópicos húmedos<sup>34</sup>.

Para aproximadamente la mitad de las especies modeladas, un calentamiento de 3,5°C (correspondiente al escenario previsto promedio) podría conducir la pérdida total de su medio ambiente principal, y para las especies restantes, las dimensiones de sus ecosistemas se verán probablemente reducidas al 11% del área que ocupan hoy en día. Los vertebrados que viven en estas selvas tropicales

montañosas aisladas pueden quedar atrapados, sin lugar adonde migrar, como consecuencia de los cambios climáticos previstos. Por ende muchas especies incluyendo ranas, mamíferos, pájaros y reptiles, podrían desaparecer de los trópicos húmedos de Queensland en 50 o 100 años, dependiendo de la velocidad del cambio climático.

### Soluciones posibles<sup>37</sup>

El Organismo Australiano de Investigaciones Científicas Marinas y Tropicales, con el generoso financiamiento del gobierno australiano, está llevando a cabo un programa de investigación para elaborar iniciativas de gestión proactivas y factibles a escala regional como respuesta al cambio climático. El programa de investigación se concentrará en mejorar los modelos climáticos actuales y los escenarios posibles para identificar:

- las especies y comunidades ecológicas en mayor peligro;
- los efectos a largo plazo de estas amenazas;
- la distribución geográfica de las amenazas;
- cómo el cambio climático puede interactuar con otras amenazas como la destrucción, la fragmentación, los incendios, malezas y animales reintroducidos;
- las zonas que continuarán ofreciendo un hábitat perenne y los nuevos hábitats.

En lo que concierne específicamente a los trópicos húmedos de Queensland, la Universidad James Cook de Townsville, Queensland, ha fundado el Centro de Investigaciones de la Biodiversidad Tropical y el Cambio Climático que concentrará sus esfuerzos en los impactos del cambio climático sobre la biota de la región.

34. S.E. Williams, E.E. Bolitho y S. Fox, 2003, *Climate Change in Australian Tropical Rainforests: an Impending Environmental Catastrophe*. Proceedings of the Royal Society London, B. 270, págs. 1887-1892.

35. S.E. Williams, 2003, *Impacts of Global Climate Change on the Rainforest Vertebrates of the Australian Wet Tropics*, in *Climate Change Impacts on Biodiversity in Australia* (ed.). M. Howden, L. Hughes, M. Dunlop, I. Zethoven, D. Hilbert y C. Chilcott, págs. 50-52. Canberra, Australia. <http://www.deh.gov.au/biodiversity/publications/greenhouse/pubs/climate-change.pdf>

36. Allen Consulting Group, 2005, *Climate Change: Risk and Vulnerability. Promoting an Efficient Adaptation Response in Australia. Report to the Australian Greenhouse Office, Department of the Environment and Heritage. Department of the Environment and Heritage, Canberra, Australia.*

37. *Wet Tropics Management Authority. Annual Report and State of the Wet Tropics Report, 2005-2006.*



# Zona de conservación Guanacaste

Costa Rica

Este sitio del Patrimonio Mundial contiene importantes hábitats naturales para la conservación de la diversidad biológica, incluyendo algunos de los hábitats de bosque seco mejor conservados en América Central y otros hábitats clave para especies animales y vegetales raras o en peligro de extinción, como selva tropical y bosque nuboso. El sitio alberga procesos ecológicos únicos tanto en ambientes terrestres como marinos y costeros y por lo tanto fue inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial en 1999.



En América central, los impactos del cambio climático en la pérdida de biodiversidad ya comienzan a hacerse visibles. La rana dorada panameña es una de las más de 100 especies de ranas arlequín que están desapareciendo.

Sin embargo, los bosques nubosos y las selvas tropicales de Costa Rica han sufrido recientemente una pérdida dramática de su biodiversidad. A lo largo de los últimos veinte años, se han extinguido 110 especies de anuros endémicos (aproximadamente el 67%) en las montañas tropicales centroamericanas, incluyendo a la rana arlequín de Monteverde y al sapo dorado. La atribución de la responsabilidad de estas extinciones a la deforestación o al cambio climático no

estaba del todo clara, hasta que trabajos de investigación recientes pusieron en evidencia los papeles respectivos del hongo patógeno chytrid y del cambio climático en la extinción de las ranas arlequín: el aumento de la temperatura del aire crea condiciones óptimas para el hongo, mientras que el aumento de la nubosidad durante el día impide a las ranas encontrar abrigo térmico de este patógeno<sup>38</sup>.

38. J.A. Pounds, M.R. Bustamante, L.A. Coloma, J.A. Consuegra, M.P. Fogden, P.N. Foster, E. La Marca, K.L. Masters, A. Merino-Viteri, R. Puschendorf, S.R. Ron, G.A. Sanchez-Azofeifa, C.J. Still and B.E. Young, 2006, Widespread Amphibian Extinctions from Epidemic Disease Driven by Global Warming, Nature, 439, pp. 161-166.

# 4 Sitios Arqueológicos del Patrimonio Mundial

El cambio climático traerá aparejados cambios en condiciones ambientales que pueden poner en peligro evidencias del pasado, agravando los procesos que producen daño a los sitios arqueológicos. Los restos arqueológicos se conservan cuando alcanzan un equilibrio hidrológico, químico y biológico con el suelo que los contiene. Las condiciones para la conservación de estos materiales pueden empeorar si estos parámetros se ven modificados.

Cualquier cambio en la temperatura y en el contenido de agua afectará la conservación de estos sitios, por lo que es necesario tomar precauciones para aquellos inscritos en la Lista del Patrimonio Mundial. Además, el hecho de que el cambio climático pueda destruir objetos preciosos cuya misma existencia es hoy desconocida representa un problema adicional para los yacimientos arqueológicos respecto de otro tipo de sitios.

Diversos cambios en el clima impactarán en la conservación del patrimonio arqueológico:

- La modificación de los regímenes de precipitación y el aumento de la variabilidad interanual alrededor del mundo reportada por el IPCC<sup>1</sup>. Independientemente de que la tendencia corresponda al incremento de sequías o inundaciones, cambios en acuíferos y napas freáticas, ciclos de humedad, momento de las precipitaciones o en la química del suelo, los yacimientos arqueológicos sufrirán las consecuencias.
- El aumento de la temperatura del suelo, consecuencia del aumento de temperatura de la atmósfera, impactará

especialmente en las regiones polares, donde gran parte del permafrost se está derritiendo. En regiones templadas se prevén cambios en las regiones expuestas a los ciclos estacionales de congelación y descongelación lo cual puede afectar las tensiones, la estabilidad del subsuelo y la subsidencia, sin mencionar la magnitud de las avalanchas de tierra.

■ El aumento del nivel del mar también pone en peligro las zonas costeras, debido al riesgo de erosión y de sumersión permanente de áreas bajas, y al aumento de la salinidad de las tierras lindantes con la costa.

■ Se espera que los cambios en la humedad de los sedimentos afecten los vestigios preservados en zonas

1. IPCC, 2001, GT1, op. cit., Resumen para responsables de políticas.

anegadas, en condiciones anaeróbicas o de anoxia. También conducirá a la reducción de la estratificación debido a cizallamientos y grietas en el suelo.

■ Cambios en los ciclos de sequedad y humedad afectarán la cristalización y

disolución de sales, y por ende afectarán tanto la arqueología enterrada como las pinturas, frescos y otras superficies decoradas, incluyendo el arte rupestre.



*El sitio arqueológico de Chavín  
Perú*

# Zona arqueológica de Chan Chan Perú

# 4

Chan Chan, la capital del antiguo reino chimú, es una de las mayores y más importantes ciudades prehispánicas de arquitectura en adobe<sup>2</sup>. Los conjuntos arquitectónicos y la complejidad del diseño urbano reflejan los elevados niveles políticos, sociales, tecnológicos, y económicos que alcanzó la cultura chimú entre los siglos IX y XV, antes de caer en la órbita de los Incas. Por lo tanto, el complejo arqueológico sintetiza la evolución histórica de los grupos étnicos en el norte de Perú que contribuyeron al desarrollo de la cultura andina. Además, la ciudad de Chan Chan es un símbolo de identidad cultural a niveles local, regional y nacional.

En su momento de mayor esplendor, la ciudad ocupaba 20 km<sup>2</sup>, de los cuales sólo se conservan 14 km<sup>2</sup>. En la zona central hay 9 palacios, 35 unidades arquitectónicas y conjuntos semi monumentales, 6 templos (*Huacas*), caminos ceremoniales y 4 extensas vecindades populares (en donde se encuentran evidencias del trabajo de la madera, del oro, de la plata y de los textiles). Fuera del área central pueden verse diversas *Huacas*, unidades agrícolas (*Huachaqes*), y un sistema de caminos que conectaba las diferentes partes de la ciudad. Los muros de adobe están decorados con altorrelieves en los que motivos abstractos, antropomórficos y zoomórficos ensalzan el excepcional esplendor de este conjunto de ruinas de grandes proporciones.

Los criterios que justificaron su inscripción en la Lista del Patrimonio Mundial en 1986 se basan en el hecho de que Chan Chan conserva un testimonio único del antiguo reino chimú, además de ser la ciudad más grande de la América precolombina. Es una obra de arte en términos de planificación urbanística, con una partición rigurosa y usos diferenciados del espacio habitado, y su construcción jerárquica también ilustra ideales políticos y sociales que pocas veces han sido expresados con tal claridad.

El vasto y frágil sitio de Chan Chan fue inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial en Peligro el mismo año en que fue inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial. Sus estructuras de barro son particularmente

2. ICOMOS, 1985, *Evaluation of the Chan Chan Archaeological Zone for the World Heritage Committee, 1985*, disponible en [http://whc.unesco.org/archive/advisory\\_body\\_evaluation/366.pdf](http://whc.unesco.org/archive/advisory_body_evaluation/366.pdf)



*Vista general del sector de audiencias del Palacio Tschudi. La zona arqueológica de Chan Chan es la mayor ciudad de la América precolombina y un testimonio único del antiguo reino chimú.*

vulnerables y se deterioran rápidamente por la erosión natural al estar permanentemente expuestas a las inclemencias del tiempo, por lo que requieren constantes esfuerzos de conservación. La rápida y visiblemente incontrolable erosión de los restos es un serio obstáculo para la profundización de nuestro conocimiento acerca del sitio. Muchas de las estructuras excavadas y estudiadas en el pasado han sufrido un significativo deterioro. Por lo tanto, el Comité del Patrimonio Mundial recomendó al momento de la inscripción que: (1) se deben tomar medidas apropiadas para la conservación, restauración y gestión del sitio, (2) los trabajos de excavación deben ser abandonados a menos que estén acompañados por todas las medidas adecuadas de conservación, y que (3) se deben aplicar todas las medidas posibles para controlar saqueos en el sitio.



