



# Meteorología polar

Comprender los efectos a escala mundial



Organización  
Meteorológica  
Mundial

Tiempo • Clima • Agua

OMM-N° 1013



# Meteorología polar

Comprender los efectos a escala mundial

## **Fotografías**

Deseamos agradecer a las personas y organizaciones siguientes su generosidad al compartir sus fotografías y gráficos con la OMM:

Cubierta, páginas 3, 27, 28, 29 y 31 a 37: Christian Morel

Páginas 12, 15, 16, 21 y 22: International Polar Foundation

Páginas 4, 6, 8 y 11: G. Dargaud (International Polar Foundation)

Páginas 19 y 20: NASA

Página 5: University of Wisconsin-Madison

Página 7: Scottish Association for Marine Science

Página 17: Columbia University

Página 18: PNUMA

Páginas 14 (2) y 24: Mathieu Quéту

Página 25: EUMETSAT

Página 26: ESA/AOES MEDIALAB (izquierda); <http://www.Firstpeople.US> (derecha))

**OMM-N° 1013**

**© 2007, Organización Meteorológica Mundial**

**ISBN 92-63-31013-0**

## **NOTA**

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países o territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

# ÍNDICE

<b>Prólogo</b> .....	<b>2</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>3</b>
<b>Meteorología polar</b> .....	<b>5</b>
Observación de las regiones polares .....	5
Los sistemas atmosféricos en latitudes altas .....	8
Predicción del tiempo en las regiones polares .....	10
<b>El significado de las regiones polares en el sistema climático mundial</b> .....	<b>17</b>
Los polos .....	17
Conexiones con latitudes inferiores .....	17
Recientes cambios del medio ambiente en latitudes altas .....	22
¿Cómo evolucionarán en el futuro las regiones polares? .....	30
<b>Año Polar Internacional 2007-2008</b> .....	<b>37</b>

# PRÓLOGO

El Día Meteorológico Mundial (23 de marzo) conmemora la fecha de entrada en vigor del Convenio en virtud del cual se constituyó la Organización en 1950.

El Consejo Ejecutivo de la OMM decidió para el Día Meteorológico Mundial de 2007 el lema "Meteorología polar: comprender los efectos a escala mundial", en reconocimiento de la importancia del Año Polar Internacional (API) 2007-2008, copatrocinado por la OMM y por el Consejo Internacional para la Ciencia (CIUC), y como contribución a esa iniciativa.

En estos últimos decenios es mucho lo que hemos avanzado en la comprensión del papel que desempeñan las regiones polares en el sistema climático mundial. La recesión de los hielos marinos, la fusión de los mantos de hielo, la descarga de los glaciares y el deshielo del permafrost son cambios espectaculares que se están produciendo ya en esas regiones debido al aumento de la temperatura media mundial. Es evidente que el crecimiento del nivel medio de los océanos, debido a la fusión de los hielos terrestres, entraña un riesgo para las tierras bajas y para ciertas islas, sea cual sea su situación geográfica. Los cambios de la circulación oceánica pueden alterar la distribución de la temperatura, de la salinidad y de las sustancias orgánicas en las regiones tropicales. Ello afectaría decisivamente a las poblaciones de peces y, por consiguiente, a las economías y medios de subsistencia de los países y a nuestros hábitos alimentarios. Por esa razón incluso países muy alejados de los polos están preocupados por los cambios que está experimentando el medio ambiente polar y están participando en el Año Polar Internacional (API) 2007-2008.

La OMM, mediante los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) de sus Miembros, ofrecerá aportaciones sustanciales al API en materia de meteorología polar, oceanografía, glaciología e hidrología mediante investigaciones científicas y observaciones. En último término, los resultados científicos y prácticos del API serán beneficiosos para todos los programas de la OMM, ya que aportarán colecciones de datos completas y conocimientos científicos autorizados que impulsarán el desarrollo de sistemas de vigilancia del medio ambiente y de predicción, incluidos los fenómenos meteorológicos violentos. Además, el API hará aportaciones valiosas a la evaluación del cambio climático y de sus repercusiones, de modo que las redes de observación que se constituyan o experimenten mejoras durante el API se mantengan en funcionamiento durante muchos años. Estos resultados constituirán una parte importante del legado del API a nuestro planeta.

La presente publicación subraya la importancia de las regiones polares en el conjunto del sistema Tierra, particularmente en lo referente al clima. Se describen en ella algunos de los cambios



*M. Jarraud, Secretario General*

medioambientales más importantes acaecidos en las regiones ártica y antártica en los últimos años, y se examinan los cambios que podrían sobrevenir en el próximo siglo. Deseo expresar mi agradecimiento al autor, John Turner, jefe de proyecto en el *British Antarctic Survey*, y a todos cuantos han aportado su ayuda.

Aliento a los SMHN de todos los Miembros de la OMM interesados en las investigaciones y observaciones polares a que participen activamente en este API. Animo igualmente a los SMHN, las organizaciones internacionales, las organizaciones no gubernamentales y, en general, a todos los que estén interesados en esas regiones singulares de nuestro planeta a que aprovechen esta oportunidad ideal para aportar su colaboración al API y asegurar, de ese modo, una plétora de resultados científicos que nos beneficiarán a todos, en el presente y en el futuro.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M. Jarraud'. The signature is written in a cursive style and is positioned above the printed name and title.

(M. Jarraud)  
Secretario General

# INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha suscitado un interés inusitado por el clima y las condiciones medioambientales de las regiones polares. El descubrimiento del agujero de ozono antártico, el descenso sin precedentes de los niveles de hielo marino en el Ártico, la pérdida de masa del manto de hielo de Groenlandia, la desintegración de mesetas de hielo en torno a la península Antártica, y la marcada presencia de aerosoles en el Ártico han sido noticia en los medios de comunicación. Además, los modelos climáticos predicen que en latitudes altas la temperatura subirá más que en ninguna otra región durante el próximo siglo, debido al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero. No se sabe con certeza, sin embargo, si las rápidas fluctuaciones climáticas de las regiones polares en los últimos siglos y milenios son, de confirmarse, una manifestación de la variabilidad natural del clima. Por ello, es importante procurar separar los efectos de la variabilidad natural del clima de los que producen las actividades humanas.

Aunque las regiones polares están alejadas de las principales áreas de población, tienen una gran importancia en el sistema climático mundial; los cambios acaecidos en latitudes altas pueden afectar a los ecosistemas y a la sociedad humana por efecto de un aumento del nivel del mar o

de variaciones en la circulación atmosférica y oceánica.

Los mantos de hielo de Groenlandia y de la Antártida contienen el 9 y el 90 por ciento, respectivamente, del hielo glaciar de todo el planeta. Si ambas formaciones se fundieran completamente, elevarían el nivel del mar en 7 y en 70 metros, respectivamente. Aunque no es previsible un aumento tan alarmante, ni siquiera a una escala de centenares o de miles de años, la fusión de una pequeña fracción de esos hielos tendría, con todo, graves repercusiones que afectarían al nivel y a la circulación de los océanos.

Las regiones polares se caracterizan también por sus grandes extensiones de hielos marinos: la Antártida duplica su extensión a lo largo del año cuando se congelan sus aguas circundantes. El hielo marino ejerce un efecto de "tapadera" térmica del océano, y la expulsión de sal que comporta su formación es un factor importante en la circulación de los océanos mundiales.

En este contexto, la meteorología polar se aborda en un sentido amplio que abarca tanto el comportamiento de los sistemas atmosféricos como el papel que esta ciencia desempeña en el sistema climático mundial.

En las regiones polares la temperatura ha aumentado más que en otras.

Uno de sus efectos a escala mundial es el aumento del nivel del mar, que puede acarrear inundaciones, y que amenaza incluso la existencia de ciertas áreas bajas e islas.

Uno de sus efectos locales, de interés e importancia a nivel mundial, es el peligro que entraña para la diversidad biológica (es decir, para la supervivencia de la fauna y de la flora). Están también en peligro los modos de vida tradicionales de los pueblos indígenas del Ártico, que dependen de esos animales y plantas para su alimentación, vestimenta, asentamientos, armas de caza y pesca, etc.





# METEOROLOGÍA POLAR

## OBSERVACIÓN DE LAS REGIONES POLARES

Las regiones polares son, de todo el planeta, aquéllas en que menos observaciones meteorológicas *in situ* se realizan. En toda la Antártida, cuya extensión es el doble de la de los Estados Unidos de América, sólo 44 estaciones realizan observaciones meteorológicas de superficie y únicamente 14 lanzan radiosondas (instrumentos que ascienden por la atmósfera, generalmente transportados por globos, para obtener y transmitir datos meteorológicos). Las partes más meridionales del Ártico cuentan un mayor número de estaciones de observación, debido a la abundancia en ellas de asentamientos humanos. Sin embargo, en latitudes más altas el volumen de datos obtenidos mediante observadores humanos es menor, debido a la escasez de estaciones de observación en las islas.

