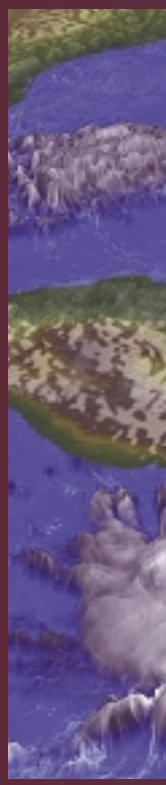
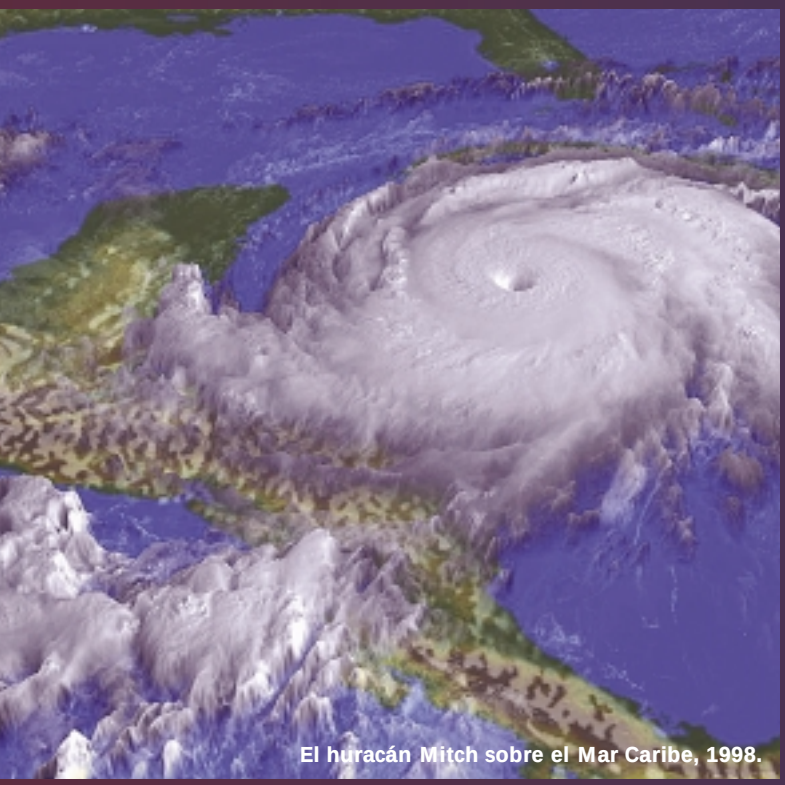
Sequía en Portugal produce incendios de matorrales, 2003.

Desprendimientos en el glaciar Margerie , Alaska, 2006.



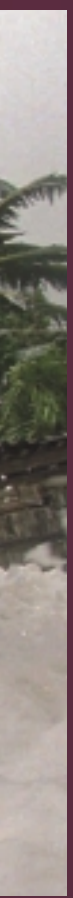
Clima Extremo

El huracán Mitch golpea La Ceiba, Honduras, 1998.



El huracán Mitch sobre el Mar Caribe, 1998.

Desertificación en la provincia de Hebei, China, 2000.



De izquierda a derecha: AP Photo/Victor R. Caivano; AP Photo/USA, Paulo Barata; AP Photo/Dr. Scott M. Liebeman; NASA/Goddard Space Flight Center, Mark Henley/Panos

Efectos del Cambio Clim tico en la Salud

El año pasado fue de esos para el libro de récords. En 2006, Estados Unidos experimentó la más alta temperatura de la superficie desde 1895. Fue también el undécimo año desde 1995 en la lista de los más cálidos nunca registrados en todo el mundo. La década anterior vio muchos otros eventos de clima extremo. En 2003, una brutal ola de calor de verano en Europa mató al menos 22.000 personas. En 1998, el huracán Mitch se atascó sobre Centroamérica y dejó caer seis pies de lluvia, provocando deslizamientos masivos de lodo y llevándose 11.000 vidas. Después de esa tormenta, Honduras reportó miles de casos de cólera, malaria y fiebre del dengue.

Aunque no se puede culpar al cambio climático por ningún desastre meteorológico específico, sí es responsable de tendencias de más largo plazo que intensifican las condiciones meteorológicas alrededor del mundo, generando más olas de calor, sequías, intensos aguaceros e inundaciones. Hay también menos eventos de frío extremo —días y noches muy helados— sobre la mayoría de las áreas terrestres. Incluso la escarcha se ha hecho menos frecuente. Sin embargo, hay precipitación más intensa, tanto de lluvia como de nieve. De manera que hay una mayor probabilidad de tormentas de nieve de invierno, pero no más períodos fríos.

Existe una probabilidad superior al 90% que tales eventos meteorológicos sigan siendo más frecuentes, y es igualmente probable que el aumento del nivel mundial del mar se acelere y que el manto de nieve retroceda durante este siglo. Además, hay entre un 66 a 90% de probabilidad de que los futuros ciclones tropicales (huracanes y tifones) se hagan más intensos, con mayores velocidades máximas del viento y lluvias más intensas, y que el área terrestre afectada por la sequía aumente. Muchas regiones sub-tropicales semiáridas, ya afectadas por la sequía, podrían tener hasta un 20% de disminución de precipitaciones hacia el 2100. En otras regiones, ya está lloviendo con menos frecuencia, pero con más intensidad, causando inundaciones más extensas.