*Gran plaza en el Palacio Tschudi.*



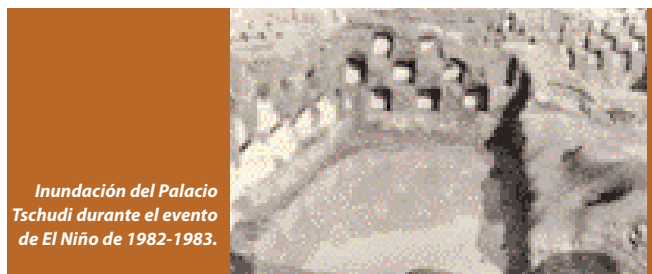
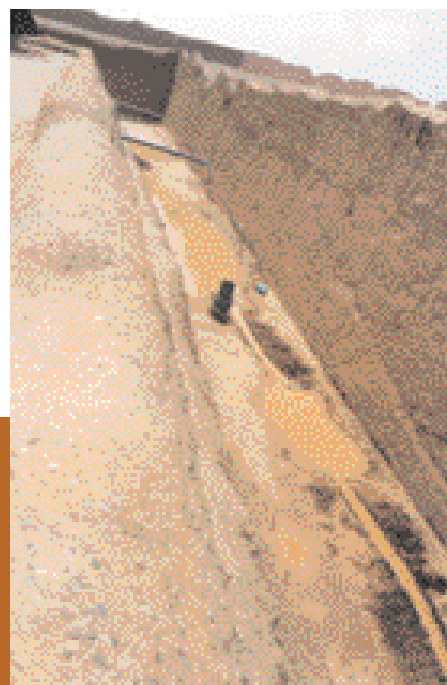
## Impactos del cambio climático

### 4 Impacto del fenómeno de El Niño en el norte de Perú

El fenómeno de El Niño-Oscilación Austral (ENSO) produce variaciones regionales de precipitaciones y temperatura sobre extensas zonas tropicales y subtropicales<sup>3</sup>. En la costa norte de Perú, las fases cálidas de esta oscilación (conocidas como 'El Niño' en oposición a 'La Niña' que corresponde a períodos fríos) están asociadas con fuertes anomalías positivas de precipitaciones<sup>4</sup>. En las zonas costeras áridas del norte de Perú el promedio histórico de precipitaciones anuales es solamente de 20 a 150 mm, pero el área recibió 3.000 mm de lluvia durante el evento El Niño de 1997-98<sup>5</sup>.

El evento El Niño 1982-83 está considerado como uno de los más intensos del siglo XX. El Banco Mundial estima las pérdidas globales en alrededor de 14 mil millones de dólares de los cuales mil millones corresponden sólo

a Perú<sup>6</sup> y están, principalmente relacionados con pérdidas en ingresos de la pesca y destrucción de infraestructuras. En 1997-1998, Perú sufrió daños del mismo orden (de los cuales el 55% en infraestructura de transporte, 15% en agricultura, 14% en energía y 9% en educación)<sup>7</sup>.



*Inundación del Palacio Tschudi durante el evento de El Niño de 1982-1983.*

### Impacto de precipitaciones extremas en la zona arqueológica de Chan Chan

Intensas lluvias están dañando la base de las estructuras arquitectónicas de barro. Estas llevan a un aumento de la humedad en la parte baja de los edificios y en consecuencia a un aumento de la contaminación salina de las estructuras y del crecimiento de vegetación, como juncos y nenúfares, en los huachiques bajos.

Un estudio de 68 pozos se encuentra en curso desde agosto de 2000 y ha revelado un aumento progresivo de los niveles de agua

que alcanzó niveles preocupantes en enero de 2003. Este fenómeno se debe a los efectos combinados de cambios en la tecnología de riego para los extensos monocultivos del área y a la reducción del uso de agua potable, ya que la población local ahora se provee de agua con un sistema diferente. El cambio climático agrega un peligro adicional a este sitio, y las intensas precipitaciones durante el evento de 1997-98 de El Niño han contribuido significativamente al incremento del nivel de agua subterránea<sup>7</sup>.

3. IPCC, 2001, GT1, op. cit., Resumen para responsables de políticas.

4. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Sección 14.1.2.1.4.

5. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Sección 14.2.1.3.

6. Banco Mundial, 1997, Reporte Anual, Banco Mundial, Washington DC, Estados Unidos.

7. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Sección 14.2.1.3.

## Cambios previstos en el fenómeno de El Niño

De acuerdo con el IPCC, en el pasado reciente se han registrado cambios en el fenómeno de El Niño. Las fases cálidas han sido más frecuentes, intensas y persistentes desde los años 1970 comparados con los cien años anteriores.

La representación del fenómeno de El Niño continúa siendo un desafío para los modelos climáticos. Las previsiones actuales exhiben incrementos moderados en la amplitud de los

eventos de El Niño durante el próximo siglo. Pero el IPCC subraya que independientemente de la magnitud del cambio en la amplitud de los eventos de El Niño, el calentamiento global probablemente conduzca a extremos más pronunciados de escasez y exceso de lluvias, y a un incremento del riesgo de sequías y de inundaciones asociadas con estos eventos en muchas regiones<sup>8</sup>.

## Soluciones posibles

Desde que Chan Chan fue listado como sitio del Patrimonio Mundial en Peligro, se ha diseñado un Plan Maestro con el apoyo del Fondo del Patrimonio Mundial que ha mejorado el entrenamiento para la conservación y la gestión.

El primer Curso Panamericano de Conservación y Gestión de Patrimonio Arquitectónico y Arqueológico de Adobe, que tuvo beneficios directos en la preservación y gestión del sitio, tuvo lugar en Chan Chan en 1996, organizado conjuntamente por el gobierno de Perú, el Centro Internacional de Estudios de Conservación y Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM), el Centro Internacional de Construcción de Tierra-Escuela de Arquitectura de Grenoble (CRATerre-EAG) y el Instituto Getty para la Conservación (GCI).

En septiembre de 1997, se estableció un fondo de asistencia de emergencia para implementar inmediatamente medidas para proteger las

partes más significativas y vulnerables de Chan Chan de los efectos devastadores del evento de El Niño previsto para 1998. En consecuencia, los impactos en el sitio fueron relativamente modestos, lo que muestra que las medidas de protección fueron efectivas.

Los cimientos y estructuras de los principales edificios y de la arquitectura alrededor del *huachaque* del Palacio Tschudi están siendo reforzados y estabilizados en lo que constituye un esfuerzo de adaptación a largo plazo. Estos trabajos están siendo llevados a cabo combinando el uso de materiales y procesos tradicionales con modernas técnicas de ingeniería<sup>9</sup>.



La zona arqueológica de Chan Chan.

8. IPCC, 2001, *GT1*, op. cit., Resumen para responsables de políticas.

9. Estado de conservación del sitio del Patrimonio Mundial de Chan Chan, 2003, <http://whc.unesco.org/archive/2003/whc03-27com-07ae.pdf>

# Iwvavik, Vuntut, Isla Herschel

(Qikiqtaruk) Canadá

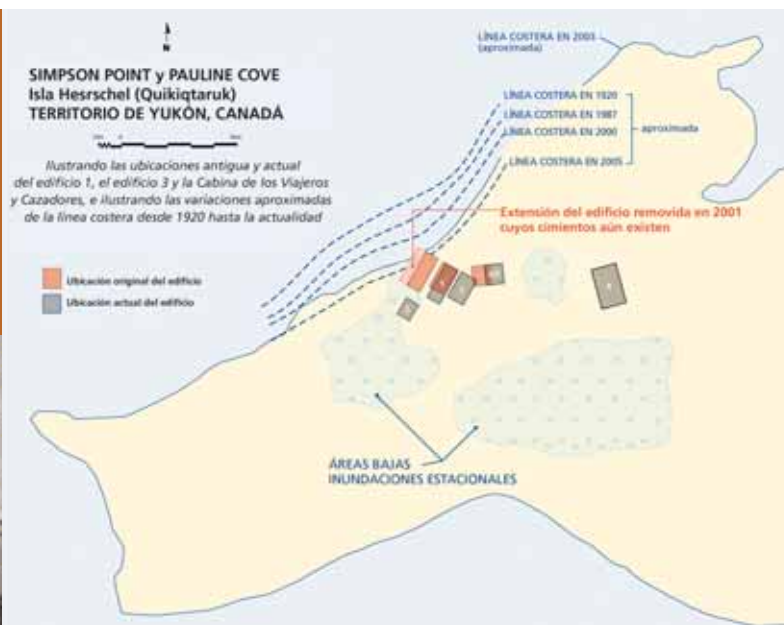
4

Iwvavik/Vuntut/Isla Herschel (Qikiqtaruk)<sup>10</sup> se encuentra actualmente en la Lista Tentativa canadiense del Patrimonio Mundial y bajo consideración para su inscripción en la Lista del Patrimonio Mundial bajo criterios tanto culturales como naturales. En este lugar montañas, bosques boreales, tundra, extensos humedales, llanuras costeras y una isla ártica se combinan para formar el tejido viviente de la naturaleza salvaje ártica. Culturalmente, esta tierra ilustra la más temprana ocupación del noroeste de América del Norte a través del pasaje de Bering y de Yukón, la adaptación tradicional del uso de la tierra de las culturas aborígenes a ambientes extremos y también el asentamiento ballenero del siglo XIX en Isla Herschel. Pero también exhibe una singular belleza paisajística y remarcables fenómenos naturales, con montañas, humedales, ríos y especies salvajes migratorias. Ilustra los procesos geológicos relacionados con los eventos del Pleistoceno y Beringia y alberga una significativa diversidad biológica, con una amplia variedad de especies que incluyen a caribúes, osos, aves palmípedas y animales marinos.

Sin embargo, los valores que podrían justificar la inscripción del sitio en la Lista del Patrimonio Mundial se encuentran actualmente amenazados.

■ La disminución del hielo marino acarrea una mayor exposición de las áreas costeras a tormentas, favoreciendo la erosión. En consecuencia, en la Isla Herschel, las autoridades del gobierno de Yukón se han visto obligadas a emprender una arqueología de salvataje de las viviendas de la antigua cultura Thule, desplazando los edificios tierra

*En el Parque Territorial de Isla Herschel (Lista Tentativa del Patrimonio Mundial de Canadá), el asentamiento ballenero del siglo XIX tuvo que ser desplazado tierra adentro debido a la evolución de la línea costera, resultado del aumento de la erosión al derretirse el hielo.*



10. D. Olynyk, 2004, Canada's Yukon Territory – Heritage at the Edge, Cultural Heritage in the Arctic and Antarctic Regions, ICOMOS Monuments and Sites VII, International Polar Heritage Committee.