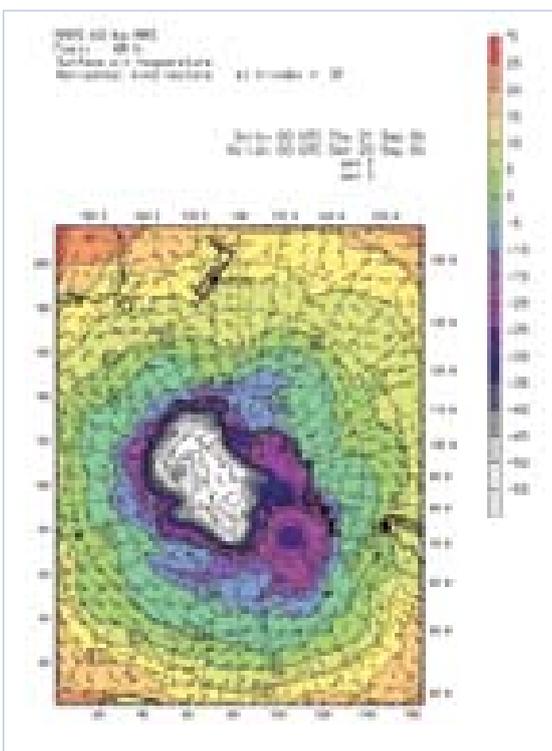
Mediante su Programa de Actividades Antárticas, la OMM coordina las actividades meteorológicas realizadas por distintos países y grupos de países. En el marco del Tratado Antártico, se interesa por las relaciones entre esas actividades y otros

Programas de la OMM, particularmente el de Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM), y aspira a satisfacer las necesidades de servicios meteorológicos, de vigilancia del medio ambiente y de investigación del clima, en particular mediante sondeos de la atmósfera en altitud para la medición de variables meteorológicas gracias a la Red sinóptica básica de la Antártida de la Organización. Tales observaciones proporcionan perfiles verticales desde la superficie hasta altitudes de unos 25 km e incluso, ocasionalmente, 35 km (en la estratosfera inferior). Las estaciones de superficie y en altitud proporcionan ordinariamente informes cifrados que son esenciales para las predicciones meteorológicas mundiales. Actualmente, las observaciones son enviadas desde las regiones polares mediante sistemas de comunicación vía satélite al Sistema Mundial de Telecomunicación de la OMM, a través del cual son transferidas a los principales centros de predicción. El Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción de la OMM, mediante sus centros regionales, proporciona datos y productos especializados para diversos tipos de usuarios.

Pese a las rudas condiciones de la Antártida y a los problemas logísticos, la Red sinóptica básica de la Antártida está sólidamente constituida, gracias a los esfuerzos de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) y a los programas antárticos de los países que forman parte del Tratado Antártico. Los informes meteorológicos

La envergadura del casquete polar de la Antártida y el aislamiento de ese continente del resto del planeta por la presencia del Océano Antártico ha impedido los asentamientos humanos permanentes antes de que se establecieran las primeras estaciones científicas a comienzos del siglo XX.

En los continentes que rodean el Océano Ártico, el clima ha sido suficientemente templado para albergar a sus poblaciones indígenas durante milenios.



Predicción a 48 horas obtenida mediante el Sistema Antártico de Predicción en Mesoescala



Mosaico de imágenes satelitales de la Antártida y del Océano Antártico en infrarrojo, obtenidas el 21 de agosto de 2006



Estación meteorológica automática en la Antártida

El Tratado Antártico se abrió para la firma del 1 de diciembre de 1959, y entró en vigor el 23 de junio de 1961.

El Sistema Mundial de Observación del Clima está copatrocinado por la OMM, la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Consejo Internacional para la Ciencia.

recibidos de la Antártida en los principales centros del Sistema Mundial de Telecomunicación de la OMM parecen indicar que el porcentaje de informes recibidos es cercano al promedio mundial. La mayoría de las observaciones obtenidas de estaciones dotadas de personal en las regiones ártica y antártica contribuyen en buena medida a las redes de altitud y de superficie y a la base de datos del Sistema Mundial de Observación del Clima.

Debido a la escasez de datos obtenidos *in situ*, los meteorólogos polares han recurrido siempre a datos obtenidos mediante sistemas autónomos y satélites en órbita polar. A partir de los años 60, las imágenes satelitales han sido muy útiles para identificar la posición de los sistemas atmosféricos a escala sinóptica y en mesoescala (diámetro inferior a 1 000 km) sobre los océanos y los lugares más apartados de la superficie terrestre. Aunque las primeras imágenes eran de baja calidad, muy granuladas en resolución horizontal y con pocos tonos de gris, numerosas estaciones poseen actualmente receptores digitales capaces de proporcionar imágenes de alta resolución en varias longitudes de onda.

Los primeros datos satelitales obtenidos de las regiones polares eran imágenes en los espectros visible e infrarrojo. En los últimos años, sin embargo, existen productos muy diversos, obtenidos de instrumentos activos y pasivos que operan en microondas, y que permiten determinar los perfiles de temperatura y de humedad (incluso en presencia de nubes), así como la extensión

y la concentración de los hielos marinos, y los vientos sobre las superficies del océano libres de hielo.

La escasez de observaciones *in situ* de las regiones polares impulsó en los primeros años la instalación de estaciones meteorológicas automáticas (EMA), que proporcionan observaciones frecuentes con un mantenimiento mínimo. En la Antártida se instalaron por primera vez EMA a mediados de los años 80, y su utilidad ha sido patente; en la actualidad, son más las observaciones que se obtienen de EMA que de estaciones no automáticas. En la Antártida, la mayoría de las estaciones de investigación están ubicadas en la costa, por lo que las EMA son esenciales para el conocimiento de la meteorología del interior. En el Ártico hay instaladas EMA en las áreas circundantes al Océano Ártico de la Federación de Rusia, Escandinavia, América del Norte y Groenlandia. Han resultado particularmente valiosas en Groenlandia, donde las temperaturas han aumentado notablemente en los últimos años.

Una EMA es un sistema autónomo que normalmente mide variables meteorológicas de superficie, como la velocidad y dirección del viento, o la temperatura y presión del aire, aunque puede medir también otras variables, como la humedad relativa o las diferencias verticales de temperatura del aire. La mayoría de las EMA polares transmiten datos sin destino específico, que son recibidos por el sistema Argos desde satélites en órbita polar de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) de los Estados Unidos,

o almacenados en un módulo de memoria para recuperarlos posteriormente. En la Antártida, unas 70 EMA completan actualmente los datos proporcionados por las estaciones dotadas de personal.

Para obtener datos sobre el Océano Ártico o en la zona de hielos marinos que circunda la Antártida se instalan boyas a la deriva sobre el hielo. Un gran avance en el desarrollo y despliegue de esas boyas se dio con el Primer Experimento Mundial del GARP (Programa de Investigación de la Atmósfera Global) en 1978/1979, gracias al cual se instalaron más de 300 sistemas en el océano austral para investigar la predecibilidad atmosférica y los requisitos que debía reunir un sistema de observación óptimo. Desde entonces se han instalado en el Ártico muy diversos tipos de boyas a la deriva gracias al Programa Internacional de Boyas en el Ártico (PIBA), y en el océano austral gracias al Programa Internacional de Boyas en el Antártico (Programa Mundial de Investigaciones Climáticas/Comité Científico de Investigaciones Antárticas). Hoy en día son numerosas las empresas comerciales e institutos de investigación que fabrican boyas. Éstas pueden ser tan simples como boyas oceánicas a la deriva de bajo costo sin sensores meteorológicos, o tan sofisticadas como un sistema de última generación con capacidad para realizar diversas mediciones atmosféricas y oceanográficas.

Las boyas constituyen una plataforma básica sobre la que pueden instalarse diversos tipos de instrumentos en función de los datos que se

deseen y de los experimentos que se quiera realizar. Las mediciones incluyen: presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, temperatura del aire y humedad a distintos niveles sobre la superficie y, en el caso de las boyas instaladas en bandejones de hielo, temperatura de la nieve o del hielo en superficie y espesor de la nieve. Gracias a los datos obtenidos mediante el PIBA pudo detectarse un calentamiento notable del Ártico en los años 80 y 90.

En los comienzos del siglo XX se empezaron a confeccionar mapas sinópticos del tiempo en superficie, pero abarcaban principalmente las regiones más pobladas y carecían de exactitud en latitudes altas. En particular en algunas áreas oceánicas de la región antártica las observaciones eran muy escasas; respecto al Ártico los análisis eran algo mejores. En los años 70, sin embargo, pudo ya disponerse de un número creciente de observaciones de satélites meteorológicos en órbita polar, que permitieron analizar con mayor fiabilidad la atmósfera en las latitudes altas. Particularmente importantes fueron las sondas de temperatura atmosférica instaladas en satélites en órbita polar. Sus observaciones, de naturaleza similar a las de las radiosondas ascendentes, generaban perfiles de temperatura y de humedad desde la superficie hasta la estratosfera con la amplitud de perspectiva que proporciona un satélite.

En los últimos años, un reprocesamiento del archivo histórico de observaciones *in situ* y satelitales mediante técnicas de asimilación de

El Programa Mundial de Investigaciones Climáticas está copatrocinado por la OMM, la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (UNESCO) y el Consejo Internacional para la Ciencia.



Boya a la deriva en el Mar de Weddell, Antártida

Las condiciones meteorológicas no son las mismas en los dos polos, ya que el Polo Norte está situado en el Océano Ártico, mientras que el Polo Sur está ubicado en la meseta antártica.

datos ha permitido obtener conjuntos de datos llamados de "reanálisis", que constituyen una fuente valiosísima para la investigación de la variabilidad del clima en los últimos tres decenios. Sin embargo, hasta el advenimiento en 1974 de las sondas satelitales, los campos de reanálisis del hemisferio austral eran deficientes, y no resultan útiles para investigar los cambios de la circulación atmosférica.

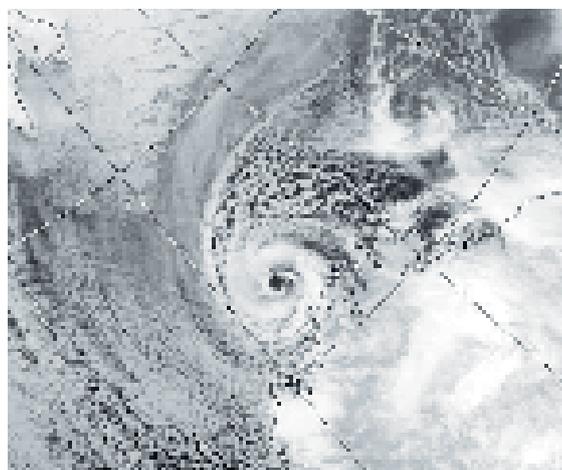
### LOS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS EN LATITUDES ALTAS

Las regiones ártica y antártica se encuentran alejadas de las principales trayectorias de las tempestades de los hemisferios norte y sur, y los valores medios de la presión en la superficie del mar configuran en esas áreas anticiclones climatológicos. No obstante, conviene ser prudentes si se desea calcular la presión atmosférica al nivel medio del mar a partir de mediciones obtenidas en áreas elevadas de la Antártida y de Groenlandia. Las condiciones meteorológicas

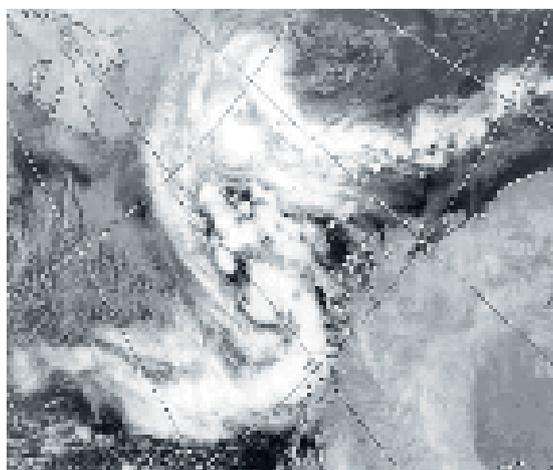
no son las mismas en los dos polos, ya que el Polo Norte está situado en el Océano Ártico, mientras que el Polo Sur está ubicado en la meseta antártica.