Aquellas son algunas conclusiones de la más reciente evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de la ONU (IPCC), el cual publicó el 2 de febrero de 2007 un resumen de 18 páginas del libro Cambio Climático 2007: *Bases de la Ciencia Física*, el primer volumen de la evaluación. Cientos de científicos escriben y revisan las principales evaluaciones del IPCC, las cuales son publicadas cada seis o siete años y representan un consenso de opinión científica de todo el mundo. El Grupo de Trabajo II está finalizando el segundo volumen de la evaluación, *Cambio Climático 2007: Impactos del Cambio Climático, Adaptación y Vulnerabilidad*, cuyo resumen debió aparecer el 6 de abril de 2007. El resumen del volumen III del Grupo

de Trabajo, *Cambio climático 2007: Mitigación del Cambio climático*, debió ser publicado en mayo de 2007. Los volúmenes mismos deberían ser publicados más adelante en el año.

La evaluación 2007 del IPCC pone más énfasis que su antecedente de 2001 en que las actividades humanas son responsables del calentamiento global. Según *Bases de la Ciencia Física*, existe una probabilidad superior al 90% de que las emisiones de los gases de invernadero producidas por el hombre, tales como el dióxido de carbono, sean responsables de acelerar las tendencias del calentamiento natural.

La concentración actual de dióxido de carbono atmosférico de casi 380 ppm (partículas por millón) ha aumentado desde aproximadamente 280 ppm en 1750 —alrededor del comienzo de la Revolución Industrial— y 315 ppm sólo desde 1958, según el Registro de Dióxido de Carbono de Mauna Loa en el observatorio Mauna Loa en Hawaii. Durante el siglo XX, la temperatura promedio de la superficie de la Tierra subió aproximadamente 0,6°C. El documento *Bases de la Ciencia Física* pronostica un aumento mucho más rápido en la temperatura mundial —una variación probable de 1,7–4,4°C— hacia el fin del siglo XXI, si las concentraciones de dióxido de carbono alcanzan el doble de los niveles atmosféricos actuales. Muchos climatólogos creen que esta duplicación podría ocurrir en algún momento después del 2050 si no se reduce significativamente la combustión de combustibles fósiles.

Al compilar las *Bases de la Ciencia Física*, los miembros del Grupo de Trabajo I analizaron investigación de todo el mundo y emplearon simulaciones de supercomputadora para probar cómo el planeta está respondiendo y continuará respondiendo a los gases de efecto invernadero tales como dióxido de carbono y metano. "Estamos comprometidos a una cierta cantidad de cambio climático [debido a acciones pasadas]", dice Gerald A. Meehl, un climatólogo del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica. Meehl evaluó los resultados producidos por 16 equipos de modelación por computadora que emplearon 23 modelos diferentes al producir el capítulo *Bases de la Ciencia Física* sobre las proyecciones climáticas. El dióxido de carbono producido por actividades humanas —procedente de centrales eléctricas alimentadas con carbón y tubos de escape de vehículos, por ejemplo— persiste en la atmósfera por décadas después de que es puesto ahí antes de ser finalmente absorbido por los océanos y, en menor medida, vida vegetal, especialmente en los bosques.

Las regiones alrededor de los océanos Pacífico e Índico probablemente enfrentarán cambios cada vez más dramáticos en las precipitaciones —desde sequías severas a monzones más intensos— causados por la Oscilación Austral/ El Niño (ENSO), según un artículo de un equipo de científicos de la Universidad de Wisconsin–Madison y la OMS publicado en la edición del 17 de noviembre de 2005 de *Nature*. Este ciclo climático semi-regular centrado en el Océano Pacífico altera el clima en todo el mundo. Es probable que el calentamiento global aumente la intensidad y frecuencia de los eventos ENSO, dice el informe 2003 de la OMS *Cambio Climático y Salud Humana—Riesgos y Respuestas*. Los eventos ENSO han históricamente aumentado los desastres de clima extremo, incluyendo sequías, inundaciones, tormentas e incendios de matorrales. El número de desastres desencadenados por las sequías normalmente aumenta durante el año después del inicio de El Niño.

Consecuencias del Clima Extremo en las Enfermedades

En muchas regiones, ya está lloviendo menos frecuentemente pero más fuerte. Según *Bases de la Ciencia Física*, las tendencias entre 1900 y 2005 muestran un aumento

Tierras altas de Kenya

Los científicos están encontrando larvas de mosquito en las tierras altas Kenya, un indicio del aumento de las temperaturas.

Una región montañosa contraataca. Una enfermera dispensa medicamentos a pacientes de malaria en una clínica en Kenya. A medida que las temperaturas más cálidas alteran el campo de acción de vectores tales como mosquitos, las enfermedades están comenzando a alcanzar a nuevas poblaciones.

De izquierda a derecha: AP; Caroline Penn/Panos Pictures

significativo de precipitaciones en muchas regiones, incluyendo las partes orientales de América del Norte y América de Sur. Se han producido sequías más intensas y más largas en áreas más amplias del mundo desde la década de 1970, especialmente en los trópicos y subtrópicos. La superficie del mar se ha vuelto más templada y los patrones del viento han cambiado. Hay también más evaporación del océano. Estos procesos alteran los patrones de precipitación sobre la tierra, trayendo más humedad a algunas áreas y disminuyéndola en otras.

Una larga sequía seguida por una lluvia intensa es una fórmula que lleva al brote de múltiples enfermedades, dice Paul R. Epstein, médico y director asociado del Centro para la Salud y el Medio Ambiente Global de la Escuela de Medicina de Harvard. Epstein es un revisor para el próximo informe del Grupo de Trabajo III del IPCC.