*La desestabilización de los suelos congelados amenaza evidencias arqueológicas funerarias de los asentamientos balleneros del siglo XIX en el Parque Territorial de Isla Herschel.*

adentro para mantenerlos en suelo seco y evitar las inundaciones de las tierras bajas. Pero la erosión costera progresa, y podría ser necesario tanto otro desplazamiento como considerar el abandono de ciertas estructuras, ya que el contexto y el valor del asentamiento ballenero podrían verse comprometidos de manera irreversible.

■ El deterioro del permafrost de la Isla Herschel está conduciendo al hundimiento del suelo, lo que también amenaza los yacimientos arqueológicos. Esto representa una notoria amenaza para las históricas lápidas e incluso para los ataúdes del cementerio de Pauline Cove. Algunas sepulturas se están hundiendo con el suelo, desplazando y rompiendo en pedazos. Vestigios arqueológicos de los primeros habitantes del área ya se han perdido completamente debido a la desestabilización del suelo y a la erosión influenciadas por el derretimiento del permafrost, la acción de las olas, y de las mareas tempestuosas.

El hecho de que evidencias de amenazas del cambio climático se manifiesten en un sitio que no ha sido todavía listado como Patrimonio Mundial, plantea una preocupación particular respecto del patrimonio arqueológico. Significa que tales amenazas

se ciernen también sobre yacimientos cuya existencia es hoy en día desconocida.

Otro ejemplo remarcable de este fenómeno en el Territorio de Yukón fue observado recientemente en los alrededores del sitio del Patrimonio Mundial de Kluane/Wrangell-St Elias/Bahía de los Glaciares/Tatshenshini-Alsek (Canadá-Estados Unidos)<sup>11</sup>. Este sitio fue incluido en la Lista bajo los cuatro criterios naturales en 1979. Pero recientemente piezas de madera trabajadas por la mano del hombre, de más de 9.000 años de antigüedad, fueron descubiertas en un campo de hielo alpino aislado cercano<sup>12</sup> (aunque estos descubrimientos arqueológicos no tienen relación con la inscripción en la Lista del Patrimonio Mundial). En esta zona de América del Norte, los campos de hielo alpinos se están derritiendo rápidamente a causa de la creciente temperatura de la atmósfera. En consecuencia, nos enfrentamos a una situación paradójica en que, por un lado si el hielo no se hubiera derretido tal vez nunca hubiéramos encontrado los restos, pero por otro lado su conservación, que se debía al hielo, ahora se encuentra amenazada.

11. D. Olynyk, 2005, *Climate Change in the Western Canadian Arctic Threatens Cultural Resources, Heritage at Risk, ICOMOS World Report 2004/2005 on Monuments and Sites in Danger*.

12. P.G. Hare, et al., 2004, *Ethnographic and Archaeological Investigations of Alpine Ice Patches in Southwest Yukon, Canada*, *Journal of the Arctic Institute of North America*, 57(3), págs. 259-271.

**El sitio de Chavín es el más importante y más significativo del período formativo (1500 a 300 AC) en los Andes Centrales peruanos. Está formado por túmulos recubiertos de piedra, terrazas, plazas bajo el nivel del suelo y galerías subterráneas. Este antiguo lugar de culto es uno de los primeros y mejor conocidos sitios precolombinos. El paisaje impresiona con sus complejos de terrazas y plazas rodeadas de estructuras erectas de piedra cubiertas de ornamentación principalmente zoomórfica. Por lo tanto fue inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial en 1985, ya que representa un testimonio excepcional de una civilización que ya no existe.**

El sitio está ubicado en la provincia de Huari, en el departamento de Ancash, a 3.150 metros sobre el nivel del mar en un alto valle del lado este de la Cordillera Blanca, en la confluencia de los ríos Mosna y Wacheqsa.

Como Chan Chan (p.54) este sitio se halla expuesto a eventos de inundaciones extremas debidas a las grandes precipitaciones que ocurren durante la fase cálida de El Niño-Oscilación Austral. El sitio de Chavín sufrió los impactos de este tipo de inundaciones en 1925, durante uno de los más violentos eventos de El Niño del siglo XX. La lluvia incrementó el flujo del río Mosna y destruyó una gran cantidad de edificios a lo largo de sus orillas<sup>13</sup>.

Además, este sitio está ubicado en la Cordillera Blanca (Perú), vecino del sitio del Patrimonio Mundial natural del Parque Nacional de Huascarán. Como en todo el mundo, los glaciares de esta área se están derritiendo, lo que puede llevar a la formación de lagos glaciares, y

eventualmente a aluviones de ruptura de lagos glaciares (capítulo 1, p.23).

El 17 de enero de 1945, el sitio arqueológico y parte de la ciudad nueva fueron cubiertos completamente por un catastrófico aluvión. El fenómeno ocurrió cuando, cerca de la cabecera del río Wacheqsa (en la cara este de la Cordillera Blanca central) las aguas de la laguna Ayhuinyaraju fueron perturbadas por una avalancha de nieve y barro, abrieron una brecha en la morena y se volcaron en la laguna Carhuacochoa. La mayoría de los lagos del área es de origen glaciario y sus orillas están hechas de frágiles morenas sedimentarias de arcilla y piedras acumuladas<sup>14</sup>. En este caso particular, el resultado fueron 900.000 m<sup>3</sup> estimados de lodo, hielo, y rocas que descendieron la quebrada Wacheqsa a una velocidad de 30 km por



hora<sup>15</sup>. En la desembocadura del Wacheqsa, donde alimenta el río Mosna, el aluvión se derramó sobre el monumento arqueológico de Chavín de Huántar y sobre una porción de la adyacente ciudad moderna de Chavín. El sitio fue cubierto de una capa de hasta 3,5 metros de sedimentos, y las largas galerías subterráneas se llenaron de material inyectado por la presión del aluvión<sup>13</sup>.

Las poblaciones de la Cordillera Blanca se han visto afectadas por catástrofes asociadas con

13. L.G. Lumbreras, *Excavaciones en Chavín de Huántar*, en prensa.

14. G. Indacochea y M. Iberico, 1947, *Aluvionamiento de Chavín de Huántar el 17 de enero de 1945*, Reporte para el Instituto Geológico de Perú, págs. 21-28.

15. Indacochea and Iberico, 1947, *op. cit.*

16. D. Contreras, 2005, *comunicación personal*, Universidad de Stanford.





*Chavín está ubicado en la Cordillera Blanca en Perú, en la confluencia de los ríos Mosna y Wacheqsa.*



fenómenos geológicos. Durante los últimos sesenta años las ciudades de Chavín (1945), Huaraz (1962) y Yungay (1970) fueron barridas por aluviones. Los impactos en la conservación del sitio arqueológico de Chavín se mencionan más arriba, pero estos eventos tienen obviamente consecuencias dramáticas para los habitantes del área. Los aluviones causados por el derretimiento de glaciares son los más destructivos: los de 1962 y 1970 causaron la muerte de 5.000 y 23.000 personas respectivamente<sup>17</sup>.

Los modelos climáticos predicen un incremento del derretimiento de los glaciares en el futuro. Por ello, es necesario profundizar nuestro conocimiento de la geodinámica de los glaciares, en particular en lo que concierne al potencial aumento en la frecuencia y la fuerza de las avalanchas, de modo que puedan definirse adecuadamente medidas preventivas y de emergencia y, en lo posible, implementarse.



*El sitio arqueológico de Chavín es uno de los más antiguos y famosos lugares de culto precolombinos.*

17. G. Plafker y G.E. Ericksen, 1978, *Nevados Huascarán Avalanches, Peru*, en B. Voight, (ed.), *Rockslides and Avalanches*, Amsterdam, Elsevier, págs. 277–314.

# 4 Montañas Doradas del Altai

Federación de Rusia

62

Las montañas del Altai constituyen una importante cordillera en el suroeste de Siberia, con un área total de 1.600.000 ha y representan la más completa sucesión de biomas en altura: desde estepa, pasando por bosque-estepa, bosque mixto y vegetación subalpina hasta vegetación alpina. El sitio alberga importantes especies amenazadas de extinción como el leopardo de las nieves. El macizo del Altai se extiende a través de China, Kazajstán, Mongolia, y la Federación de Rusia. El sector ruso fue inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial bajo criterios naturales en 1998.

Vestigios arqueológicos en las Montañas Doradas del Altai: túmulos funerarios (kurgans), estelas de la Edad de Bronce y círculos de piedra. El derretimiento del permafrost amenaza la conservación de utensilios funerarios únicos y de materiales orgánicos enterrados.



características muy particulares, pero dejó pocos testimonios escritos. Entre las pocas fuentes de información sobre los escitas se encuentran sus túmulos funerarios, llamados *kurgans*.

Los contenidos de las tumbas, como objetos metálicos, piezas de oro, e incluso materiales orgánicos (cuerpos humanos momificados y a veces bellamente tatuados, caballos sacrificados, objetos de lana o cuero, ropajes, textiles, etc.), se han conservado perfectamente al hallarse situados en la zona del permafrost.

El delicado equilibrio que permitió la formación y la persistencia del permafrost en las Montañas del Altai, y por consiguiente la preservación de las tumbas, se encuentra hoy amenazado por el cambio climático<sup>18</sup>. Durante los últimos cien años ha habido un incremento de la temperatura de 1°C en la vasta área que contiene la parte templada de Asia. Los datos de Barnaul, a los pies del Altai, indican un aumento de 2°C durante los últimos cien años,

Aunque este sitio no fue listado por sus valores culturales, vale la pena remarcar que las Montañas Doradas del Altai también ofrecen un testimonio único de la cultura escita, que floreció en las estepas eurasiáticas durante el primer milenio AC. Esta civilización nómada desarrolló

18. Grupo de trabajo sobre las tumbas nevadas de las montañas del Altai: estrategias para el futuro. Organizado por en Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO, la Universidad de Gorno-Altaiisk y la Universidad de Gante, Gorno-Altaiisk, Federación de Rusia, del 28 al 31 de marzo de 2006.



Las Montañas Doradas del Altai.

siendo éste más pronunciado en invierno y en primavera. Por ende, se espera una significativa reducción del permafrost para mediados de este siglo en las Montañas del Altai. Los kurgans congelados que restan son, por lo tanto, extremadamente vulnerables al cambio climático y la conservación de valiosos vestigios de las antiguas culturas nómades de las estepas eurasiáticas se encuentra seriamente amenazada.

Además, los aluviones de ruptura de los lagos glaciares (capítulo 1, p.16) son un problema también en las Montañas del Altai. El glaciar Sofiyskiy (cordillera de Chuya) se ha retirado a razón de 18 metros por año durante el siglo XX<sup>19</sup>.