En el hemisferio norte, la cordillera del Himalaya y las Montañas Rocosas hacen que el flujo troposférico sea muy meridional y que gran número de sistemas atmosféricos alcancen latitudes altas y, ocasionalmente, atraviesen el Océano Ártico. En el hemisferio sur, en cambio, no hay grandes formaciones montañosas, por lo que las bajas presiones describen allí una trayectoria mucho más zonal que progresa sólo gradualmente, en espiral, hacia las costas de la Antártida. La circunstancia de que la Antártida sea un extenso macizo de hielo en torno al Polo Sur influye notablemente en la circulación atmosférica de ese hemisferio. En su descenso desde latitudes medias, las bajas presiones pierden velocidad o se desvían hacia el este en la costa antártica al encontrar a su paso una orografía elevada. Debido a ello, es raro encontrar bajas presiones activas en el interior de la Antártida, aunque algunas penetran hasta





*Depresión polar activa con una configuración nubosa en espiral*



*Depresión polar frente a la costa septentrional de Noruega, con una extensa nube convectiva*

el Dome C, cerca del Polo Sur, o incluso hasta Vostok, donde el flujo de la troposfera media es más meridional. Estas últimas parecen responder a la variabilidad natural del clima y, en las estaciones del interior, se caracterizan por un aumento repentino de la temperatura, la aparición de nubes y, ocasionalmente, precipitaciones moderadas en un lugar que no es sino un extenso desierto helado.

Entre los 60° y los 70° de la costa antártica son frecuentes las bajas presiones activas y las borrascas moderadas. La frecuencia de las tempestades en ese lugar indica que las presiones atmosféricas son bajas, y la zona es conocida como "depresión circumpolar". Nada semejante sucede en el Ártico, donde las condiciones orográficas son diferentes.

### Depresiones polares

Las formaciones atmosféricas más violentas del Ártico son de corta duración (generalmente menos de 24 horas), y consisten en depresiones polares de escala media, es decir, bajas presiones activas que se forman en ciertas áreas marítimas exentas de hielo al sur del frente polar, que es la principal frontera entre las masas de aire polar y tropical. Las depresiones polares del Ártico son fundamentalmente un fenómeno invernal. La mayoría de ellas tienen una escala horizontal de entre 400 y 600 km, aunque los sistemas convectivos pueden albergar vórtices de menor tamaño. Las depresiones polares pertenecen al tipo general de perturbación conocido como

mesociclón polar, en el que se incluyen también los numerosos vórtices menores observados en las imágenes satelitales de las regiones polares. Las depresiones polares se definen como perturbaciones con vientos de superficie de 17 m/s o más. Observaciones han indicado que pueden ir acompañadas de vientos de hasta 33 m/s. Se cuentan entre los fenómenos más adversos de las costas e islas del Ártico y pueden entrañar un gran riesgo para las operaciones marítimas y para las plataformas de exploración y producción de gas y de petróleo.

En la región antártica las diferencias de temperatura entre el aire y el mar son mucho menores que en el Ártico, y no se forman convecciones profundas cerca de las costas de la Antártida o en la latitud de la depresión circumpolar. Por ello, las depresiones polares presentan allí gradientes de temperatura horizontales débiles, aunque las imágenes satelitales muestran numerosos mesociclones polares menores.

Las depresiones polares son evidentemente elementos importantes en la predicción del tiempo en ambas regiones polares, pero se desconoce exactamente su importancia en términos climatológicos. Debido a las grandes diferencias de temperatura entre el aire y el mar que conllevan las depresiones polares y a los fuertes vientos cerca de la superficie, se han llegado a registrar flujos de calor en superficie de hasta 1 000 W/m<sup>2</sup>, aunque ese tipo de perturbaciones es relativamente raro a lo largo de una temporada

La rama de la geografía física que estudia la formación de montañas y los accidentes montañosos se denomina orografía.

Las depresiones polares mesoescalares también se conocen con diferentes denominaciones, tales como huracán ártico, bomba ártica, depresión inestable ártica, depresión de aire frío, nube en coma, y mesociclón polar.

## Depresiones polares

Las depresiones polares fueron investigadas por primera vez a finales de los años 60, en que empezó a disponerse de imágenes satelitales, pero los estudios se vieron dificultados por la falta de observaciones *in situ*, ya que las depresiones rara vez atravesaban estaciones de observación sinópticas. Los primeros estudios de modelización eran frecuentemente inadecuados, debido a su reducida escala horizontal y a la deficiente parametrización de algunos procesos físicos clave, como la convección profunda. En los últimos tiempos hemos avanzado sustancialmente en la comprensión de esos sistemas, gracias al vuelo planificado de aeronaves a través de las depresiones, a estudios basados en múltiples fuentes de datos satelitales, y a experimentos con modelos de área limitada de alta resolución.

A finales de los años 60 y comienzos de los 70, se debatía si las depresiones polares se formaban y cobraban fuerza del mismo modo que las depresiones en latitudes medias con gradientes de temperatura horizontal, o si estaban principalmente asociadas a cumulonimbos de gran altura, como los huracanes. En la actualidad sabemos que hay toda una panoplia de perturbaciones, desde las depresiones de pequeña escala, bastante raras, asentadas en gradientes de temperatura someros con una estructura frontal semejante a la de un pequeño ciclón de latitudes medias, hasta los sistemas caracterizados por un gran número de cumulonimbos de gran espesor.

Las depresiones polares fueron investigadas por primera vez en los Mares de Noruega y de Barents, donde esas formaciones afectaban a las comunidades costeras noruegas y producían algunas de las nevadas más abundantes sobre el Reino Unido. Sin embargo, a medida que pudo disponerse de imágenes satelitales, se identificaron depresiones polares en otras partes del Ártico en que las diferencias de temperatura entre el aire y el mar son acentuadas, y concretamente en el Estrecho de Davis/Mar de Labrador, Golfo de Alaska y Mar de Bering, Mar de Beaufort, norte de la costa rusa, Pacífico noroccidental, Mar de Japón, y áreas circundantes.

Aunque el Antártico conoce algunas depresiones polares, éstas se desarrollan principalmente a partir de gradientes de temperatura horizontales poco profundos, ya que en latitudes australes altas no hay fenómenos de convección profunda. Ello se debe a que la circulación oceánica del hemisferio sur es mucho más zonal que en el norte del ecuador, y las masas de agua cálida no llegan a alcanzar la costa antártica. En las polinias costeras (áreas exentas de hielo en el interior de una masa helada) pueden darse grandes diferencias de temperatura entre el aire y el mar, pero la trayectoria del aire sobre esas áreas es bastante corta, por lo que las depresiones polares no tienen tiempo para formarse.

en un lugar dado. No obstante, se ha planteado el interrogante de si los numerosos vórtices menores de latitudes altas pueden conjuntamente generar en la superficie del océano una pérdida de calor suficiente para desencadenar corrientes convectivas descendentes, que podrían afectar a la circulación termohalina, generada por las diferencias de densidad del agua del mar asociadas a gradientes de temperatura y de salinidad. A esta pregunta sólo cabe responder mediante experimentos con modelos, que están siendo ya realizados.

### PREDICCIÓN DEL TIEMPO EN LAS REGIONES POLARES

Aunque las regiones polares por lo general están muy apartadas de los principales centros de población, también en ellas son necesarias predicciones del tiempo fiables. En el Ártico, para las comunidades indígenas, las operaciones marítimas, y la exploración y producción de petróleo y gas. En la región antártica, para las complejas operaciones logísticas aéreas y marítimas en apoyo de los programas de investigación, y



para la creciente industria turística. Necesitan también predicciones los equipos que trabajan en lugares muy apartados.

Las primeras expediciones hacían ya uso de predicciones meteorológicas tanto para el Ártico como para el Antártico, que en los primeros años eran muy deficientes debido a la escasez de observaciones disponibles y a un escaso conocimiento del comportamiento del clima en latitudes altas.

La situación no mejoró gran cosa hasta el advenimiento del Año Geofísico Internacional (AGI) de 1957-1958, en que se establecieron varias estaciones de investigación en latitudes altas, especialmente en la Antártida, muchas de las cuales efectuaban regularmente lanzamientos de radiosondas. Los datos adicionales así obtenidos permitieron analizar con mayor fiabilidad las condiciones en la superficie y en altitud, aunque las observaciones sobre el océano seguían siendo escasas.

Las imágenes satelitales se incorporaron a la predicción del tiempo en los años 60. Durante muchos años los análisis eran rudimentarios en las latitudes altas y las imágenes constituían la

única manera de determinar la situación real de la atmósfera. Las imágenes se utilizaban para emitir alertas tempranas de fenómenos atmosféricos, frentes, y formaciones nubosas aisladas, así como información suplementaria sobre la extensión de los hielos marinos.