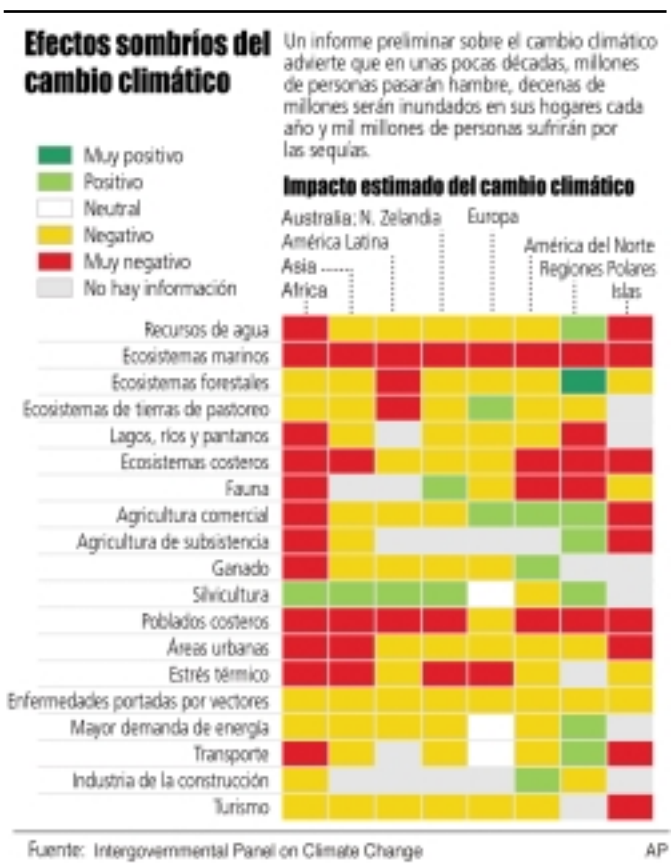
Durante las sequías, la disponibilidad de agua disminuye y a menudo la calidad del agua baja, por ejemplo, cuando la gente comparte el agua con el ganado. Entonces los fuertes aguaceros pueden hacer que las alcantarillas se rebalsen y el escurrimiento del agua saca microbios de las granjas, prados y calles, llevándolos a las reservas de agua potable. Varios estudios han demostrado una correlación entre la lluvia torrencial y el brote de enfermedades portadas por el agua tales como criptosporidiosis, giardiasis, y ciclosporidiosis, según *Climate Change Futures: Health, Ecological y Economic Dimensions*, un informe de noviembre de 2005 que Epstein co-editó.

Una sequía seguida por inundación también favorece los brotes de roedores y enfermedades portadas por roedores, dado que las poblaciones de estos animales aumentan explosivamente luego que las reservas de agua se vuelven a llenar. Las temperaturas en aumento y el clima extremo podrían afectar también la reproducción y propagación de los ácaros que transportan la enfermedad de Lyme, según *Climate Change Futures*. Tal vez lo más ampliamente documentado es la asociación entre las inundaciones intensas y la explosión de las poblaciones de mosquitos, creando brotes de enfermedades portadas por mosquitos en los seres humanos.

Los mosquitos y las enfermedades que transportan —incluyendo malaria, fiebre del dengue, Virus de Ross River, y el virus del Nilo Occidental— son especialmente sensibles a los cambios de temperatura y a la elevación del terreno. En las regiones altas en África, Centroamérica, Sudamérica y Asia los glaciares se están retirando, las comunidades de plantas están migrando hacia arriba y los mosquitos y las enfermedades que transmiten se están encontrando a mayores elevaciones, dice Epstein. “En las montañas”, dice, “tenemos un panorama muy claro: las condiciones conducentes a la circulación de enfermedades infecciosas tales como la malaria en las montañas están cambiando”.

Inviernos más cálidos y sequías de primavera parecen amplificar la propagación del virus del Nilo Occidental, el cual infecta seres humanos, caballos y pájaros. Según *Climate Change Futures*, las temperaturas cálidas que acompañan a las sequías aceleran la maduración de virus, incluyendo el virus del Nilo Occidental, dentro del mosquito *Culex pipiens*. Cuando las acumulaciones de agua se reducen, los mosquitos y aves infectadas se concentran en los mismos lugares, y esto favorece la transmisión del virus. En América del Norte han habido más de 17.000 casos humanos y más de 650 muertes por el virus del Nilo Occidental, según el *Informe*

Una especie marina sufre. Ostras muertas o moribundas como éstas recogidas en 2003 desde la bahía Chesapeake reflejan la propagación de agentes infecciosos en aguas costeras. Algunos agentes, tales como el *V. parahemolítico*, plantean una amenaza tanto para la salud humana como para la fauna marina.



De arriba hacia abajo: AP Photo/Matt Houston; AP

Sobre la Salud en el Mundo 2002, publicado por la OMS. La enfermedad era desconocida en América del Norte hasta el verano de 1999.

Mientras tanto, la extensión del campo de acción de algunos agentes infecciosos en ambientes marinos (enfermedades, patógenos y parásitos) también podrían correlacionarse con un clima en proceso de cambio, según Epstein. La Dermo y MSX, por mencionar dos, en décadas recientes han extendido sus áreas de acción más hacia el norte, desde la bahía de Chesapeake hacia la bahía Delaware y Maine. Estas dos enfermedades parasitarias diezman las poblaciones de ostras pero no afectan la salud humana. Sin embargo, al menos una amenaza para la salud humana, el *Vibrión parahemolítico*, también está ampliando su alcance; esta bacteria subtropical parecida al cólera ha llegado ahora hasta Alaska. En 2004, pasajeros a bordo de un crucero en aguas de Alaska comieron ostras locales crudas infectadas con el *V. parahemolítico* y sufrieron diarrea.

Antes de este brote, ningún marisco en Alaska había dado positivo para el *V. Parahemolítico* porque las aguas del océano en ese lugar habían sido demasiado frías para que sobreviviera. Joseph B. McLaughlin, médico de la División de Salud Pública de Alaska, y sus colegas observaron en un artículo publicado el 6 de octubre de 2005 en el *New England Journal of Medicine*, que este "brote extiende en 1000 km la fuente más septentrional documentada de ostras que causan enfermedad debido al *V. parahemolítico*. El aumento de las temperaturas del agua oceánica parece haber contribuido a uno de los brotes conocidos más grandes de *V. parahemolítico* en los Estados Unidos".