Por lo tanto la UNESCO, en cooperación con la Universidad de Gante (Bélgica), ha comenzado un proyecto<sup>20</sup> para realizar un reconocimiento completo del área, utilizando técnicas satelitales además de las tradicionales campañas de terreno. Cuando el reconocimiento esté completo, el proyecto entrará en una fase de vigilancia de las tumbas localizadas en zonas de permafrost geográficamente discontinuas. El resultado de esta iniciativa permitirá un mayor conocimiento de las potenciales consecuencias del cambio climático en la zona de permafrost de las Montañas del Altai, que será de utilidad para las autoridades competentes a la hora de establecer una estrategia de conservación de este patrimonio cultural único.

19. F. Pattyn, B. DeSmedt, S. DeBrabander, W. Van Huel, A. Agatova, A. Mistrukov y H. Declair, 2003, *Ice Dynamics and Basal Properties of Sofiyskiy Glacier, Altai Mountains, Russia based on DGPS and Radio-Echo Sounding Surveys*, Ann. Glaciol., 37, págs. 286–292.

20. *Preservation of the Frozen Tombs of the Altai Mountains, Flemish/UNESCO Cultural Trust Fund (2005-2006)*, <http://www.archaeology.ugent.be/altai/>



# 5 Ciudades y monumentos del Patrimonio Mundial

64

Los impactos adversos del cambio climático tendrán consecuencias tanto para el conjunto de la humanidad como para los productos de la creatividad humana. En el caso del Patrimonio Mundial cultural edificado estas consecuencias se pondrán de manifiesto al menos de dos maneras: por un lado en el impacto directo en edificios y estructuras, y por otro lado en los efectos en estructuras sociales y hábitats que podrían conducir a modificaciones e incluso a migraciones de las sociedades que actualmente mantienen estos sitios.

El patrimonio cultural está íntimamente ligado al clima local. Los paisajes rurales se han desarrollado en armonía con las especies vegetales capaces de desarrollarse localmente. Los paisajes urbanos y el patrimonio edificado han sido diseñados en función del clima local. La estabilidad del patrimonio cultural está, por ende, determinada por sus interacciones con el medio ambiente. Donde los sitios del Patrimonio Mundial son ocupados y utilizados cotidianamente por las comunidades locales, posiblemente sean necesarios significativos cambios adaptativos.

Se espera que el cambio climático tenga varios impactos físicos directos sobre el patrimonio edificado:

- Los edificios históricos están más íntimamente ligados al suelo que los modernos. Son más porosos, sus estructuras absorben agua del suelo que se evapora a través de su superficie, generando efectos secundarios de erosión y de corrosión. Las interfases representadas por sus paredes y pisos son las superficies de intercambio para estas reacciones. El incremento de la humedad del suelo puede resultar en una mayor circulación de sales disueltas y con ella en una mayor cristalización, dañina para las superficies decoradas, pero también en mayores tensiones e inestabilidad en el suelo y eventual-

mente en subsidencia. El incremento de la frecuencia de precipitaciones extremas puede causar problemas en los sistemas de drenaje históricos, incapaces de manejar cantidades extras de lluvia, que frecuentemente son de difícil acceso, mantenimiento y ajuste.

- Variaciones extremas y repentinas o cambios en la amplitud en los ciclos diarios y estacionales de humedad y temperatura pueden causar roturas, grietas, descascaramientos y polvo en materiales y superficies. La cantidad anual de ciclos de congelación/derretimiento debe recibir una atención especial, ya que éstos son perjudiciales para las estructuras construidas al aire libre.

- La madera y otros materiales orgánicos de construcción pueden sufrir un aumento de las infecciones biológicas, como resultado de la migración de parásitos hacia mayores altitudes o hacia áreas que no sufrían tales problemas en el pasado.

- Las inundaciones, constituidas invariablemente de aguas poluidas y erosivas por su rápido flujo, producen daños en los materiales de construcción no diseñados para soportar inmersiones prolongadas. Además, al retirarse las aguas proliferan los microorganismos dañinos como los hongos, favorecidos por la humedad.

- La erosión costera, causante de que la línea de la costa evolucione tierra adentro puede amenazar a ciertos edificios costeros de destrucción total.

- Más tormentas y vientos violentos pueden provocar daños estructurales

tanto en estructuras enteras como en elementos particularmente vulnerables.

- Desertificación, salinidad y erosión amenazan el patrimonio cultural en zonas áridas.

El cambio climático provoca principalmente riesgos físicos. Pero a su vez, éstos tienen consecuencias sociales y culturales. Cuando se trata de patrimonio "dinámico", es decir, de edificios y paisajes en que la gente vive, trabaja, reza o simplemente se reúne, es importante subrayar las consecuencias culturales. Estas consecuencias pueden deberse a la degradación del bien considerado. Pero el cambio climático puede obligar a la población a migrar (bajo la presión del aumento del nivel del mar, de la desertificación, de inundaciones, etc.) conduciendo a la ruptura de comunidades y al abandono de sus propiedades

inmuebles, con la posible pérdida de rituales y memoria cultural. En lo que concierne a la conservación del patrimonio cultural estos abandonos provocan gran preocupación en contextos en que conocimientos y habilidades tradicionales son esenciales para asegurar el mantenimiento apropiado de estos bienes. En este sentido los cambios biológicos (con el desplazamiento de especies) pueden también tener un impacto en los problemas de conservación, a causa de la reducción de la disponibilidad de especies nativas necesarias para la reparación de estructuras y edificios.

La evaluación de los impactos del cambio climático sobre el Patrimonio Mundial cultural debe, por lo tanto tener en cuenta las complejas interacciones entre los aspectos naturales, culturales y sociales.



*Acqua alta en Venecia  
Italia*



## Estudio de caso principal

# Sitios del Patrimonio Mundial de la Ciudad de Londres

Reino Unido

Existen tres sitios del Patrimonio Mundial situados dentro de la ciudad de Londres o en su inmediata vecindad sobre las orillas del Támesis, que subrayan el papel histórico de éste como arteria primaria de comunicación.

El palacio de Westminster, reconstruido en el año 1840 sobre importantes vestigios medievales, es un bello ejemplo de la arquitectura neogótica. Este sitio de gran importancia histórica también incluye la pequeña iglesia medieval de Santa Margarita, construida en estilo gótico perpendicular, y la abadía de Westminster, en donde han sido coronados todos los soberanos desde el siglo XI. Estos bienes fueron incluidos conjuntamente en la Lista del Patrimonio Mundial en 1987.

La Torre de Londres fue inscrita en 1988. Organizada originalmente en torno a una torre central llamada "la Torre Blanca", construida por Guillermo el Conquistador para proteger a Londres de posibles invasores y para reforzar su poder y autoridad, devino con el tiempo una impresionante fortaleza en la que pueden apreciarse varios períodos históricos, y que se convirtió en uno de los símbolos de la monarquía, cuya influencia alcanzaba a todo el reino.

El conjunto de los edificios de Greenwich, un suburbio de Londres, y el parque en que se encuentran, simbolizan los esfuerzos artísticos y científicos





Varios sitios del Patrimonio Mundial se encuentran amenazados por inundaciones y mareas en la ciudad de Londres (Reino Unido), en la foto: la Torre de Londres.

de Inglaterra durante los siglos XVII y XVIII. Fueron incluidos en la Lista bajo criterios culturales en 1997. La Casa de la Reina del arquitecto Inigo Jones, fue la primera villa del Palladianismo en Inglaterra, mientras que el complejo que fue hasta hace poco tiempo la Real Escuela Naval, fue diseñado por Sir Christopher Wren. El parque, establecido sobre la base de un concepto original del paisajista francés André Le Nôtre, contiene el antiguo observatorio real, con los trabajos de Sir Christopher Wren y del científico Robert Hooke.

## Impactos del cambio climático

El cambio climático puede conducir a inundaciones más frecuentes e intensas del río Támesis, que atraviesa la ciudad de Londres. El mayor peligro de inundaciones para Londres proviene de una combinación de mareas altas y violentas tempestades causadas por depresiones atmosféricas en el Mar del Norte, que pueden encauzar las aguas meridionales del Mar del Norte a través del estuario del Támesis<sup>1</sup>.

En consecuencia, la combinación del aumento del nivel del mar y de cambios en los regímenes de tormentas representa un peligro significativo para los sitios del Patrimonio Mundial ubicados en las márgenes del río Támesis. Para un escenario futuro de emisiones de CO<sub>2</sub>

no mitigadas, los modelos climáticos predicen que el efecto conjunto del aumento del nivel del mar y de cambios en los regímenes de tormentas será un aumento de la incidencia de inundaciones causadas por mareas tempestuosas<sup>2</sup>.

Museo Marítimo Nacional,  
antiguamente Real Escuela  
Naval, Greenwich.

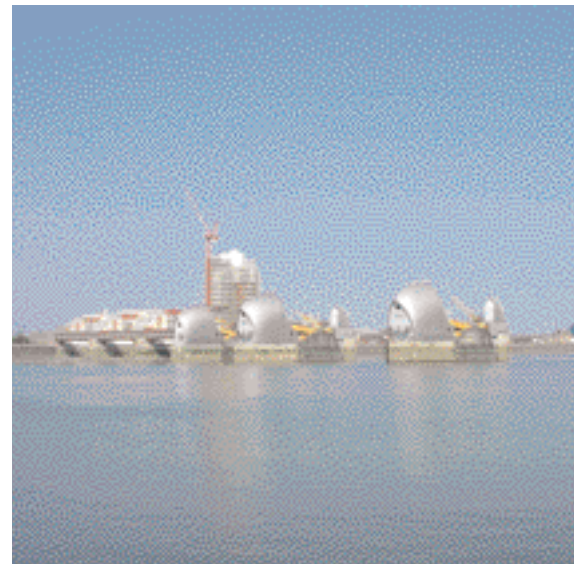
1. London Climate Change Partnership, 2002, *Climate Change Impacts in a London Evaluation Study, Reporte Final*, 311 págs., [http://www.london.gov.uk/gla/publications/environment/londons\\_warming\\_tech\\_rpt\\_all.pdf](http://www.london.gov.uk/gla/publications/environment/londons_warming_tech_rpt_all.pdf)  
2. J. Lowe, 2003, *The Effects of Climate Change on Storm Surges Around the UK*, en *The Big Flood: An International Scientific Meeting on North Sea Storm Surges*.





Abadía de Westminster  
e iglesia de Santa Margarita.