Desde finales de los años 70 es ya posible determinar los perfiles de temperatura y humedad en niveles superiores de la atmósfera gracias a los datos obtenidos por satélites en órbita polar. Esa disponibilidad de datos objetivos permitió crear sistemas mundiales de predicción numérica del tiempo (PNT) que proporcionaban predicciones con varios días de antelación. Durante los años 80, la exactitud de las predicciones polares obtenidas mediante esos sistemas era mucho menor que en las áreas tropicales y en latitudes medias, pero durante el decenio siguiente se experimentaron adelantos notables, gracias a unas mejores técnicas de análisis, una mayor resolución horizontal de los modelos, y un mayor aporte de datos obtenidos mediante instrumentos a bordo de satélites, como el dispersímetro de viento.

En la actualidad, la predicción en la región antártica plantea problemas muy diferentes según se refiera al océano o al continente. En áreas del

Un dispersímetro de viento es un instrumento instalado a bordo de un satélite que proporciona observaciones del viento en superficie a partir de mediciones de la retrodispersión en el océano de señales de radar.

océano, los modelos PNT tienen mayor exactitud que en el hemisferio norte, debido a la menor complejidad de la orografía del hemisferio sur. Sin embargo, en el continente, y especialmente en la región costera, los emplazamientos están afectados por sistemas eólicos locales que muchos modelos mundiales no pueden incorporar. Por ello, los predictores se inclinan por un planteamiento de predicción inmediata basado en imágenes satelitales para predecir los vientos con hasta 24 horas de antelación. Ciertos modelos de PNT con alta resolución horizontal de área limitada (como el Sistema de Predicción Antártico en Mesoescala, AMPS, de los Estados Unidos) están empezando a predecir vientos de superficie en áreas de orografía compleja con mayor éxito.

Los problemas de predicción son algo menores en el Ártico, ya que una gran parte de la región está circundada por costas, desde las que se aportan numerosas observaciones meteorológicas *in situ*. Éstas, complementadas con datos de sondas satelitales, permiten realizar análisis numéricos y predicciones de alta calidad. La orografía de la región ártica, relativamente baja, ayuda también a mejorar las predicciones.

La excepción principal es el interior de Groenlandia, donde existen los mismos problemas que en la meseta antártica.

### El proceso de predicción

En las regiones ártica y antártica, la predicción del tiempo entraña dificultades específicas en comparación con las regiones extrapolares (véase el recuadro de la página 23). Aun así, los grandes avances de los sistemas de observación y de la PNT, anteriormente mencionados, han mejorado considerablemente la calidad de las predicciones, aunque el trabajo de predicción en áreas terrestres y oceánicas difiere notablemente.

Sobre los océanos, el gran volumen de datos de sondas satelitales actualmente disponible permite unos análisis meteorológicos de gran calidad, pese a la carencia de datos de radiosondas. Ello hace que los campos de PNT sean fiables a un plazo de dos o tres días, y que pueda obtenerse una idea razonablemente fiable de la evolución del tiempo con hasta seis días de antelación. En la Antártida y en el interior de Groenlandia, sin embargo, la falta de datos *in situ*, los problemas que plantea la realización de sondeos de temperatura desde



satélites sobre una superficie elevada y cubierta de hielo, y la complejidad de los sistemas de viento y nubes locales deteriora rápidamente la calidad de los campos PNT a medida que uno se aleja de la costa.

Recientemente se han empezado a utilizar modelos PNT de área limitada con alta resolución horizontal en ciertas partes de la Antártida. Aunque estos modelos no incorporan todavía datos adicionales, la alta resolución horizontal y el mayor realismo con que modelizan la orografía podrían mejorar la predicción del tiempo a corto plazo.

### THORPEX

El THORPEX (Experimento de investigación y predecibilidad del sistema de observación) forma parte del Programa Mundial de Investigación Meteorológica de la OMM y ofrece una estructura para abordar los problemas de predicción meteorológica, en especial los que conciernen a las zonas polares, cuya solución se conseguirá gracias a la colaboración internacional entre los centros operativos de predicción de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales, las instituciones académicas y los usuarios de los productos de predicción.

El THORPEX tiene objetivos específicos de investigación para el Año Polar Internacional (API) 2007-2008 (véase el recuadro *infra*). Para alcanzar esos objetivos se llevarán a cabo campañas sobre el terreno durante un período intensivo de observación previsto durante el Año Polar Internacional.

La mayoría de las actividades de investigación que se van a realizar durante el Año Polar Internacional coinciden con las del THORPEX, que estudia los factores que tienen una influencia, a escala regional y mundial, sobre la evolución de los sistemas meteorológicos y sobre la capacidad de predecirlos y corresponden al objetivo del API, que es comprender las teleconexiones entre las regiones polares y el resto del mundo a todas las escalas, y los procesos que influyen en ellas.

Durante el Año Polar Internacional, en el marco del THORPEX se estudiarán las predicciones de los fenómenos meteorológicos de efectos devastadores, la capacidad de predecirlos, y se tratarán de mejorar los conocimientos de los procesos físicos y dinámicos conexos relacionados con las

Una radiosonda es un aparato instalado en globos meteorológicos que mide diversos parámetros de la atmósfera y los transmite a un receptor fijo.

Las radiosondas miden o calculan las variables siguientes:

- Presión atmosférica
- Altitud
- Posición geográfica (latitud/longitud)
- Temperatura
- Humedad relativa
- Velocidad y dirección del viento

## THORPEX y el Año Polar Internacional 2007-2008

En el contexto del API, THORPEX aspira a:

- Abordar las interacciones recíprocas entre los regímenes meteorológicos polar y subpolar
- Evaluar y mejorar la calidad de los análisis operativos y de los productos de reanálisis de investigación en las regiones polares
- Abordar la mejora de las técnicas de asimilación de datos para las regiones polares
- Evaluar el grado de acierto en la predicción de fenómenos meteorológicos de fuerte repercusión de escala polar a mundial con arreglo a diferentes estrategias de observación en latitudes superiores
- Demostrar la utilidad de una mejor utilización de los productos de predicción por conjuntos del tiempo respecto de fenómenos meteorológicos de fuerte repercusión y, en su caso, para las operaciones del API
- Elaborar recomendaciones sobre el diseño del Sistema Mundial de Observación en las regiones polares para la predicción meteorológica

THORPEX es uno de los componentes clave del Programa de Prevención de los Desastres Naturales y de Atenuación de sus Efectos de la OMM. Contribuirá al objetivo de la Organización de reducir a la mitad el número de víctimas mortales de los desastres naturales de origen meteorológico, hidrológico y climático en los próximos 15 años.

## Glaciares, mesetas de hielo y témpanos

Cuando los glaciares antárticos llegan a las costas de la Antártida, comienzan a flotar y se convierten en mesetas de hielo, de las que posteriormente se desprenden témpanos. Desde 1974, se han desintegrado en la Península Antártica 13 500 km<sup>2</sup> de mesetas de hielo, fenómeno que tiene relación con un aumento regional de la temperatura superior a 2°C en los últimos 50 años.

Situaciones similares en otras áreas podrían intensificar el flujo de hielo y dar lugar a un aumento espectacular del nivel del mar. El colapso final de la plataforma Larsen B en febrero de 2002 liberó 3 250 km<sup>2</sup> del fondo del mar, anteriormente ocupados por una cobertura de hielo que, según las estimaciones, había permanecido en ese lugar durante al menos 5 000 años.



La desaparición del hielo permite la invasión y proliferación del plancton vegetal y animal. Se van a realizar estudios para determinar los cambios experimentados por los ecosistemas estructurados en gran medida por el hielo en esas regiones. Los investigadores observarán la evolución de antiguas áreas de explotación pesquera de la parte occidental de la Península Antártica, a fin de determinar el estado de recuperación de la población de peces.

interacciones de las regiones polares y subpolares. La investigación que se va a llevar a cabo tratará, entre otras cosas, del estudio de la influencia de la orografía de Groenlandia en los sistemas de las tempestades ciclónicas de Europa y África, de las interacciones entre los procesos meteorológicos de las regiones tropicales, de las latitudes medias y de las regiones polares, los trenes de ondas de Rossby provocados por una intensa ciclogénesis frente a las costas de

Asia y se intentará determinar si las anomalías de las aguas libres en las cercanías del Ártico y del Antártico pueden modificar las trayectorias y la intensidad de las tormentas, y la circulación de Ferrel/Walker.

Durante el Año Polar Internacional se abordarán también otros objetivos importantes del THORPEX con objeto de facilitar el desarrollo de sistemas avanzados de asimilación de datos y de predicción



**THORPEX:**  
Una mejora creciente de la exactitud de las predicciones de fenómenos meteorológicos de fuerte repercusión con antelaciones de un día a dos semanas, en beneficio de la sociedad, de la economía y del medio ambiente.

*Los cambios experimentados por los hielos marinos árticos afectan a la navegación.*

por conjuntos, y de elaborar y demostrar sistemas interactivos de predicción. Para ese fin, se llevará a cabo una campaña en la región antártica, que tendrá por objeto evaluar y mejorar las técnicas de asimilación de datos satelitales y contribuir a alcanzar el principal objetivo del API, a saber, evaluar la situación actual del medio ambiente en las regiones polares, determinando su variabilidad espacial y temporal.

Estos estudios contribuirán a la asimilación de los datos satelitales de las regiones polares y como corolario se conseguirá una mejora considerable de las observaciones, ya que aumentará nuestra capacidad de predecir los sistemas meteorológicos en las regiones polares y se podrá determinar la influencia de los procesos polares en latitudes más bajas, así como estudiar las condiciones climáticas en dichas regiones.



*Muchos animales de las regiones polares están amenazados por el calentamiento mundial, tales como los pingüinos. Todas las naciones tienen la misión de conservar estas comunidades insustituibles, en beneficio de las generaciones futuras.*

# EL SIGNIFICADO DE LAS REGIONES POLARES EN EL SISTEMA CLIMÁTICO MUNDIAL

## LOS POLOS

El sistema climático mundial se alimenta de la energía del Sol, que recae en su mayor parte sobre las latitudes bajas. A lo largo del año, el ecuador recibe aproximadamente cinco veces más calor que los polos, creando así una gran diferencia de temperatura entre ambos. La circulación de la atmósfera y la del océano responden a este gradiente horizontal transportando el calor hacia los polos. De hecho, el sistema climático es en cierto sentido un motor cuya fuente de calor se sitúa en latitudes bajas y que tiene su disipador de temperatura en las regiones polares.