Aun así, el cambio climático podría no ser la única o más importante razón por la que algunas enfermedades marinas han extendido sus campos de acción hacia las latitudes superiores, dice James T. Carlton, director del programa de Estudios Marinos del Williams College–Mystic Seaport en Connecticut. Las poblaciones de mariscos podrían ser más débiles debido a la variación en la calidad del agua, o la susceptibilidad de los mariscos locales podría haber cambiado de formas que son independientes del clima. "No se trata de que el clima no esté involucrado también", agrega Carlton. "Los inviernos están siendo más suaves, y las aguas costeras están más cálidas. Las especies de latitudes más bajas se están desplazando a latitudes más altas. Ésta es una tendencia que estamos viendo en todo el mundo".

Caliente y Seco...

En los últimos 50 años, según informa el documento *Bases de la Ciencia Física*, "los días calientes, noches calientes y olas de calor se han hecho más frecuentes". El informe además afirma que el cambio climático está elevando los números de víctimas de la insolación del verano y se espera que esta tendencia continúe. Las crecientes olas de calor asociadas con el cambio climático plantean una especial amenaza a los centros urbanos, según el estudio de la Universidad de Wisconsin/OMS.

Una comunidad del desierto se asfixia. Un pastor de cabras etíope conduce su ganado a través del polvo en el desierto. La mayoría de los habitantes rurales de esta región dependen de dos estaciones lluviosas y dos estaciones secas por año. Pero una sequía severa reciente en África Oriental ha obligado al sobre-pastoreo, lo cual desestabiliza el suelo.

Dieter Telemans/Panos Pictures

Las olas de calor son especialmente peligrosas para los mayores, los pobres y otras poblaciones vulnerables que viven en áreas urbanas gigantes. Las ciudades enormes tienen un efecto de "isla de calor"; la densidad del concreto y la falta de áreas verdes pueden hacer elevar las temperaturas del verano, las que a menudo son significativamente más altas que en el campo circundante. Por dos semanas, durante el fatal verano de 2003, probablemente el más caluroso de Europa en más de 500 años, se produjeron aproximadamente entre 22.000 a 45.000 muertes relacionadas con el calor, según el estudio de la Universidad de Wisconsin/OMS. Las olas de calor en Nueva York (1984 y 1999), Philadelphia (1991 y 1993) y Chicago (1995) también produjeron crecientes números de fallecimientos, según *Cambio Climático Futures*. La gente con enfermedades preexistentes, especialmente enfermedades cardiovasculares y respiratorias, los muy viejos, los muy jóvenes y los débiles son los más vulnerables a las olas de calor.

El aumento de temperatura también aumenta la cantidad de ozono al nivel del suelo en áreas urbanas. El ozono al nivel del suelo es el resultado de las reacciones de las emisiones de los tubos de escape de los vehículos. Los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles se combinan rápidamente, especialmente en clima más templado. Muchos estudios han vinculado los niveles elevados de ozono con las tasas de mortalidad por enfermedades cardíacas y pulmonares, así como incidencia de ataques de asma. Algunas ciudades estadounidenses grandes ya emiten alertas de smog para advertir a aquellos en riesgo en los días que debieran permanecer en sus casas.

Climate Change Futures señala uno de los potenciales efectos del cambio climático en la salud: mayor exposición a alérgenos. Mayores niveles de dióxido de carbono y el calentamiento estimulan el crecimiento de plantas tales como la ambrosía, la cual produce potentes alérgenos del polen. Un estudio publicado en la edición de marzo de 2002 de *Anales de la Alergia, Asma e Inmunología* mostró que la ambrosía cultivada en una atmósfera con el doble del nivel ambiente de dióxido de carbono producía un 61% más de polen que las plantas cultivadas bajo condiciones ambiente. Una combinación de una

mayor contaminación del aire y exposición a alérgenos podría ser un factor detrás de una epidemia de asma que se está observando tanto en países desarrollados como en desarrollo, según un informe.

Otros riesgos especiales son enfrentados por tierras ya propensas a la sequía tales como el África sub-Sahariana según el estudio de la Universidad de Wisconsin/OMS. En contraste con América del Norte y América del Sur, las tendencias de largo plazo desde 1900 a 2005 muestran que han disminuido las precipitaciones en la región africana del Sahel, el Mediterráneo, África Austral, y partes del Sudeste Asiático. Y existe una probabilidad de entre un 66 y 90%, según *Bases de la Ciencia Física*, de que aumenten las áreas afectadas por sequías.

Cindy Parker, médico de salud pública de la Escuela de Salud Pública Johns Hopkins Bloomberg, está preocupada por el impacto del cambio climático en la calidad y disponibilidad del agua. "Los riesgos para las reservas de agua deberían estar en el primer lugar de nuestra lista de prioridad", dice ella. "La mayoría de las ciudades estadounidenses tienen reservas de agua muy limitadas y sufren sequías periódicamente, y el cambio climático hará las sequías mucho más frecuentes. Muchos lugares de los cuales actualmente pensamos que no están afectados por la disponibilidad de agua... serían afectados en el futuro".

La pérdida a través del derretimiento de acumulaciones de nieve en las montañas —enormes reservas de agua que se almacenan durante el invierno— afectarán la disponibilidad de agua en el occidente de Estados Unidos y muchas otras regiones, dice Syra Postel, director del Proyecto Global de Política del Agua, un programa de investigación acerca del uso sustentable del agua. El cambio climático ya está disminuyendo los glaciares y cubierta de nieve en la mayor parte del mundo, según *Bases de la Ciencia Física*, y se espera que esta tendencia continúe. "La reducción de las acumulaciones de nieve afectará los ríos que nacen de los Himalayas, los Alpes, los Andes, las Cascadas, la Sierra Nevada, y las Rocallosas", dice Postel.