La ciudad de Londres tiene altos estándares de protección gracias a defensas como la Barrera del Támesis, diseñada y construida de los años 70 en respuesta a las catastróficas inundaciones de 1953. Las defensas de Londres y del estuario del Támesis contra las mareas se encuentran entre los mejores del mundo y deberían haber proporcionado un alto nivel de protección más allá de 2030. Pero para su



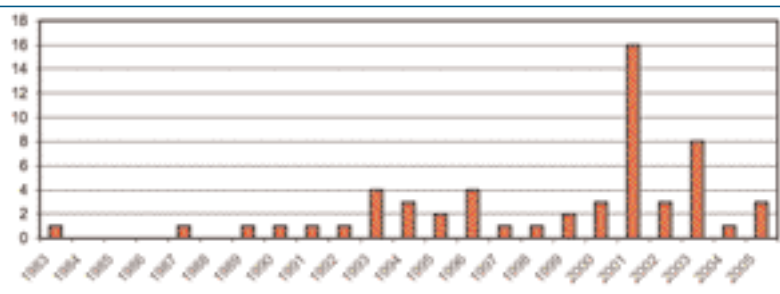
Observaciones de la superficie del agua en el estuario del Támesis muestran que los niveles mínimos y máximos se han incrementado en los últimos dos siglos. En Sheerness (en la dirección del estuario del Támesis) se ha observado una tendencia positiva de largo plazo de 0,4 mm por año durante el siglo XIX y de 2,2 mm por año durante el siglo XX. Los valores extremos han crecido más rápidamente que los valores promedio, en parte a causa de la deposición de sedimentos en el estuario y del dragado de los canales<sup>3</sup>.

diseño fueron utilizadas las tendencias históricas de niveles extremos de las aguas, y hoy en día los efectos del cambio climático condicionan una visión pesimista del riesgo de inundaciones en el futuro<sup>4</sup>. Se suponía que la Barrera del Támesis debía funcionar dos a tres veces por año, pero este número ha sido superado varias veces en el pasado reciente.

El aumento proyectado del nivel del mar trae aparejada una importante amenaza para Londres. El Programa Británico para los Impactos del Cambio Climático (United Kingdom Climate Impacts Programme, UKCIP) sugiere que el aumento del nivel del mar en el estuario del Támesis alcanzará entre 0,26 y 0,86 metros en 2080 comparado con los niveles promedio entre 1961 y 1990<sup>5</sup>.

Además, el calentamiento global podría provocar una reducción del número total de tormentas extratropicales, pero un aumento del número de eventos extremos<sup>6</sup>. Y es justamente

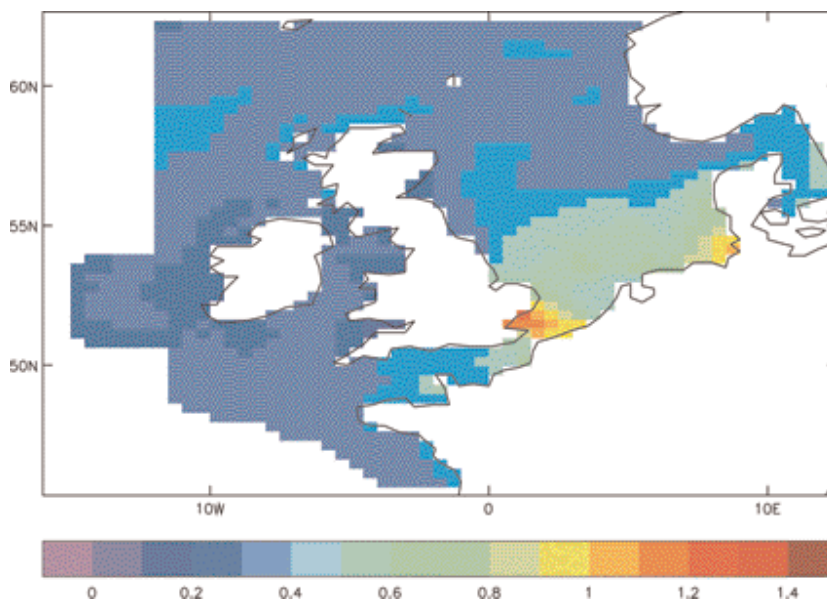
Número anual de veces que la Barrera del Támesis fue cerrada a causa de crecidas debidas a la marea durante la estación invernal de inundaciones. (proyecto Thames Estuary 2100).



3. K. Lonsdale, T.E. Downing, R.J. Nicholls, A.T. Vafeidis, D. Parker, R.J. Dawson y J.W. Hall, 2005, A Dialogue on Responses to an Extreme Sea Level Rise Scenario in the Thames Region, United Kingdom, in ATLANTIS Atlantic Sea-level rise, Adaptation to Imaginable Worst Case Climate Change. <http://www.uni-hamburg.de/Wiss/FB/15/Sustainability/annex13.pdf>
4. S. Lavery, 2003, Planning for Flood Risk Management in the Thames Estuary: Looking Ahead 100 years, en The Big Flood: An International Scientific Meeting on North Sea Storm Surges.
5. M. Hulme, G.J. Jenkins, X. Lu, J.R. Turnpenny, T.D. Mitchell, R.G. Jones, J. Lowe, J.M. Murphy, D. Hassell, P. Boorman, R. McDonald y S. Hill, 2002, Climate Change Scenarios for the United Kingdom: The UKCIP02 Scientific Report, Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, Reino Unido, 120 págs., Capítulo 6. [http://www.ukcip.org.uk/scenarios/ukcip02/documentation/documents/UKCIP02\\_Ch6.pdf](http://www.ukcip.org.uk/scenarios/ukcip02/documentation/documents/UKCIP02_Ch6.pdf)
6. S.J. Lambert y J.C. Fyfe, 2006, Changes in Winter Cyclone Frequencies and Strengths Simulated in Enhanced Greenhouse Warming Experiments: Results from the Models Participating in the IPCC Diagnostic Exercise. Climate Dynamics, 26(7-8), págs. 713-728.

**Evolución de las inundaciones (en metros) provocadas por mareas con una frecuencia de 50 años previstas para 2080 en un escenario de emisiones medianas a altas de gases de efecto invernadero. (Programa de Impactos Climáticos del Reino Unido-UKCIP 2002)\***

\* UKCIP 2002 Climate Change Scenarios, centros Tyndall y Hadley para UKCIP, con financiamiento de la Defra.



La Barrera del Támesis protege a la ciudad de Londres de las marejadas, pero su diseño en los años 70 no tuvo en cuenta los impactos del cambio climático.

la combinación de tempestades intensas y aumento del nivel del mar lo que favorece las inundaciones en las zonas expuestas a las mareas en Europa Occidental como el caso del estuario del río Támesis.

ocurría sólo cada 1.000 años podría aumentar su probabilidad, y pasar a ocurrir cada 200 años. Para 2100, se estima que la Barrera del Támesis deberá ser utilizada 200 veces por año para proteger a Londres de inundaciones causadas por la marea<sup>7</sup>.

Para 2050, un aumento del nivel del mar de 34 cm en Sheerness cambiaría la frecuencia de los extremos: una gran inundación que antes

## Soluciones posibles

En las zonas inundables del Támesis (principalmente en Londres) se hallan situados bienes por un valor estimado de más de 80 mil millones de libras esterlinas. Una inundación cuya amplitud superase la capacidad de la Barrera del Támesis tendría un costo indirecto para la economía británica de 30 mil millones de libras esterlinas, y puede esperarse que tal evento afecte al menos a los tres sitios del Patrimonio Mundial más cercanos al Támesis, es decir Greenwich Marítimo, la Torre de Londres y el Palacio de Westminster. El rápido flujo de las aguas erosionaría sus muros, y al retirarse, las condiciones estarían dadas para la proliferación de organismos dañinos como moho y hongos.

La Barrera del Támesis brindará protección hasta 2025 antes de que sea excedida por una inundación de las que ocurren cada 1.000 años, y por lo tanto es oportuno tomar medidas de adaptación apropiadas ahora. Actualmente se encuentran en ejecución actividades de observación asociadas al proyecto de la Agencia Ambiental Británica

“Estuario del Támesis 2100” (*Thames Estuary 2100 Project*), en una iniciativa conjunta de las regiones Anglia, Sur y Támesis, cuyo objetivo es determinar los niveles adecuados de protección contra las crecidas que Londres y el estuario del Támesis necesitarán durante los próximos cien años<sup>8</sup>.

7. London Climate Change Partnership, 2002, op. cit.

8. Thames Estuary 2100 Project, (TE2100), [http://www.thamesweb.com/page.php?page\\_id=60&topic\\_id=9](http://www.thamesweb.com/page.php?page_id=60&topic_id=9)

# Venecia y su laguna Italia

# 5

Fundada en el siglo V sobre 118 pequeñas islas diseminadas, Venecia devino una potencia marítima en el siglo X. La ciudad es una extraordinaria obra de arte arquitectónica en la cual incluso los palacios menores poseen obras de algunos de los más grandes pintores como Giorgione, Tiziano, Tintoretto, Veronese y otros artistas.

La ciudad y su laguna están directamente asociadas con eventos y tradiciones vivientes, con ideas, creencias y trabajos artísticos y literarios de importancia universal. Por lo tanto fue inscrita en la Lista del Patrimonio Mundial en 1987 bajo los seis criterios culturales.

En su evaluación, ICOMOS, en su papel de órgano consultivo del Comité del Patrimonio Mundial, agrega: "Venecia simboliza la lucha victoriosa de la humanidad contra los elementos y el dominio que hombres y mujeres han impuesto sobre la naturaleza hostil". Pero este enunciado puede leerse desde una perspectiva diferente en el contexto del cambio climático.

De acuerdo con registros arqueológicos, en el pasado Venecia se ha estado hundiendo a razón de 10 centímetros por siglo a causa de subsidencia natural, es decir, el aumento del nivel del agua por la propagación del delta y la compresión de los sedimentos. Pero durante el siglo XX perdió de 10 a 13 centímetros extra pues las industrias circundantes estaban extrayendo agua freática de los acuíferos profundos. Este proceso terminó en los años 70, pero el daño irreversible ya estaba hecho<sup>9</sup>.



Estos factores contribuyen al aumento local del nivel del mar y deberían ser considerados en un contexto más amplio con el cambio climático causando un aumento a nivel global. El aumento del nivel del mar previsto a nivel global ha sido mencionado varias veces antes en esta publicación. El derretimiento de glaciares y

calotas y la expansión térmica de un mar más cálido conducen a un aumento en el volumen promedio de los océanos, también denominado "aumento del nivel del mar eustático" para diferenciarlo del aumento del nivel del mar relativo que es el incremento neto debido tanto a cambios locales como globales<sup>10</sup>.