Tanto la atmósfera como el océano desempeñan un importante papel en la transferencia de calor hacia los polos, un 60 por ciento del cual es transportado por la atmósfera, y el 40 por ciento restante por el océano. En la atmósfera, el calor es empujado por las bajas presiones y por el flujo predominante. Las bajas presiones transportan aire cálido hacia los polos en su vertiente oriental, y frío hacia latitudes bajas en su flanco occidental. La atmósfera puede responder con relativa rapidez a las variaciones de la tasa de calentamiento en latitudes altas o bajas, de tal manera que las trayectorias de las tempestades y el flujo predominante varían en una escala de días a años. En los océanos, esas variaciones responden a escalas del tiempo mucho mayores.

La diferente distribución de la masa terrestre en los hemisferios norte y sur influye notablemente en la circulación de la atmósfera y del océano, cuyos flujos son mucho más zonales en el sur que en el norte.

En prácticamente todo el hemisferio sur, el transporte de calor atmosférico es mayor que el oceánico, mientras que al norte del ecuador el transporte oceánico es predominante entre el ecuador y los 17°N. El valor máximo se alcanza, en ambos hemisferios, en torno a los 35° del ecuador. A esas latitudes, el componente atmosférico representa aproximadamente un 78 por ciento del total en el hemisferio norte, y un 92 por ciento en el hemisferio sur.

Una consecuencia más de esa diferencia entre las condiciones terrestres y oceánicas en ambos

hemisferios es el hecho de que la diferencia de temperatura entre el ecuador y el polo es casi un 40 por ciento mayor en el sur que en el norte, y genera vientos del oeste más intensos en latitudes medias.

El transporte de calor atmosférico hacia los polos es máximo durante el invierno, en que las pérdidas de calor son elevadas en latitudes altas, y en que la diferencia de temperaturas entre las latitudes ecuatoriales y tropicales es máxima.

## CONEXIONES CON LATITUDES INFERIORES

Las regiones polares están conectadas con el resto del sistema climático de la Tierra mediante complejas trayectorias de flujo atmosférico y de circulación oceánica. En las capas más altas del océano, la circulación puede cambiar en un



*Condiciones atmosféricas durante la fase positiva (arriba) y la fase negativa (abajo) de la Oscilación del Atlántico Norte (véanse las páginas 18 a 20 para mayores detalles).*

El sistema climático es, en cierto sentido, como un motor, cuya fuente de calor se sitúa en latitudes bajas y que tiene su disipador de temperatura en las regiones polares.

Los modos de variabilidad más destacados de la circulación atmosférica en la región extratropical y en latitudes altas se denominan “Modo Anular del Hemisferio Norte”, estrechamente relacionado con la oscilación del Atlántico Norte, y “Modo Anular del Hemisferio Sur” (conocido también como “modo de latitudes altas” u “oscilación antártica”).

La palabra “termohalina” se deriva de las palabras griegas termo (calor) y hals (sal), que conjuntamente determinan la densidad del agua del mar.

La circulación termohalina es conocida también como “cinta transportadora oceánica”, “cinta transportadora mundial”, o “circulación oceánica profunda”.

## Circulación termohalina

La circulación termohalina es el sistema que interconecta los principales océanos. Desempeña un papel extremadamente importante como vínculo de las regiones de latitudes altas con el resto del sistema Tierra, y establece un enlace directo entre el Ártico y el Antártico. Tiene su origen en las diferencias de densidad del agua del mar, controladas a su vez por la temperatura y la salinidad. Las



corrientes de superficie impulsadas por el viento (como la Corriente del Golfo) avanzan desde el Océano Atlántico ecuatorial hacia los polos, enfriándose durante su recorrido y, finalmente, hundiéndose en latitudes altas (y conformando de ese modo las aguas profundas del Atlántico Norte). Estas aguas densas afluyen al fondo del océano. La mayor parte de ellas aflora en el Océano Antártico, pero las más antiguas (con un tiempo de desplazamiento de unos 1 600 años) afloran en el Pacífico Norte. Se produce, pues una mezcla en gran escala de las cuencas oceánicas que reduce las diferencias entre ellas y que convierte al océano terrestre en un sistema global.

En su recorrido, las masas de agua transportan tanto energía (en forma de calor) como materia (sustancias sólidas, sustancias disueltas y gases) por todo lo ancho del planeta. Por ello, el estado de esa circulación influye notablemente en el clima de la Tierra.

plazo de meses o años, pero las capas bajas y la circulación termohalina mundial tarda de decenios a siglos en responder (véase el recuadro más arriba). Así pues, las conexiones más inmediatas entre las latitudes altas y bajas se establecen generalmente a través de la atmósfera.

En los últimos años se ha evidenciado un gran interés por los modos de variabilidad en las regiones de latitudes altas. Éstos reflejan las formas de interacción entre las latitudes altas y las latitudes medias, y abarcan, en particular, las variaciones en gran escala de la presión atmosférica y las trayectorias de las principales tempestades.

El Modo Anular del Hemisferio Norte (NAM) y el Modo Anular del Hemisferio Sur (SAM) presentan estructuras zonalmente simétricas o anulares, con anomalías sincrónicas de signo opuesto en latitudes altas y medias. Es posible reconocerlos en muchos de los parámetros medidos en latitudes

altas, como la presión y temperatura en superficie, la altura geopotencial, o el viento zonal. Ambos varían poco con la altura. Estudios basados en observaciones y en modelos han revelado que tanto el NAM como el SAM determinan en gran medida la variabilidad del clima en latitudes altas y medias en muy diversas escalas temporales, siendo el SAM el más probable determinante de la circulación a gran escala del océano austral. El SAM y el NAM suelen definirse como la diferencia de presión al nivel medio del mar entre 40° y 65°.

La Oscilación del Atlántico Norte (OAN) está estrechamente vinculada a la Oscilación Ártica, y su variabilidad influye grandemente en el clima ártico. Es el modo predominante de variabilidad del clima invernal en la región del Atlántico Norte, y su influencia alcanza hasta la cuenca del Ártico. La OAN es una oscilación a gran escala de la masa atmosférica entre el anticiclón subtropical

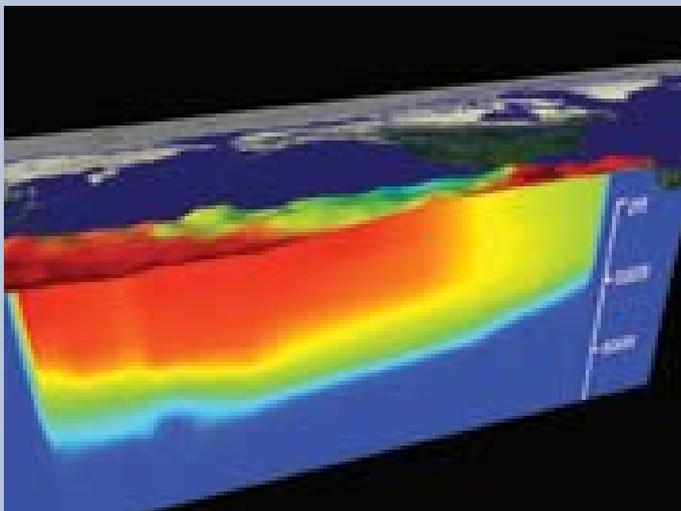
## El Niño/Oscilación Austral

El fenómeno El Niño/Oscilación Austral (ENOA) es una fluctuación masiva del Pacífico tropical que lleva asociados períodos cálidos, fríos e intermedios de las temperaturas de la superficie del mar en el Océano Pacífico oriental. Durante los períodos fríos, más frecuentes, el Pacífico tropical se caracteriza por una intensificación de los vientos alisios del este y un valor elevado de las presiones al nivel medio del mar sobre el Pacífico oriental frente a las costas de América del Sur, y por la presencia de bajas presiones en torno a Indonesia. Estos episodios van acompañados de un aumento (descenso) general en el Pacífico occidental (oriental) y de un flujo de retorno de oeste a este en niveles altos de la atmósfera, conocido como Circulación de Walker.

Esta situación da lugar a una precipitación convectiva generalizada sobre Australasia e Indonesia (donde las temperaturas de la superficie del mar son altas), y unas condiciones anticiclónicas más estables sobre el Pacífico oriental. Los fuertes vientos alisios del este inducen en el océano una corriente hacia el oeste conocida como corriente sud ecuatorial, con una corriente de retorno en sentido inverso (la subcorriente ecuatorial)

en niveles inferiores. Cuando estas condiciones frías son acentuadas, se dice que el ciclo ha entrado en la fase denominada La Niña, que puede conllevar una fuerte convección sobre Australasia e inundaciones en regiones tales como Australia o Indonesia. En el océano, el afloramiento de aguas ricas en nutrientes sobre el Pacífico oriental puede ser de gran magnitud, con el consiguiente beneficio para las pesquerías de América del Sur.

Durante la fase cálida del ciclo ENOA, conocida como El Niño, tiene lugar una reducción del gradiente de presión superficial en todo el Pacífico y un debilitamiento de los vientos alisios. La convección disminuye sobre el Pacífico occidental y, en episodios extremos de El Niño, pueden producirse sequías en ciertas partes de Australia. El centro de la convección tropical se desplaza hacia el este, acercándose a la línea horaria, y las temperaturas de la superficie del mar aumentan en el Pacífico central y oriental. Las corrientes oceánicas aminoran su intensidad, y disminuye notablemente el afloramiento de agua frente a las costas de América del Sur, con el consiguiente efecto sobre la industria pesquera de esa región.



Visualización del fenómeno El Niño/Oscilación Austral (junio de 1997).

Las teleconexiones son vínculos estadísticamente significativos entre climas de diferentes zonas geográficas que pueden estar muy alejadas unas de otras.

El fenómeno El Niño/Oscilación Austral (ENOA) es el ciclo climático de mayor magnitud del planeta a escalas de tiempo decenales y subdecenales. Ejerce un efecto muy acentuado no sólo en el estado del tiempo y del océano en el Pacífico tropical, donde el fenómeno tiene su origen, sino también en regiones muy alejadas de la cuenca del Pacífico.