Postel explica que la mayoría de estos ríos ahora obtienen la mayor parte de su agua del derretimiento de las nieves. Pero en un clima más cálido, habrá más precipitación cayendo como lluvia más que como nieve y habrá un derretimiento más temprano y más rápido en la primavera. "Esto creará un mayor riesgo de inundación en los ríos alimentados por el derretimiento de las nieves", dice ella. "Entonces, en el verano, habrá un flujo de agua más bajo de lo que uno esperaría en base a los patrones históricos, y en el verano es cuando se necesita más agua para regadío, generación hidroeléctrica y otros usos. De manera que la escasez de agua para la producción de cosechas y abastecimiento urbano podría empeorar, y los peces y otras especies de agua dulce podrían sufrir por la disminución de los flujos de verano, también".

Jocelyn Carlin/Panos Pictures

Una nación isla aguanta. Residentes de un asentamiento de ocupantes ilegales en Funafuti, la capital de la nación isla de Tuvalu, caminan a través de aguas de inundación durante una marea alta de primavera, cuando se ha filtrado agua salada a través del suelo y causado inundación. El creciente nivel del mar plantea una amenaza muy real a las naciones bajas tales como ésta.

El África Sub-sahariana y el Sudeste Asiático casi con certeza seguirán sufriendo de escasez de agua, dice Postel. "Veremos más sequía en áreas que ya son propensas a la sequía, con consecuencias para las cosechas y seguridad de los alimentos".

Con las sequías prolongadas viene el riesgo de la desertificación, un problema que ya afecta a más de 100 países, según el Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente . El resumen ejecutivo del capítulo sobre África del informe 2001 del Grupo de Trabajo II IPCC explica, "Cambio climático y desertificación siguen inextricablemente vinculados a través de las retroalimentaciones entre degradación de la tierra y precipitación. El cambio climático podría exacerbar la desertificación a través de la alteración de los patrones espaciales y temporales en temperatura, lluvia, insolación solar [la cantidad de radiación que golpea la superficie de la Tierra] y los vientos. A la inversa, la desertificación agrava el dióxido de carbono (CO_2) cambio climático inducido a través de la liberación de CO_2 de la vegetación rozada y muerta y reducción del potencial de secuestración del carbono de la tierra desertificada". El resumen del Grupo de Trabajo II que se esperaba para abril de 2007 abordaría más en profundidad el asunto de la desertificación.

...o Caliente y Húmedo

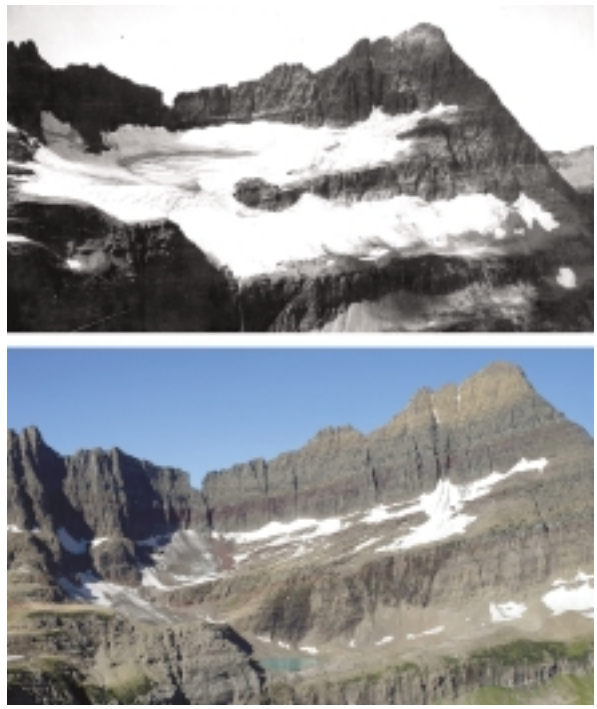
A medida que el planeta se vuelva más caliente en el próximo siglo, el nivel mundial del mar subirá en respuesta. Un clima global más caliente también calentará las aguas superficiales del océano. A medida que se produce el calentamiento, las aguas superficiales del océano se expandirán (un fenómeno conocido como expansión térmica), contribuyendo al aumento del nivel mundial del mar. Mientras tanto, a medida que los glaciares basados en tierra y las placas de hielo (glaciares gigantes de al menos 50.000 km^2) siguen derritiéndose, más agua dulce se descargará en los océanos. El IPCC predice un aumento del nivel mundial del mar de entre 7 y 23 pulgadas para 2100.

Sin embargo, el nivel del mar sube o baja en diversas proporciones en diferentes lugares. El "nivel relativo del mar" es la combinación del aumento global del nivel del mar y fluctuaciones locales y regionales de la superficie de la tierra debida a complejos factores naturales y producidos por el hombre. La subsidencia de la superficie terrestre, la cual puede contribuir a aumentos del nivel del mar superiores a las tasas mundiales, ocurre debido a muchos procesos, según S. Jeffress Williams, un geólogo marino costero del USGS Woods Hole Science Center en Massachusetts. Estos incluyen la compactación de gruesas secuencias de sedimentos de río, actividad tectónica, e intenso bombeo de fluidos tales como agua freática, petróleo y gas natural .

La combinación del aumento relativo del nivel del mar, tormentas y alteraciones humanas ha derivado en que entre un 40 y un 60% de la costa estadounidense ha sufrido una erosión neta en el siglo pasado, según la reciente serie de informes de la Evaluación del Cambio de la Línea Costera del USGS . Durante el siglo pasado, la mayor parte del nivel relativo del mar de la costa atlántica de los EE.UU. ha subido alrededor de un pie. Aproximadamente la mitad de este aumento se debe a influencias globales, especialmente el cambio climático, y la otra mitad se debe a subsidencia, según Williams.