9. A. Somers Cocks, 2005, *Venice in Peril. The British Committee for the Conservation of Venice*, <http://www.veniceinperil.org/news/news.asp?id=86>

10. IPCC, 2001, *GT2*, op. cit., *Glosario*.





Los episodios de acqua alta se están volviendo más frecuentes en Venecia y las proyecciones climáticas con emisiones moderadas de gases de efecto invernadero sugieren que la ciudad podría inundarse todos los días hacia fines del siglo.



El IPCC reporta que el promedio global del nivel del mar ha aumentado entre 0,1 m y 0,2 m durante el siglo XX y se espera que aumente entre 0,09 m y 0,88 m adicionales entre 1990 y 2100<sup>11</sup>. Pero las especificidades regionales deben ser también tenidas en cuenta. Por un lado, en el Mediterráneo, el incremento de nivel del mar es compensado por la disminución del flujo entrante de agua dulce (por la disminución de las precipitaciones promedio), lo que produce un incremento en la densidad del agua marina<sup>12</sup>. Pero por otro lado deltas, islas, humedales costeros y estuarios se hallan entre los ambientes costeros más amenazados en Europa<sup>13</sup>. Además, la amplitud de las mareas es un factor importante, ya que la sensibilidad prevista a un aumento del nivel del mar dado es máximo en áreas con diferencias pequeñas entre la pleamar y la bajamar. El Mediterráneo es típicamente un área de amplitud de mareas limitada, lo que sugiere que su vulnerabilidad al aumento del nivel del mar se verá exacerbada<sup>14</sup>.

La combinación de cambios en el nivel del mar locales y globales tiene como resultado neto un aumento del nivel del mar en Venecia. En el pasado reciente, la frecuencia de inundaciones con daños a esta ciudad única se ha

incrementado grandemente y de los diez mayores eventos de *acqua alta* entre 1902 y 2003, ocho han ocurrido desde 1960<sup>15</sup>. En lo que concierne a las previsiones futuras, de acuerdo a los escenarios moderados de cambio climático, el hundimiento neto de Venecia podría alcanzar 54 cm en 2100. En consecuencia, si todo continúa como está, Venecia podría inundarse cotidianamente.

Las soluciones al problema de las inundaciones en Venecia son objeto de continuos debates<sup>16,17</sup>. Considerando que (1) deberían ser explorados enfoques de gestión dinámica que hagan intervenir procesos naturales para balancear el aumento del nivel del mar antes de pasar a construir diques de grandes proporciones<sup>18</sup>, y que (2) el desarrollo de las respuestas adecuadas debe tener en cuenta los desafíos ambientales de Venecia y de su laguna, el Gobierno Italiano finalmente optó por la implementación de barreras móviles (llamadas sistema MOSE, por *Modulo Sperimentale Elettromeccanico*) para defender a la ciudad de Venecia de las aguas altas. Los trabajos están siendo iniciados para la protección de la plaza de San Marco y para la construcción de escolleras para la entrada de agua de Malamocco<sup>19</sup>.

11. IPCC, 2001, GT1, op. cit., Resumen para responsables de políticas.

12. M.N. Tsimplis, and T.F. Baker, 2000, *Sea Level Drop in the Mediterranean Sea: An Indicator of Deep Water Salinity and Temperature Changes?* Geophysical Research Letters, 27, págs. 1731-1734.

13. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Sección 13.2.1.3.

14. R.J. Nicholls, and N. Mimura, 1998, *Regional Issues Raised by Sea-Level Rise and their Policy Implications*, Climate Research, 11, págs. 5-18.

15. M. Chown, 2004, *New Scientist*, 25 de diciembre de 2005, 77, disponible en: <http://www.veniceinperil.org/news/news.asp?id=52>

16. E.C. Penning-Rowsell, C.H. Green, P.M. Thompson, A.M. Coker, S.M. Tunstall, C. Richards y D.J. Perker, 1992, *The Economics of Coastal Management: A Manual of Benefit Assessment Techniques*, Belhaven Press, Londres, Reino Unido.

17. Consorzio Venezia Nuova, 1997, *Medidas para la protección de Venecia y de su laguna*, Consorzio Venezia Nuova (concesión del Ministerio de Trabajos Públicos, Autoridad de gestión del agua de Venecia), Venecia, Italia.

18. A. Sanchez-Arcilla, J. Jimenez y H.I. Valdemoro, 1998, *The Ebro Delta: Morphodynamics and Vulnerability*, Journal of Coastal Research, 14, págs. 754-772.

19. Universidad de Cambridge y Churchill College (Cambridge) en asociación con el Consorzio de coordinación de la investigación relativa al sistema de la laguna de Venecia (Corila) bajo una iniciativa del Fondo Venecia en Peligro (Comité británico para la preservación de Venecia). <http://ccru.geog.cam.ac.uk/research/projects/venice2003/background.html>

# 5

## Centros históricos de Český Krumlov y Praga

República Checa

72

En 1992, el Comité del Patrimonio Mundial también decidió inscribir el centro histórico de Český Krumlov, una ciudad checa ubicada al sur de Praga. La ciudad fue construida a orillas del río Vltava alrededor de un castillo del siglo XIII con elementos góticos, renacentistas y barrocos. Es un ejemplo remarkable de pequeña ciudad medieval centroeuropea cuyo patrimonio arquitectónico ha permanecido intacto gracias a su evolución pacífica a lo largo de más de cinco siglos.

Pero el sitio se encuentra expuesto a catástrofes naturales como las intensas inundaciones sufridas por Europa del Este durante el verano de 2002. Los sitios del Patrimonio Mundial de Praga y Český Krumlov sufrieron daños significativos durante esos eventos.

En Praga, algunos edificios se inundaron hasta dos metros sobre el nivel del suelo y muchos edificios anegados colapsaron. En Český Krumlov, el centro histórico se inundó hasta cuatro metros y alrededor de 150 edificios de

**El centro histórico de Praga fue inscrito en la Lista del Patrimonio Mundial bajo criterios culturales en 1992. La ciudad vieja fue construida entre los siglos XI y XVIII y la ciudad baja y la parte moderna ilustran las grandes influencias arquitectónicas y culturales recibidas por esta ciudad desde la Edad Media. La mayoría de sus magníficos monumentos como el castillo de Hradčani, la catedral de San Vito, el puente de Carlos y numerosas iglesias y palacios fueron construidos en el siglo XIV durante el Sacro Imperio, bajo Carlos IV.**

los períodos gótico y renacentista sufrieron considerables daños. Fue sólo gracias a la elección de los constructores medievales de la región checa de usar piedras, ladrillos y cal en vez de materiales menos duraderos como madera o barro, que se evitaron daños mucho peores.

El desafío más importante enfrentado durante la recuperación de la inundación fue secar los muros y estructuras saturados de agua antes de que el congelamiento invernal provocara mayores daños. Preservar la autenticidad de los sitios no fue fácil debido a la necesidad de reemplazar elementos históricos por materiales modernos más resistentes a las inundaciones.

En cierta medida estas inundaciones están relacionadas con el cambio climático. El IPCC sostiene que es muy probable que las precipitaciones promedio se hayan incrementado de 0,5% a 1% por década durante el siglo XX sobre mayoría de las áreas continentales del





*El centro histórico  
Český Krumlov.*

*El centro histórico de Praga se ha visto expuesto en el pasado a inundaciones catastróficas y las tendencias futuras en las precipitaciones deben ser integradas en el diseño de medidas de protección contra las crecidas y en los planes de gestión.*

hemisferio norte. Además la frecuencia de precipitaciones intensas ha aumentado de 2% a 4% a lo largo de la segunda mitad del siglo XX en estas áreas<sup>20</sup>. La representación precisa de precipitaciones intensas, localizadas y de corta duración sigue siendo difícil para los modelos climáticos, incluso si se esperan mejoras significativas en los próximos años<sup>21</sup>.

Considerando que (1) el IPCC advierte que la frecuencia de precipitaciones intensas muy probablemente aumentará globalmente<sup>22</sup> y que (2) los sitios del Patrimonio Mundial en la República Checa han mostrado en el pasado estar particularmente expuestos, es hora de implementar estrategias de respuesta adecuadas.

Las acciones de emergencia emprendidas en 2002 pudieron evitar que los sitios sufrieran daños peores. Pero es necesario pasar de una perspectiva reactiva a una proactiva (y preventiva). El mantenimiento regular es mucho más efectivo que intervenciones puntuales, y análisis de riesgo robustos incluyendo elementos de gestión de riesgo serían de gran ayuda para la conservación de estos sitios. Por estos motivos, el gobierno checo se encuentra actualmente reforzando las medidas de protección contra las inundaciones de estos sitios del Patrimonio Mundial.

20. IPCC, 2001, GT1, op. cit., Resumen para responsables de políticas.

21. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Sección 4.3.8.

22. IPCC, 2001, GT1, op. cit., Resumen para responsables de políticas.



# 5

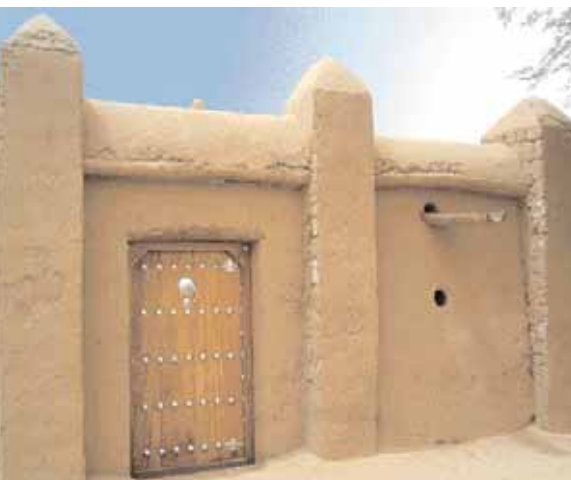
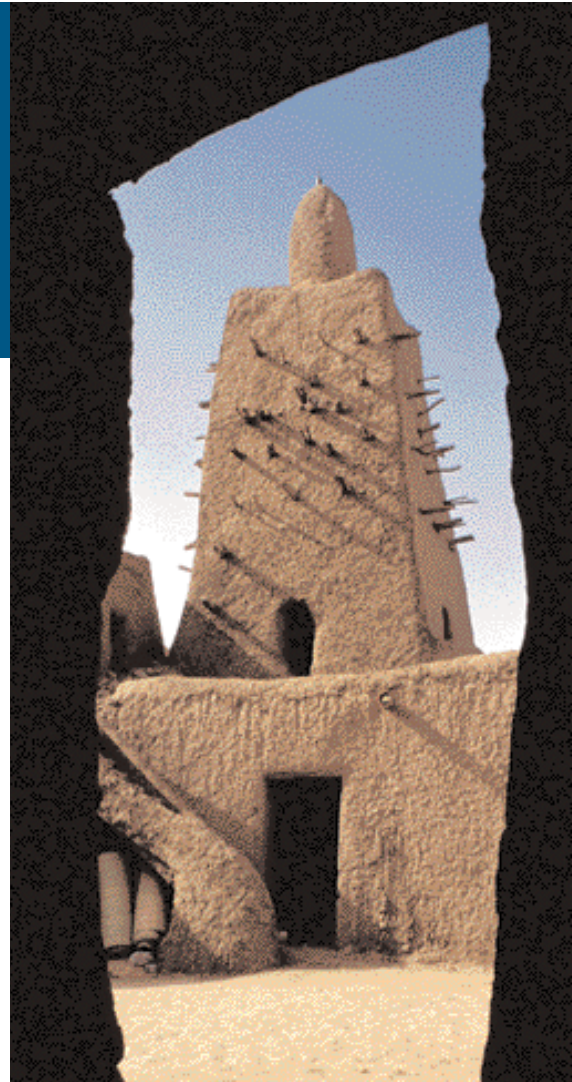
## Tombuctú Mali

74

Sede de la prestigiosa Universidad Coránica de Sankoré y de otras madrasas, Tombuctú era una capital intelectual y espiritual, y centro de propagación del Islam a través de África en los siglos XV y XVI. Las grandes mezquitas de Djingareyber, Sankoré y Sidi Yahia nos recuerdan la edad de oro de Tombuctú y, por lo tanto, fue inscrita en la Lista del Patrimonio Mundial en 1988. Hoy en día la desertificación amenaza a este sitio del Patrimonio Mundial.

La Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (CLD) define desertificación como la degradación en áreas áridas, semiáridas, y secas subhúmedas resultante de varios factores, incluyendo variaciones climáticas y actividades humanas<sup>23</sup>. Se estima que en el pasado reciente la desertificación en África ha reducido en un 25% el potencial de productividad vegetativa de más de 7 millones de km<sup>2</sup>, el equivalente de un cuarto de la extensión del continente<sup>24</sup>.

La desertificación ejerce una presión sensible sobre las mezquitas de Tombuctú. En el pasado, las paredes de la mezquita de Sankoré se han estado elevando periódicamente para combatir el avance de la arena. Como resultado, su techo se encuentra en la actualidad un metro más alto que en 1952. Esta amenaza de invasión de la arena justificó su inscripción en la Lista del Patrimonio Mundial en Peligro entre 1990 y 2005, y un programa específico se llevó a cabo para preservar el sitio.



*La amenaza del avance de la arena sobre la Mezquita de Sankoré justificó la inscripción de Tombuctú en la Lista del Patrimonio Mundial en Peligro. Tradicionalmente los muros han sido continuamente elevados para compensar el avance de la arena. Nótese la diferencia de altura entre los drenajes de 1952 y los de hoy en día.*

La identificación de los factores responsables de la desertificación de la región de Tombuctú es aún debatida por los expertos. Como en otras partes del mundo, la importancia relativa de los cambios climáticos y antropogénicos (locales) causantes de esta desertificación sigue siendo un problema abierto<sup>25</sup>. Algunos científicos juzgan que los factores antropogénicos dominan por sobre los elementos climáticos, mientras que otros estiman que las sequías prolongadas son el factor principal. También vale la pena mencionar la importante retroacción entre cambio climático y desertificación, ya que la degradación del suelo afecta al clima local.

23. Organización de las Naciones Unidas, 1994, Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (UNCCD). Documento de la ONU No. A/AC.241/27, ONU, Nueva York, Estados Unidos, 58 págs.

24. PNUMA, 1997, Atlas Mundial de la Desertificación, 2da ed. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, E. Arnold, Londres, Reino Unido, 69 págs.

25. IPCC, 2001, GT2, op. cit., Sección 10.2.6.

*Djingareyber es la mayor y más compleja de las mezquitas de Tombuctú.*

*La restauración de las antiguas mezquitas de Tombuctú fue llevada a cabo por artesanos locales utilizando prácticas tradicionales.*



En los alrededores de las mezquitas de Tombuctú, la influencia de la desertificación antropogénica no puede ser despreciada debido a prácticas tradicionales como la renovación de la fina arena del interior de las viviendas antes de las festividades religiosas importantes. Sin embargo el cambio climático también desempeña un importante papel. Entre 1901 y 1996, la temperatura aumentó 1,4°C en el área, y el impacto de la sequías se está volviendo relevante. Los cambios previstos muestran que en el futuro el área enfrentará una disminución de las precipitaciones en promedio, y un incremento en la temperatura de la atmósfera, que seguramente favorecerán la invasión de la arena y el daño causado por las tormentas de arena en Tombuctú.

Otro factor climático digno de atención son los eventos de precipitación extrema. En el pasado reciente, las mezquitas de barro de Tombuctú han sufrido severos daños durante las intensas lluvias de 1999, 2001 y 2003 que provocaron el colapso de edificios tradicionales de adobe, y también afectaron edificios más recientes. La modelización de los cambios en los regímenes de precipitaciones intensas en el Sahel es un verdadero desafío. Sin embargo, los impactos potenciales que tales eventos puedan tener sobre la conservación de este sitio único subrayan la necesidad de responder a estas importantes preguntas.

Varias acciones se encuentran en ejecución para proteger a la ciudad de Tombuctú de estos impactos, incluyendo:

- la restauración de las mezquitas y de las casas dañadas;
- a limpieza de la arena en los alrededores de las mezquitas;
- la creación de zonas de protección para evitar que la arena invada las mezquitas;
- la mejora de los sistemas de drenaje pluvial.

Estas actividades se desarrollaron asegurando la colaboración y participación activa de todos los interesados (Imanes, la ciudad de Tombuctú, la Misión Cultural de Tombuctú, etc.). Un aspecto importante fue la participación de artesanos locales en el proceso de restauración. Las lecciones aprendidas durante este proyecto constituyen los mejores ejemplos del uso de prácticas tradicionales para asegurar la conservación del patrimonio cultural frente al cambio climático.

El éxito de estas medidas llevó al Comité del Patrimonio Mundial a retirar a Tombuctú de la Lista del Patrimonio Mundial en Peligro. Pero la amenaza emergente del cambio climático requiere que se mantenga un atento seguimiento en aras de la conservación de este bien.



# Ouadi Qadisha y

(Valle Santo)

## bosque de los cedros de Dios

(Horsh Arz el-Rab)

Líbano

Algunos sitios del Patrimonio Mundial han sido inscritos bajo criterios culturales a causa de características naturales que les confieren una importancia cultural particular. Por lo tanto, si el cambio climático afectara la conservación de esas características naturales, podría también poner en peligro sus valores culturales.

El Ouadi Qadisha (Valle Santo) es uno de los establecimientos monásticos del primer cristianismo más importantes del mundo. Sus monasterios, muchos de los cuales son antiquísimos, ocupan posiciones impactantes en un paisaje accidentado. No lejos de allí se encuentran los vestigios del famoso bosque de los cedros de Dios del Líbano, apreciados en la antigüedad para la construcción de edificios religiosos. El cedro (*Cedrus libani*) está descrito en antiguos tratados de botánica como el árbol más antiguo del mundo. Debido a la dureza y agradable aroma de su madera, los antiguos pueblos del área incluyendo a los fenicios, los israelitas y los primeros cristianos, lo utilizaron para construir templos, palacios y embarcaciones.



Ouadi Qadisha.



77



**Se espera que a lo largo del siglo XXI el clima del Bosque de los cedros de Dios cambie de oromediterráneo a perhúmedo, lo que podría afectar la conservación de los cedros.**

Los cambios y amenazas que se observan actualmente en este sitio del Patrimonio Mundial están más relacionados con la interferencia humana que con el cambio climático. Sin embargo, ya existen varias indicaciones de que están ocurriendo cambios en el clima tendientes a una mayor aridez<sup>26,27</sup> que podrían amenazar la conservación del bosque de los cedros de Dios.

El Líbano alberga seis zonas bioclimáticas: árida, semiárida, subhúmeda, húmeda, perhúmeda y oromediterránea. Se han llevado a cabo experimentos numéricos para investigar el cambio climático futuro sobre el Líbano para los años 2020, 2050 y 2080<sup>28</sup>, y los resultados de la modelización muestran cambios significativos en los porcentajes de las áreas correspondientes a las diferentes zonas bioclimáticas. Para el año 2080 aparecerá una nueva zona: árida extrema. La superficie de otras decrecerá desde una contracción del 18% de la zona húmeda hasta una desaparición completa de

la zona oromediterránea para el año 2050. El área árida posiblemente aumente hasta un 13,2% para el año 2080<sup>29</sup>.

Actualmente, el valle de Qadisha comparte las áreas húmeda y perhúmeda y el bosque de los cedros de Dios se ubica en la zona oromediterránea. El efecto esperado del cambio climático sobre el bosque de los cedros de Dios es de transformarlo en perhúmedo, mientras que la parte baja del valle de Qadisha se volvería subhúmeda.

Estos cambios implicarían tanto un desplazamiento de especies vegetales, al que ciertas especies no sobrevivirían, como la invasión de otras especies a expensas de las locales. En consecuencia, la distribución espacial, la estructura y la composición de las comunidades se verán afectadas<sup>30</sup>, lo que abre preocupantes interrogantes acerca de la conservación del bosque de los cedros de Dios.

26. M. Khawlie, 1999, *Assessment of Lebanon's Vulnerability to Climate Change – Water Resources*, en First National Communication on Climate Change, Ministerio del Medio Ambiente, Líbano, PNUD, GEF, B2, págs. 1-39.

27. M. Khawlie, 2003, *The Impacts of Climate Change on Water Resources of Lebanon – Eastern Mediterranean*, en C. Giupponi y M. Shechter, (eds.), *Climate Change in the Mediterranean – Socio-Economic Perspectives of Impacts, Vulnerability and Adaptation*, Edward Edgar Publication, Reino Unido, págs. 94-107.

28. Ministerio del Medio Ambiente, Líbano, 1999, *Anexo técnico de First National Communication on Climate Change*, Beirut, Líbano.

29. S. Safi, 1999, *Assessment of Bioclimatic Change – Lebanon Case Study*, en First National Communication on Climate Change, Ministerio del Medio Ambiente, Líbano, UNDP, GEF, B1, págs. 1-19.

30. R. Sadek, 1999, *Assessment of Terrestrial Ecosystems to Impacts of Climate Change*, en First National Communication on Climate Change, Ministerio del Medio Ambiente, Líbano, UNDP, GEF, B4, págs. 9-38.