Las regiones polares son las depositarias de los archivos climáticos de la Tierra. Actúan también como un sistema de alerta temprana de lo que podría esperarse que ocurra en el planeta tomado en su conjunto.

Los cambios del clima antártico que afectan a las mesetas de hielo, a la producción de hielo marino o al flujo de masas de aire antártico frío pueden influir en el comportamiento del sistema oceánico mundial.

## Polinias

“Polinia” es una palabra rusa que significa “extensión de agua no congelada circundada de hielo”. Aunque una polinia puede extenderse a lo largo de centenares de kilómetros, su superficie es mucho menor que la del hielo que la rodea. Algunas polinias reaparecen en un mismo lugar y en una misma fecha todos los años, y ciertos animales adaptan sus estrategias de vida a esa periodicidad.

En las polinias prolifera la vida animal y vegetal. Es solamente en ellas, debido a la ausencia de hielo, donde la energía solar llega directamente hasta el agua. La nieve y el hielo reflejan, por lo general, gran parte de la energía luminosa del Sol, pero las aguas de las polinias la absorben.

El fitoplancton de las polinias utiliza esa energía para conformar una extensión rica en nutrientes para el fitoplancton. De este último se alimentan las ballenas y otras especies marinas que, a su vez, son alimento de focas, morsas y osos polares.



*En agosto de 2006 se formó en el Mar de Beaufort una polinia nueva, cuya extensión continuó aumentando. El 11 de septiembre de 2006 la superficie de aguas libres había aumentado hasta los 100 000 km<sup>2</sup>.*

próximo a las Azores y el centro de bajas presiones cercano a Islandia. Es un índice que varía de un año a otro, pero que tiende también a permanecer en una fase dada durante intervalos de hasta varios años.

Durante la fase positiva de la OAN, el centro de altas presiones de la región subtropical es más intenso de lo habitual, mientras que las bajas presiones de Islandia son más acentuadas. Este mayor gradiente de presión da lugar a una mayor frecuencia e intensidad de las tempestades de invierno que atraviesan el Océano Atlántico hasta alcanzar las regiones septentrionales de Europa. En Europa los inviernos son templados y húmedos, aunque el aire caliente se desplaza también hasta el Mar de Noruega y el Mar de Barents, con una disminución del hielo marino superior a la normal. Por otra parte, la intensidad de las bajas presiones de Islandia genera un intenso flujo septentrional que se interna en el Mar de Labrador, produciendo

así más hielos marinos de lo habitual en torno a Groenlandia.

En la fase negativa de la OAN, tanto el anticiclón subtropical como la depresión de Islandia son débiles, presentando así un menor gradiente de presión y una menor frecuencia e intensidad de las tempestades de invierno en el Atlántico Norte. En el norte de Europa y en el sector occidental del Ártico se instala una masa de aire frío que aumenta la extensión del hielo marino. Por otra parte, en Groenlandia las temperaturas invernales son más suaves.

Durante los episodios de El Niño, la intensa actividad tormentosa del Pacífico tropical se encuentra en las proximidades de la divisoria horaria, y su intensa convección genera divergencia en la atmósfera superior. Ello da lugar a trenes de ondas meteorológicas de gran longitud (ondas Rossby) que se desplazan hacia el polo en

ambos hemisferios y que permiten establecer vínculos (teleconexiones) entre el fenómeno El Niño/Oscilación Austral (ENOA) y los climas en latitudes medias y altas. En el norte del Pacífico puede percibirse claramente el desplazamiento hacia el norte de los episodios cálidos de ENOA mediante trenes de ondas Rossby, situación que se denomina “patrón del Pacífico norteamericano”. El límite más septentrional de este tren de ondas puede afectar al clima de Alaska (Estados Unidos de América).

En las latitudes altas del sur, las señales más claras de ENOA pueden apreciarse en el sureste del Pacífico cuando el tren de ondas Rossby ocasiona anomalías de altitud positivas sobre el Mar de Amundsen–Bellingshausen durante los episodios de El Niño, y anomalías negativas en la fase La Niña del ciclo. Con todo, la signatura extratropical puede exhibir, en ocasiones, un alto grado de variabilidad entre unos y otros sucesos en esa región.

La circulación termohalina es el sistema que interconecta los principales océanos (véase el recuadro de la página 18). Los mares que rodean la Antártida son particularmente importantes

debido a las aguas acumuladas en el fondo del Antártico, que constituyen la masa de agua más densa de todos los océanos. Esa masa es el resultado de una convección profunda en la parte costera del Antártico durante el invierno, particularmente en los mares de Weddell y de Ross, aunque está también asociada a otras mesetas de hielo.

El aire frío de la Antártida enfría rápidamente el agua de la superficie, creando polinias (extensiones de aguas exentas rodeadas de hielo marino, véase el recuadro de la página 20) en las proximidades de la costa y propiciando la convección descendente. El desprendimiento de salmuera durante la formación de los hielos marinos sobre la superficie del océano es también muy importante, al igual que la fusión que tiene lugar bajo las mesetas de hielo. Las aguas del fondo del Antártico fluyen hacia el resto de los océanos, y están presentes por debajo de los 4 000 m en todas las cuencas oceánicas.

Estas aguas fluyen hacia el norte del Océano Atlántico y llegan hasta el Ártico, donde el calor es liberado a la atmósfera. Como puede verse, los cambios del clima antártico que afectan a

La evidencia de una fusión generalizada de los hielos marinos está corroborada por una reciente triplicación de los niveles de agua dulce en el Océano Ártico.

La superficie de hielo marino al término del verano (septiembre) ha disminuido en aproximadamente un 17 por ciento durante los últimos 25 años. A nivel regional, esta disminución equivale a una retracción de los contornos del hielo de entre 300 y 500 km en el Mar de Beaufort o en el Mar de Siberia oriental, según el año.



*El hielo marino es importante para las morsas durante su alimentación, ya que les proporciona un lugar de descanso entre zambullidas y les permite capturar peces en un área más extensa.*

La taiga es un bosque pantanoso de coníferas en latitudes septentrionales altas.

La tundra es una vasta región ártica prácticamente llana y carente de árboles, de suelo habitualmente encharcado, y asentada sobre permafrost.

El suelo congelado de la tundra y de la taiga árticas contiene la tercera parte del carbono mundial presente en los suelos. Cuando el permafrost se deshiela, libera carbono a la atmósfera y puede contribuir al aumento de concentraciones de gases de efecto invernadero.

Las mesetas de hielo, a la producción de hielo marino o al flujo de masas de aire antártico frío pueden influir en el comportamiento del sistema oceánico mundial.

Las variaciones de las condiciones del océano en la región ártica pueden tener también repercusiones de amplio alcance. Se sabe, por ejemplo, que las anomalías de salinidad en el Ártico central se propagan hacia el Mar de Groenlandia, donde pueden inducir importantes modificaciones de la estratificación del océano.

La comprensión del papel que desempeña el Ártico en el sistema climático mundial mejoró considerablemente en el período 1994-2003, decenio en el que tuvo lugar el Estudio del sistema climático del Ártico (ACSYS) del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC). El Ártico (y en mucho menor medida las islas subantárticas) desempeña también un importante papel en el sistema climático mundial, ya que actúa

como fuente y sumidero de importantes gases de efecto invernadero presentes en el permafrost o en los suelos estacionalmente congelados. El suelo congelado de la tundra y de la taiga árticas contiene metano, ozono y dióxido de carbono. De hecho, esas regiones contienen la tercera parte del carbono mundial presente en los suelos. Cuando el permafrost se deshiela, libera carbono a la atmósfera y puede contribuir al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero.

#### RECIENTES CAMBIOS DEL MEDIO AMBIENTE EN LATITUDES ALTAS

En los últimos decenios se han producido cambios importantes en el medio ambiente polar, ya que han aumentado las temperaturas del aire próximo a la superficie, que han reducido considerablemente la extensión de los hielos marinos perennes del Ártico, han hecho disminuir



*El oso polar es emblemático de la región ártica. El calentamiento del clima pone en peligro su hábitat, su aprovisionamiento de alimentos y, en último término, su supervivencia, así como la de las poblaciones humanas autóctonas*

## Dificultades para la predicción meteorológica propias de las regiones polares

El campo de viento de la Antártida es una de las características más señaladas del continente, y en algunas partes de la región costera los vientos persistentes ladera abajo (catabáticos) son los más constantes en dirección de todo el planeta. Los vientos alcanzan intensidades máximas durante el invierno, cuando el intenso enfriamiento por falta de radiación crea una gran masa de aire frío sobre la meseta, que alimenta el sistema de vientos catabáticos. Los vientos catabáticos fuertes no están generalizados en la región costera, sino que se concentran en los principales valles glaciales, particularmente en torno a la costa de la Antártida oriental. La climatología delimita bastante bien las áreas en que los vientos catabáticos son más intensos, aunque las predicciones obtenidas mediante técnicas de predicción numérica del tiempo para la región costera son excelentes.

Los vientos catabáticos son menos característicos en el Ártico, debido a que su orografía es más baja. Hay, con todo, vientos catabáticos fuertes en las regiones costeras de Groenlandia, donde pueden llegar a afectar a las comunidades locales.

Existen varios elementos meteorológicos particularmente importantes en las regiones polares; uno de ellos es el contraste de superficie, en otras palabras, la facilidad para distinguir los rasgos físicos de una superficie cubierta de nieve, desde el aire o desde la propia superficie. En las operaciones aeronáuticas, el contraste de superficie es un dato esencial para la seguridad de los despegues y de los aterrizajes. El contraste de superficie depende principalmente de la cubierta de nubes; en ausencia de éstas, el contraste suele ser excelente, debido al escaso contenido de aerosoles de la atmósfera polar y a una buena visibilidad. Los mayores problemas están vinculados a la presencia de capas de nubes opacas y de gran espesor, frecuentemente estratos, altoestratos o nimboestratos de configuración amorfa.