Muchas playas de la costa Este se están erosionando y las tierras pantanosas de agua salada están desapareciendo, reduciendo el hábitat y terrenos de crianza para peces y otra fauna. "El aumento del nivel del mar ya ha cubierto algunos humedales costeros a lo largo de la costa Este de los EE.UU.," dice James T. Morris, un científico marino y director del Instituto Belle W. Baruch de la Universidad de Carolina del Sur. "Hay una serie de puntos críticos de pérdida de humedales, incluyendo partes de la bahía Chesapeake. Dentro de los próximos cincuenta años, veremos un aumento moderado de pérdidas a lo largo tanto de la costa Este como del Golfo". A lo largo de tierras bajas y con pendientes suaves tal como deltas de ríos costeros, un aumento relativo del nivel del mar de un pie permitiría que el agua se desplace permanentemente cientos de pies tierra adentro, sumergiendo las tierras costeras. Williams ha realizado estudios en los últimos 20 años mostrando que el nivel relativo del mar del sur de Louisiana ha subido aproximadamente tres pies en el siglo pasado, y sigue subiendo. Como resultado, el sur de Louisiana cede un promedio de 34 millas cuadradas de tierra al Golfo de México y las islas de la barrera erosionan decenas a cientos de pies cada año.

La pérdida de tierras de Louisiana podría ser un anticipo de lo que finalmente podría suceder a la costa Este de los EE.UU. en el próximo siglo debido al aumento del nivel relativo del mar, dice Abby Sallenger, un oceanógrafo del USGS Center for Coastal and Watershed Studies en St. Petersburg, Florida. Si el nivel global del mar subiera dos pies para el 2100 —el intervalo más alto de la última estimada IPCC— la mayor parte de la costa atlántica de los EE.UU. podría experimentar un aumento del nivel relativo del mar de dos y medio pies.



Una nación isla aguanta. Fotos tomadas en 1913 (arriba) y 2005 (abajo) muestran la declinación del Glaciar Shepard en el Parque Nacional Glacier de Montana. Los cambios en la cubierta de hielo y derretimiento de nieve afectarán las reservas de agua en varias regiones del mundo.

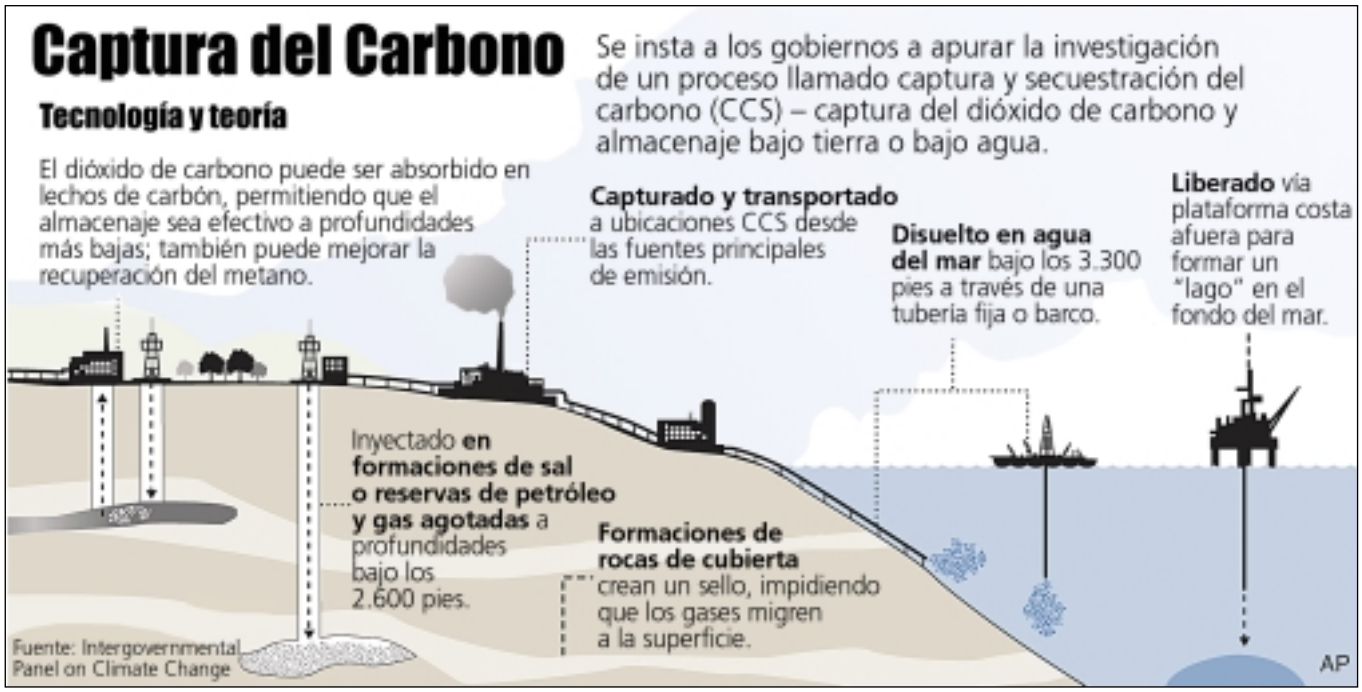
Dicho esto, las proyecciones IPCC 2007 para el aumento del nivel del mar podrían ser demasiado conservadoras, dado el rápido derretimiento de partes de las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida. La capas de hielo están cambiando de maneras complejas que no están bien documentadas. Entre una capa de hielo basada en tierra y el lecho de roca debajo de ella están las "lenguas de hielo", las cuales fluyen desde el interior de la capa de hielo hacia sus bordes. A medida que el clima se calienta, estas lenguas de hielo fluyen más rápidamente hacia los bordes de la capa de hielo, donde se está produciendo el derretimiento, enviando agua dulce hacia el océano. Este proceso parece estar reduciendo el tamaño general de los glaciares. Sin embargo, los científicos no pueden aún predecir el futuro de las capas de hielo. El modelaje de los cambios de la capa de hielo está aún en etapas tempranas. Como resultado, los científicos del IPCC no pueden "proporcionar una estimada mejor o un límite superior para el aumento del nivel del mar", según *Bases de la Ciencia Física*.