## Fotografías utilizadas en esta obra

- Tapa:** *Imagen satelital de los glaciares del Himalaya en Bhután* © NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, J. Kargel y el equipo EUA/Japón ASTER. <http://visibleearth.nasa.gov/>
- p. 11 *Mapa mundial* © NASA Goddard Space Flight Center. Imagen de Reto Stöckli, Robert Simmon, MODIS Land Group, MODIS Science Data Support Team, MODIS Atmosphere Group, MODIS Ocean Group  
Datos adicionales del centro de datos USGS EROS. <http://visibleearth.nasa.gov/>
- p. 12 *Tendencias en la concentración pasada de CO<sub>2</sub>* © IPCC, 2001
- p. 13 arriba *Tendencias pasadas y futuras de temperatura* © IPCC, 2001
- p. 13 abajo *Aumento del nivel del mar estimado* © IPCC, 2001
- p. 17 *Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn* © L. Albrecht / Pro Natura Zentrum Aletsch
- p. 19 arriba *Parque Nacional de Sagarmatha, glaciar Pattar* © UNESCO / J.M. Gassend
- p. 19 abajo *Parque Nacional de Sagarmatha, valle Pheviche* © UNESCO / J.M. Gassend
- p. 22 *Lago glaciar de Tsho Rolpa* © P.K. Mool, S.R. Bajracharya y S.P. Joshi (2001). *Inventory of glaciers, glacial lakes and glacial lakes outburst flood monitoring and early warning systems in the Hindu Kush–Himalayan Region – Nepal*. Katmandú. ICIMOD
- p. 23 arriba *Cordillera de Huayhuash en 1936* © E. Schneider, cortesía de la Asociación de Estudios Alpinos Comparados, Munich. Archivos de A. Byers, The Mountain Institute
- p. 23 abajo *Cordillera de Huayhuash en 2003* © A. Byers, The Mountain Institute
- p. 24 arriba *Fiorde helado de Ilulissat* © UNESCO archivo de nominación / J. Lautrup GEUS
- p. 24 abajo *Derretimiento de la calota de Groenlandia* © Arctic Climate Impact Assessment, 2004, <http://www.acia.uaf.edu>
- p. 25 *Monte Kilimanjaro* © NASA, J. Williams, NASA Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio, USGS y el equipo científico del Landsat 7. <http://veimages.gsfc.nasa.gov>
- p. 26 *Glaciar Aletsch en 1979, 1991, y 2002* © L. Albrecht / Pro Natura Zentrum Aletsch
- p. 27 *El Eggishorn en la región de Jungfrau* © L. Albrecht / Pro Natura Zentrum Aletsch
- p. 29 *La Gran Barrera* © Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera
- p. 30 *Coral blanqueado en isla Keppel* © O. Hoegh-Guldberg, Centro de Estudios Marinos, Universidad de Queensland, Australia
- p. 31 arriba *La Gran Barrera* © Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera
- p. 31 abajo *Tendencias de la temperatura de la superficie del mar* © O. Hoegh-Guldberg, Centro de Estudios Marinos, Universidad de Queensland, Australia y A. Timmermann, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Países Bajos
- p. 32 *La Gran Barrera* © Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera
- p. 36 arriba *Parque Nacional de los Sundarbans* © Naymuzzaman Prince. <http://www.ebonynivory.net>
- p. 36 abajo *Aumento previsto del nivel del mar en Bangladesh* © UNEP/GRID Ginebra, Universidad de Dacca, JRO Munich, Banco Mundial, Instituto de Recursos Mundiales, Washington DC.
- p. 37 *Delta del río Ganges* © USGS EROS Data Center Satellite Systems Branch, NASA Visible Earth. <http://visibleearth.nasa.gov/>
- p. 38 *Observación del arrecife de Komodo* © Jones / Shimlock, Secret Sea
- p. 39 *Parque Nacional de Komodo* © J. O'Hare
- p. 41 *Rana dorada panameña* © Forrest Brem
- p. 43 arriba *Cabo floral* © UNESCO / Norman Guy Palmer
- p. 43 centre *Tendencias de temperatura en la región floral de El Cabo* © Servicio Meteorológico Sudafricano
- p. 43 abajo *Impacto previsto del cambio climático en el crecimiento vegetal* © Midgley et al., 2001
- p. 44 *Área de habitabilidad optimal de Protea Laticolor* © American Institute of Biological Sciences, Hannah et al., 2005.
- p. 45 *Área óptima para el desarrollo del bioma fynbos* © G. F. Midgley
- p. 46 *Montañas Azules, Australia* © Jim Thorsell / Archivo fotográfico de la UICN



- p. 47 *Bosque templado de eucaliptos en las Montañas Azules, Australia* © Jim Thorsell / Archivo fotográfico de la UICN
- p. 48-49 *Parque Nacional de Ichkeul* © UNESCO / K. Hendili
- p. 49 arriba *Vegetación en el área de Ichkeul* © NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, y el equipo científico EUA/Japón ASTER. <http://visibleearth.nasa.gov>
- p. 49 abajo *Tendencias de precipitación en el área de Ichkeul* © Rapport sur le suivi scientifique au Parc national de l'Ichkeul, 2004/2005, Agence Nationale de Protection de l'Environnement, Túnez, 2006.
- p. 50 *Trópicos húmedos de Queensland* © EVERGREEN
- p. 51 *Rana dorada panameña, Parque Nacional Omar Torrijos, El Cope, Panamá* © Forrest Brem
- p. 53 *Lanzón monolítico de Chavín* © Alejandro Balaguer / PromPerú
- p. 55 arriba *Chan Chan* © Carolina Castellanos
- p. 55 abajo *Ciudadela de Chan Chan, La libertad* © Archivo de PromPerú
- p. 56 izquierda *Inundaciones en Chan Chan* © Archivo Instituto Nacional de Cultura del Perú
- p. 56 derecha *Inundaciones en Chan Chan* © Archivo Instituto Nacional de Cultura del Perú
- p. 57 *Ciudadela de Chan Chan, La Libertad* © Carlos Sala / PromPerú
- p. 58 izquierda *Asentamiento ballenero en Isla Herschel* © Gobierno de Yukón
- p. 58 derecha *Evolución de la línea costera en Isla Herschel* © Gobierno de Yukón
- p. 59 *Tumba en Isla Herschel* © Gobierno de Yukón
- p. 60 *Reexcavación de fachadas de edificios en Chavín* © M.G. Moreno
- p. 61 arr. iz. *Chavín* © J. Marroquin, Plan de gestión de Chavín
- p. 61 arr. der. *Chavín de Huántar* © Carlos Sala / PromPerú
- p. 61 abajo *Arte precolombino, estructura ornamental zoomórfica* © Aníbal Solimano / PromPerú
- p. 62 *Kurgans y paisaje del Altai* © Garry Tepfer
- p. 63 *Las Montañas doradas del Altai* © Greenpeace / Vadim Kantor
- p. 65 *Acqua alta en Venecia* © Archivo Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova
- p. 66 *Antigua Escuela Naval Real desde Island Gardens* © Neil Morkunas
- p. 67 *La Torre de Londres* © J. Didon
- p. 68 izquierda *Abadía de Westminster* © UNESCO / Y. Raheem
- p. 68 derecha *La Barrera del Támesis* © UKCIP, 2002
- p. 68 abajo *Cierres de la barrera del Támesis* © Thames Estuary 2100
- p. 69 *Frecuencia de marejadas* © UKCIP 2002 Climate Change Scenarios, centros Tyndall y Hadley para UKCIP, con el financiamiento de Defra.
- p. 70 *Acqua alta en Venecia* © Archivo Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova
- p. 71 arriba *Acqua alta en Venecia* © Mario Fletzer, tratta da PoloEst-Rete telematica della Provincia di Venezia. [www.provincia.venezia.it](http://www.provincia.venezia.it)
- p. 71 abajo *Acqua alta en Venecia* © Archivo Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova
- p. 72 *Centro histórico de Praga* © 2007 Prague Information Service, <http://www.prague-info.cz>.
- p. 73 *Centro histórico de Český Krumlov* © CzechTourism
- p. 74 arriba *Mezquita de Djingarey Ber en Tombuctú* © UNESCO / T. Joffroy / CRATerre-EAG
- p. 74 abajo *Mezquita de Sankoré en Tombuctú* © A. Ould Sidi
- p. 75 *Restauración de la mezquita de Sankoré* © UNESCO / T. Joffroy / CRATerre-EAG
- p. 76 *Ouadi Qadisha* © UNESCO / A. Sidorenko-Dulom
- p. 77 arriba *Cedrus Lebani* © Oficina de la UNESCO en Beirut
- p. 77 abajo *Ouadi Qadisha* © UNESCO / V. Dauge

Agradecemos la asistencia de Souhila Aouak, del Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO, por su ayuda en la búsqueda de imágenes para esta obra.

Existe un consenso general en que el clima del planeta está cambiando rápidamente, y en que las actividades humanas contribuyen significativamente a este cambio. El cambio climático está considerado hoy en día como uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI.

La *Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural*, adoptada por la UNESCO en 1972, aspira a asegurar que destacados sitios alrededor del mundo sean efectivamente preservados y legados a las generaciones futuras. No es una tarea fácil, dado que a causa del cambio climático los glaciares se están derretiendo, animales y plantas están migrando fuera de las áreas protegidas para adaptarse a un medio ambiente cambiante, las plagas se están expandiendo, la erosión costera está avanzando a causa del aumento del nivel del mar, la frecuencia e intensidad de las tormentas está cambiando y la banquisa se está reduciendo. Los bienes del Patrimonio Mundial ubicados en estos ambientes se ven también amenazados por estos cambios.

El Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO, en colaboración con los Estados Partes de la Convención y varias organizaciones internacionales y con la guía del Comité del Patrimonio Mundial, está tomando varias iniciativas para proteger y promover la gestión del Patrimonio Mundial frente al cambio climático: el Comité del Patrimonio Mundial ratificó una estrategia específica en julio de 2006 y se preparó un informe sobre la predicción y la gestión de los efectos del cambio climático sobre el Patrimonio Mundial. Un documento de políticas sobre el tema fue aprobado por la Asamblea General de Estados Partes en 2007.

Esta publicación presenta varios estudios monográficos de sitios del Patrimonio Mundial natural y cultural, seleccionados alrededor del mundo con el objeto de ilustrar tanto los impactos del cambio climático que ya han sido observados como aquellos esperados en el futuro. Para cada uno de estos se mencionan medidas de adaptación en curso y proyectadas, para dar una indicación de lo que puede lograrse por medio de estrategias de gestión en las diferentes situaciones.



*Para mayor información favor referirse a:  
Centro del Patrimonio Mundial  
UNESCO*

7, place de Fontenoy  
75352 Paris 07 SP France  
Tel: 33 (0)1 45 68 15 71  
Fax: 33 (0)1 45 68 55 70  
E-mail: [wh-info@unesco.org](mailto:wh-info@unesco.org)  
<http://whc.unesco.org>

Impreso en papel reciclado