En tales condiciones, es a veces imposible para un observador distinguir pequeños montículos o depresiones del terreno incluso a escasos metros de distancia. Por ello, predecir el contraste de superficie significa, esencialmente, predecir el tipo y espesor de las nubes previstas en un lugar dado.

Otro indicador semejante es el de definición horizontal, que denota la mayor o menor dificultad para discernir la línea divisoria entre la tierra y el cielo. Este parámetro es muy importante para las operaciones de vuelo sobre plataformas de hielo y en extensiones uniformes de las regiones polares como, por ejemplo, la meseta interior de la Antártida o el centro de Groenlandia. Al igual que el contraste de superficie, la definición horizontal está determinada principalmente por el tipo y características de las nubes presentes. Las condiciones más adversas están acompañadas de una espesa capa de estratos, altoestratos o nimboestratos. Como sucede con el contraste de superficie, la predicción de la nubosidad es el paso previo para predecir la definición horizontal. Los elementos básicos necesarios son la predicción del tipo y espesor de la nube, más un conocimiento de la orografía local. Conocidos estos datos, es posible aventurar una predicción subjetiva de la definición horizontal.



Un viento catabático es aquel que discurre pendiente abajo sobre una superficie inclinada, como una colina, una montaña o un glaciar.

En los dos últimos decenios se han observado tendencias contrastantes en la evolución del hielo marino polar, con una gran pérdida de hielo en el Ártico y un ligero aumento en el Antártico.

Los satélites han revolucionado la meteorología y la vigilancia del clima y del medio ambiente. Permiten a los científicos observar y vigilar la extensión de los hielos a la deriva, el volumen de los casquetes polares, la productividad de las aguas del océano y los niveles de ozono en la estratosfera.

Algunos de los cambios medioambientales más acentuados han acaecido en latitudes altas.

la cubierta de nieve, y han causado el deshielo de masas de permafrost y la disminución de los hielos fluviales y lacustres. El deshielo de glaciares en muchas partes del Ártico está contribuyendo al aumento del nivel del mar en todo el mundo. En Alaska, por ejemplo, la fusión de los glaciares puede tener efectos importantes a nivel regional, ya que incrementa la escorrentía recibida por las corrientes oceánicas y los ecosistemas marinos del Golfo de Alaska y del Mar de Bering. Estos cambios son menos evidentes y de menor extensión en la región antártica que en la región ártica.

El estudio del cambio climático en latitudes altas plantea varios problemas. Las poblaciones del Ártico han señalado que el tiempo es allí ahora más cálido y cada vez más variable, y han percibido cambios en los ecosistemas terrestres y marinos que han alterado sus modos de vida tradicionales.

La cronología de sus registros, sin embargo, es corta comparada con la de regiones más pobladas del planeta. En torno al Ártico, los registros climáticos abarcan períodos de más de un siglo en ciertas áreas, pero sólo unos 50 años en el

Antártico. Estas observaciones proporcionan las más exactas mediciones de las condiciones atmosféricas, pero están geográficamente muy separadas en muchas regiones, y son escasas las procedentes de los océanos.

### Temperatura

Los análisis de las observaciones meteorológicas en superficie parecen indicar que la temperatura del aire en las proximidades de la superficie ha aumentado en aproximadamente  $0,6^{\circ}\text{C}$  en todo el mundo durante el último siglo. Sin embargo, las pautas de ese cambio desde que disponemos de instrumentos son complejas, y dependen del período considerado. Numerosos estudios señalan que algunos de los cambios medioambientales más acentuados han acaecido en latitudes altas.

El mapa de las tendencias lineales de la temperatura anual en superficie durante los últimos 50 años en todo el mundo revela tres áreas "susceptibles" en Alaska/norte de Canadá, Siberia central y Península Antártica. En todas ellas, las temperaturas medias anuales han aumentado en más de  $1,5^{\circ}\text{C}$  durante los últimos 50 años.





*Los satélites proporcionan datos inestimables sobre el medio ambiente, especialmente en áreas en que las observaciones de superficie son escasas.*

En el Ártico, las pautas espacial y temporal de las variaciones de temperatura han sido complejas. La serie cronológica de anomalías de temperatura estacional en superficie obtenidas de 59 estaciones meteorológicas revela numerosos períodos cálidos y fríos que antes se encontraban frecuentemente sólo en determinados sectores.

Uno de los períodos cálidos más pronunciados alcanzó una máxima alrededor de 1940, como puede apreciarse claramente en los registros de temperatura y en la limitada extensión de los hielos marinos en torno a Islandia. Los experimentos realizados con modelos del clima forzados introduciendo niveles crecientes de gases de efecto invernadero no han logrado reproducir ese período cálido, lo que sugiere que puede ser un reflejo de la variabilidad natural del clima a escala interdecenal.

Las tendencias cálidas de Alaska y del norte de Canadá están básicamente vinculadas a un calentamiento repentino acaecido a mediados de los años 70. El clima de Alaska sufre la fuerte influencia del centro de bajas presiones situado sobre las islas Aleutianas. Cuando estas presiones son muy bajas, Alaska se ve sometida a la influencia de masas de aire cálido provenientes del sur. Sin embargo, cuando no son muy bajas, recibe frecuentes masas de aire frío procedentes del norte, y las temperaturas son más bajas. A mediados de los años 70, la

Oscilación Decenal del Pacífico, uno de los ciclos climáticos más importantes de la región del Pacífico, cambió de fase y dio lugar a un asentamiento de las bajas presiones aleutianas y a un tiempo más cálido en Alaska.

Por otra parte, el calentamiento en Siberia parece estar relacionado con la entrada en fase positiva de la Oscilación del Atlántico Norte/Oscilación Ártica durante los últimos decenios, que ha acrecentado el transporte de aire caliente del Atlántico hacia Europa y el Asia central.

Aunque hubo más episodios cálidos regionales/temporales entre los años 30 y los 50, en el decenio de 1990 las altas temperaturas estaban más generalizadas en la región ártica. Los datos de superficie correspondientes a 1979–1995 en el Ártico central evidencian una clara tendencia al calentamiento en primavera, algo menor en invierno y, con carácter menos apreciable, en verano y en otoño. La tendencia al calentamiento del aire en superficie es más acentuada en las regiones interiores que en las costeras/oceánicas. En Siberia se registraron anomalías cálidas en torno a 1980, y la región comprendida entre el este de Siberia y Canadá esa situación se mantiene desde 1989. Numerosas estaciones árticas indican anomalías positivas en las primaveras del período 2002–2005, y en el oeste de Groenlandia las temperaturas han sido más altas desde 1999. Además de esa alteración de las temperaturas medias, en Alaska ha disminuido sustancialmente el número de días extremadamente fríos.

En la región antártica, las recientes variaciones del clima presentan características muy diferentes con escasas variaciones de temperatura importantes más allá de la Península Antártica. En el Polo Sur las temperaturas han bajado desde los años 50, mientras en torno al continente aumentaban los vientos del oeste y el Modo Anular del Hemisferio Sur se instalaba en fase positiva. Con todo, no ha habido cambios importantes en la estación de Vostok en la meseta oriental de la Antártida.

En la Península Antártica, los cambios de temperatura han sido muy diferentes en la parte oriental respecto de la occidental. En el este, el calentamiento ha sido más acentuado durante el verano y el otoño, debido a una intensificación de los vientos del oeste por efecto de las

Durante el próximo siglo, las temperaturas del aire en las inmediaciones de la superficie aumentarán previsiblemente más en las regiones polares que en cualquier otro lugar del planeta. Ello tendrá serias implicaciones para la criosfera, la circulación de los océanos y de la atmósfera, el medio ambiente terrestre y las poblaciones aborígenes del Ártico.

La recesión de los hielos a la deriva en el Ártico ha ocasionado una reducción del número de focas, que son el alimento principal de los osos polares.

alteraciones del Modo Anular del Hemisferio Sur. Durante esas estaciones, las masas de aire que atraviesan la Península son más frecuentes que en decenios anteriores, y elevan en varios grados la temperatura. Dado que hasta entonces las temperaturas estaban próximas al punto de congelación, este cambio ha afectado notablemente al medio ambiente, ocasionando en particular el desprendimiento de varias mesetas de hielo. Ello no afecta directamente al nivel del mar, ya que los témpanos flotaban ya en el océano, pero su desintegración podría hacer que los glaciares del lado oriental de la península discurrieran con mayor rapidez.

En la región occidental de la Península Antártica, las temperaturas han aumentado más que en cualquier otro lugar del hemisferio sur, y los datos obtenidos *in situ* indican aumentos de 3°C de la media anual, y de 5°C en las temperaturas de invierno durante los últimos 50 años. En esa región, las temperaturas invernales están estrechamente vinculadas a la extensión de los hielos marinos, existiendo entre ambos una relación inversamente proporcional. El notable calentamiento general de esa área parece indicar que la extensión de los hielos era mayor en los años 50 y 60, por causas actualmente desconocidas. El aumento de las temperaturas ha estado también acompañado de un mayor número de precipitaciones, ya que ha aumentado notablemente el número de lluvias estivales de que se tiene noticia.

### Hielos marinos

Antes de los años 70, nuestros conocimientos sobre la extensión y concentración de los hielos marinos estaban basados principalmente en observaciones aportadas por buques y aeronaves,



La cubierta de hielo polar vista desde un satélite



y en ciertos datos de las estaciones costeras. La mayoría de estos datos corresponden al Ártico, respecto del cual han podido realizarse análisis del hielo en el Ártico eurasiático que abarcan hasta 1930. Existen también algunos mapas noruegos de los hielos en el Atlántico Norte que datan del siglo XVI, basados sin embargo en datos extremadamente dispersos. A partir de esta información básicamente, el proyecto ACSYS del PMIC ha elaborado una climatología de los contornos de hielo del Océano Ártico que abarca hasta 1553.