El aumento del nivel del mar, por sí mismo, es un desafío para las comunidades costeras. Pero este problema se complica por cambios en los ciclones tropicales. Desde 1970, el océano Atlántico ha experimentado un mayor número de huracanes intensos, un fenómeno que se correlaciona con aumentos en las temperaturas de la superficie del mar tropical, informa el IPCC. En otras regiones oceánicas, "hay sugerencias de un aumento de la actividad ciclónica tropical intensa", pero también "preocupaciones por la calidad de los datos", dice el IPCC.

Sin embargo, incluso un modesto aumento en el nivel relativo del mar puede ayudar a crear marejadas de huracán más altas, causando inundaciones destructivas en áreas costeras bajas, dice Morris. Rick Luettich, un oceanógrafo costero y director del Instituto de Ciencias Marinas de la Universidad de Carolina del Norte en Morehead City, dice: "El problema no es solamente el aumento del nivel del mar sino que también los eventos extremos que se le sobreponen". Si los ciclones tropicales continúan aumentando en intensidad a medida que sube el nivel global del mar en las próximas décadas, esta combinación podría ser catastrófica para millones de personas en las naciones pobres que viven a lo largo de deltas de ríos propensos a las tormentas o en islas oceánicas. Virtualmente toda la gente de la costa de Bangladesh, por ejemplo, vive en el bajo delta del Río Ganges que fluye hacia la bahía de Bengala, según un informe del Banco Mundial del 29 de marzo de 2005 titulado *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*.

"El relieve bajo, lugares muy bajos a lo largo de las costas en todo el mundo podrían estar en peligro de ser borrados de la faz de la Tierra", dice Morris. "Y ahora hay más gente que nunca en peligro". Dos quintos de las principales ciudades del mundo de 1 a 10 millones de personas están ubicadas cerca de las líneas costeras. Actualmente, 14 de las 17 megaciudades del mundo —definidas como ciudades con más de 10 millones de

De arriba hacia abajo: AP Photo/W.C. Alden. USGS; 2005 Blase Reardon, USGS/Courtesy of Glacier National Park Archives



personas— están ubicadas en áreas costeras. La División de Población de la ONU prevé que Tianjin, Estambul, El Cairo, y Lagos alcanzarán la condición de megaciudades para el 2015. Todas excepto El Cairo están en la costa.

Enfrentando el Desafío

Las fuentes de energía renovable deben jugar un papel principal en la oferta de energía en los EE.UU. y el mundo para mitigar los problemas de salud humana y ambiental asociados con el cambio climático. En su discurso del Estado de la Unión de enero de 2007, el Presidente Bush pidió reducir en un 20% el consumo futuro de gasolina proyectado en la próxima década. Esto podría lograrse en parte, dijo, adoptando nuevas normas de economía de combustible pero principalmente a través de un aumento del uso de combustibles alternativos y nuevas tecnologías tales como vehículos eléctricos e híbridos, vehículos de diesel limpio y combustible biodiesel.

El presidente también pidió cambios en la forma como EE.UU. genera energía eléctrica, empleando tecnología limpia de carbón, energía solar, eólica y nuclear .

La aplicación de nuevas tecnologías, dijo Bush, "nos ayudará a ser mejores administradores del medio ambiente, y nos ayudarán a enfrentar el serio desafío del cambio climático global". La administración Bush, sin embargo, se opone a un límite mandatorio sobre el total de las emisiones de gases de invernadero de los Estados Unidos.

Una nación isla aguanta. El Presidente Bush, al centro, se informa acerca de un automóvil híbrido recargable propulsado por una batería de litio durante una demostración de vehículos alternativos en febrero de 2007. El enfrentar los desafíos de un clima en rápido cambio exigirá ingenio, perseverancia y un fuerte compromiso de los líderes mundiales.

De arriba hacia abajo: AP; AP Photo/Charles Dharapak

Mientras tanto, en el Senado estadounidense, Barbara Boxer, ha puesto en marcha un proyecto de ley, la Global Warming Pollution Reduction Act, diseñada para reducir la emisiones totales de carbono de los EE.UU. en un 80% sobre los niveles de 1990, para el año 2050. Los senadores Hillary Clinton, John McCain y Barack Obama han propuesto la Climate Stewardship and Innovation Act de 2007, la primera ley importante que busca un límite mandatorio a las emisiones de dióxido de carbono y establece un sistema para negociar permisos de emisiones. Este proyecto de ley podría reducir las emisiones estadounidenses en dos tercios sobre los niveles del 2000 para 2050.

En 2005, el gobernador de California, Arnold Schwarzenegger, emitió una orden ejecutiva pidiendo reducciones de un 80% en las emisiones de gases de invernadero por debajo de los niveles de 1990 para el año 2050. En 2006, el gobernador firmó la Global Warming Solutions Act, exigiendo en todo el estado reducciones de los gases de invernadero a los niveles de 1990 para 2020. La reducción provendría tanto de un esquema "límite y negociación" para la industria como de algunas regulaciones. En enero de 2007, el gobierno emitió la primera de tales regulaciones, exigiendo a los productores de petróleo y otros combustibles reducir las emisiones de dióxido de carbono de sus productos en un 10% para el 2020. Los

esfuerzos de California, dice Meehl, podrían ser "una demostración bastante poderosa de lo que es posible". [Para más información sobre las políticas de California, ver "Environment: California Out in Front", *EHP* 115:A144–A147 (2007)]. Para evitar trastornos severos de "refugiados ambientales", que huyen de los problemas relacionados con el cambio climático tales como sequía, erosión, desertificación, y deforestación, dice Meehl que la comunidad mundial probablemente necesitaría reducir las emisiones de gases de invernadero en un 20% con respecto a los actuales niveles hacia el 2020. Entonces, para el 2100, las emisiones necesitarían ser reducidas en un total de 80% con respecto a los actuales niveles.

Las principales fuentes puntuales de dióxido de carbono incluyen grandes instalaciones que emplean combustible fósil que producen energía alimentada con carbón, gas natural, hidrógeno basado en combustible fósil, y combustible sintético, según un informe de 2005 del IPCC, *Captura y Almacenaje de Dióxido de Carbono*. Las emisiones de dióxido de carbono de éstas y otras fuentes pueden ser capturadas y almacenadas en depósitos geológicos subterráneos, mitigando la severidad del cambio climático. La tecnologías de captura y almacenaje de dióxido de carbono (o CCS) ya han sido empleadas ampliamente en la fabricación de fertilizantes, producción de hidrógeno, y la industria de procesamiento del gas natural. Pero ¿estarán las tecnologías de captura mejoradas y listas para uso práctico a tiempo para hacer una diferencia?

Aproximadamente entre 85 y 95% del dióxido de carbono procesado en una planta de captura puede ser secuestrado bajo tierra. Sin embargo, una central eléctrica que esté equipada con un sistema de captura CCS vinculado a formaciones geológicas (yacimientos de carbón no explotables, por ejemplo) o almacenaje oceánico (profundo bajo el lecho marino) requiere entre 10 y 40% más de energía para procesar dióxido de carbono que una planta con producción de energía similar que no tiene CCS.

El desarrollo de mejores tecnologías para la segregación del carbono en centrales eléctricas alimentadas por carbón es críticamente importante debido a que, de todos los combustibles fósiles, el carbón es el que más produce dióxido de carbono por unidad de energía. Actualmente, el carbón representa aproximadamente un 40% de las emisiones globales de dióxido de carbono. Es comparativamente barato y abundante; aproximadamente, un 25% de la producción global de energía proviene del carbón, según *Statistical Review of World Energy 2006*, un informe publicado por BP. En el futuro, las fuentes alternativas de energía tales como la biomasa, el viento, el sol y la energía nuclear podrían ser más accesibles y más eficientes. Pero los cinco países que ahora tienen el 75% de las reservas mundiales de carbón —Estados Unidos, Rusia, China, India y Australia— probablemente continuarán dependiendo del carbón para la generación de energía por muchas décadas, según el informe BP.

A fin de capturar dióxido de carbono de una central eléctrica alimentada con carbón, el carbón debe ser procesado mediante agentes químicos o gasificación. Cada proceso, que requiere energía adicional, podría elevar los costos para la central eléctrica en hasta un 50%. Una vez procesado, el dióxido de carbono debe ser presurizado, transportado y bombeado profundamente bajo tierra. Los estudios sugieren que hay un amplio espacio para almacenaje subterráneo para captura del carbono, pero existen pocos datos sobre si se podría producir filtración de carbono. El dióxido de carbono es más pesado que el aire. Una gran nube permanecería cerca del suelo y podría quitarle el oxígeno al aire, planteando el riesgo de asfixia, según un estudio del geólogo de la Universidad de Michigan Youxue Zhang , publicado el 1 de octubre de 2005 en *Environmental Science andy Technology*.

Hay varias iniciativas de captura de carbono en progreso, incluyendo asociaciones regionales apoyadas por el Departamento de Energía (DOE) para estudiar el potencial de secuestración. FutureGen, un proyecto del DOE para construir una planta de gasificación de carbón con cero emisión que capturaría y almacenaría todo el dióxido de carbono, fue defendida por el Presidente Bush en 2003. Sin embargo, los planificadores de FutureGen aún no han encontrado un lugar adecuado para construir. Xcel Energy también se comprometió a construir una planta de gasificación de carbón con secuestración.

La publicación de la evaluación 2007 del IPCC demuestra que cientos de científicos líderes de todo el mundo han logrado un consenso con respecto a que los gases de invernadero producidos por el hombre están exacerbando los cambios naturales en el clima de nuestro planeta y continuarán haciéndolo por bastante tiempo en el futuro. Los científicos, además, están prediciendo con certeza que algunos peligrosos efectos del cambio climático ya son evidentes en muchas partes del mundo y probablemente continuarán tornándose aun más extremos, creando cada vez más desastres naturales.

Dado que las evaluaciones del IPCC son ampliamente reconocidas como las revisiones más amplias de la ciencia del cambio climático, el informe de 2007 ciertamente afectará las políticas nacionales e internacionales, por ejemplo planteando negociaciones sobre nuevos objetivos de emisiones de gases de invernadero para que sucedan al Protocolo de Kyoto, cuya primera fase debe expirar en 2012. Sin embargo, muchas consecuencias potenciales del cambio climático todavía se desconocen y se revelarán solamente con el tiempo. Como señala Parker, "muchos de los servicios de ecosistemas que proveen agua limpia y aire limpio, por ejemplo, serán probablemente degradados por el cambio climático de maneras que nosotros aún no comprendemos. Así que habrá sorpresas".

John Tibbetts

Artículo original en Environmental Health Perspectives • VOLÚMEN 115 | NÚMERO 4 | Abril 2007