Con respecto a las regiones polares, se dispone de datos fiables, de alta resolución horizontal, sobre la extensión y concentración de los hielos marinos desde 1978, en que se lanzó el primer radiómetro de barrido multicanal por microondas a bordo del satélite en órbita polar Nimbus-7. Esos datos revelaron que en el período 1978-1996 el hielo marino del Ártico disminuyó un 2,8 por ciento por decenio, equivalente a 34 300 km<sup>2</sup> por año. Estas reducciones tuvieron lugar en todas las estaciones del año, aunque las pérdidas mayores se produjeron en primavera, y las menores durante el otoño. Las pérdidas más cuantiosas se produjeron en los Mares de Kara y Barents, con disminuciones de un 10,5 por ciento por decenio. Las pérdidas han sido menores en los mares de Okhotsk y de Japón (máximas en invierno) y en el Océano Ártico. Todavía menores fueron las pérdidas experimentadas en el Mar de Groenlandia, la Bahía de Hudson y el archipiélago canadiense.

Desde el decenio de 1990, ha habido varios años en que la extensión del hielo estival ha

alcanzado mínimos históricos. Según datos del Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielos de los Estados Unidos, la disminución correspondiente a septiembre fue de más de un 8 por ciento por decenio entre 1979 y 2005. A juzgar por la frecuencia de los mínimos históricos de la extensión del hielo, es probable que los hielos árticos estén experimentando una disminución creciente a largo plazo. Además, se considera que el valor mínimo recientemente alcanzado es inferior a los registros mínimos del Ártico de los años 30 y 40.

El invierno de 2004/2005 fue notable, ya que en ese período la recuperación del hielo fue la menor de todas las series de registros satelitales. A medida que disminuían las temperaturas los hielos se iban extendiendo pero, excepto por mayo de 2005, cada uno de los meses desde diciembre de 2004 registró un mínimo mensual histórico. En septiembre de 2005 la extensión de los hielos marinos árticos volvió a alcanzar un mínimo sin precedentes, superior incluso al registrado en 2002. El 21 de septiembre de 2005 la media consecutiva por períodos de cinco días disminuyó hasta 5,32 millones de km<sup>2</sup>, que es la menor extensión observada por los instrumentos satelitales desde sus primeras mediciones, en 1978. Entre 2002 y 2005, la extensión del hielo fue aproximadamente un 20 por ciento menor que la media del período 1978–2000, con una pérdida de hielo marino equivalente a aproximadamente 1,3 millones de km<sup>2</sup>.

La extensión y concentración de los hielos antárticos no fue un dato fiable hasta los años 70, en que pudieron empezar a efectuarse observaciones fiables pasivas desde satélites mediante microondas. Estos datos indican que durante el período 1979–1998 los hielos antárticos aumentaron en 11 180 km<sup>2</sup> anuales, es decir, un 0,98 por ciento por decenio. A nivel regional, la tendencia era positiva en el Mar de Weddell, en el Océano Pacífico y en el Mar de Ross, ligeramente negativa en el Océano Índico, y fuertemente negativa en los Mares de Bellingshausen-Amundsen. Estos datos concuerdan con el calentamiento que está experimentando el sector occidental de la Península Antártica, estrechamente vinculado a las condiciones del océano en el Mar de Amundsen-Bellingshausen. En todos esos sectores hubo aumentos del hielo en todas las estaciones, alcanzándose el valor máximo durante el otoño. Según las estaciones, las tendencias varían de una a otra región.

No es mucha la información disponible sobre el espesor de los hielos marinos, pero los datos obtenidos durante una travesía de 1 000 km en los veranos de 1958 y 1970 parecen indicar que su profundidad habría disminuido en 0,2 m en la corriente de deriva transpolar y en la cuenca eurasiática, y en 0,7 m en la cuenca de Canadá. Hay también evidencia de un adelgazamiento de los hielos marinos de 0,8 m durante el período 1976–1987 entre el Estrecho de Fram y el Polo, y de 2,2 m al norte de Groenlandia. Desde los años 50 se dispone de mediciones de la

La Antártida no alberga poblaciones humanas permanentes, y en ella nunca ha habido poblaciones aborígenes. Sólo ciertas plantas y animales pueden sobrevivir en ese continente, como pingüinos, focas y lobos marinos, musgos, líquenes y algas.

El Ártico es en su mayor parte un inmenso océano cubierto de hielo y rodeado de tierras congeladas y exentas de árboles. Es un rico vivero de organismos habitantes del hielo, peces y mamíferos marinos, aves, animales terrestres y sociedades humanas.



El aumento de las temperaturas está afectando a las poblaciones de pingüinos, que crecen en ciertas partes y disminuyen en otras, especialmente donde su provisión de alimentos (krill) está desapareciendo.

Se han fracturado algunos tramos de oleoducto tendidos sobre permafrost, ocasionando una contaminación importante y daños al medio ambiente.

profundidad del hielo marino obtenidas desde submarinos mediante sonar ascendente. Estas observaciones aportan los primeros datos convincentes de un adelgazamiento en gran escala de los hielos en toda la cuenca ártica. Esos datos indican que en los períodos 1958–1976 y 1993–1997 la profundidad media del hielo al término de la temporada de deshielo había disminuido en la mayoría de las regiones de aguas profundas del Océano Ártico, pasando de 3,1 m en los primeros años a 1,8 m en el decenio de 1990; en otras palabras, una disminución de aproximadamente 1,3 m, equivalente a un 40 por ciento.

### Permafrost

La pérdida de permafrost en el Ártico está afectando ya en gran medida al medio ambiente. Los edificios asentados sobre permafrost pueden sufrir graves daños. El oleoducto transártico, que atraviesa Alaska a lo largo de 1 287 km, fue una empresa extremadamente costosa; las rupturas de las tuberías y otros costos de reparación debidos al deshielo del permafrost podrían ser considerables. A corto plazo, el riesgo de perturbaciones en el funcionamiento del oleoducto se considera pequeño, aunque es probable que aumenten los costos de mantenimiento como consecuencia de la desestabilización del terreno. En los próximos decenios podemos esperar un aumento de ese tipo de hundimientos, que podrían causar deterioros.

### Los mantos de hielo y el nivel del mar

Los altímetros instalados desde principios de los años 90 en satélites en órbita polar nos permiten determinar la altura de los principales mantos de hielo e investigar así la evolución de la masa total, es decir, decidir si los mantos de hielo están aumentando o disminuyendo. El balance de masa de un manto de hielo depende de varios factores, entre ellos la nieve que se deposita sobre él, la parte de nieve que el viento transporta hasta el océano, la pérdida de masa debida al desprendimiento de témpanos, y el ajuste isostático.

Entre 1992 y 2002, el manto de hielo de Groenlandia aumentó de espesor en algunos lugares y disminuyó en otros. Por encima de los 1 200 m, el espesor ha aumentado en 4 cm cada año y la masa de hielo se ha incrementado en 53



gigatoneladas (Gt) anuales. Por debajo de esa elevación, se ha registrado un adelgazamiento de 21 cm por año, y una disminución de masa de 42 Gt anuales. El balance total es un pequeño aumento de masa de 11 Gt anuales, equivalente a una disminución de 0,03 mm anuales del nivel del mar.

El manto de hielo de la Antártida occidental está perdiendo 47 Gt de hielo por año, mientras que en la región oriental aumenta ligeramente en 16 Gt por año. En total, el cambio neto es de -31 Gt anuales, es decir un aumento del nivel del mar de 0,08 mm por año.

Estos cambios revisten particular interés, ya que gran parte de esa masa se encuentra por debajo del nivel del mar. La pérdida total del manto de hielo de la Antártida occidental elevaría el nivel del mar en 5 m, por lo que incluso la desintegración de una pequeña parte sería preocupante. Datos satelitales recientes han revelado un adelgazamiento de parte del manto de hielo en las proximidades del Glaciar de Pine Island. Este glaciar es el más masivo de la Antártida occidental. Su espesor llega a alcanzar 2 500 m, y se encuentra a más de 1 500 m bajo el nivel del mar. Entre 1992 y 2000 el glaciar retrocedió hacia el interior en más de 5 km, perdiendo 31 km<sup>3</sup> de hielo. La pérdida de hielo en las cuencas de los glaciares de Pine Island y Thwaites es probablemente una respuesta dinámica al cambio climático a largo plazo, y posiblemente también a la desaparición de sus mesetas de hielo adyacentes. De continuar al ritmo actual esa disminución de espesor, se

considera que el Glaciar de Pine Island podría disolverse íntegramente en el océano en el plazo de unos pocos siglos. Sería importante investigar las razones por las que ese glaciar está retrocediendo y determinar si ello es consecuencia de actividades antropógenas y si, de subsistir el calentamiento mundial, el adelgazamiento de otros glaciares podría acelerarse, desalojando una mayor cantidad de hielo del interior del manto, con el consiguiente efecto sobre el nivel del mar.

Desde 1992, el nivel medio del mar ha aumentado en  $3,2 \pm 0,4$  mm al año, frente a  $1,7 \pm 0,3$  mm anuales durante el siglo anterior. Estos valores son superiores al de 1 mm anual que ha caracterizado los últimos 5 000 años. El aumento del nivel del mar es consecuencia de la dilatación térmica del océano, del aumento de la descarga fluvial en los océanos, de los cambios de precipitación/evaporación y de la pérdida de masa de los mantos de hielo. No se conocen con exactitud las razones a que responde el aumento actual, que está siendo investigado activamente.

### El agujero de ozono sobre el Antártico

En la estratosfera el ozono es un gas de gran importancia, ya que absorbe la luz ultravioleta (UV) solar, protegiendo de ese modo a los seres humanos y a otros elementos de la biosfera. La cantidad total de ozono presente en la atmósfera fue medida por primera vez en la Antártida durante el Año Geofísico Internacional (1957-1958) mediante instrumentos de superficie. Estas observaciones indicaron que la cantidad total de ozono era de unas 300 unidades Dobson (DU), equivalentes a una capa de ozono de 3 mm de espesor en la superficie.

El ciclo estacional del ozono en la Antártida está vinculado al desarrollo y disipación del vórtice circumpolar invernal, que es la circulación dominante en torno a las latitudes altas del hemisferio sur. Históricamente, los valores del ozono en el vórtice eran de aproximadamente 300 DU tanto al comienzo como al final de los inviernos. Durante esa estación, el ozono se acumula en una franja circumpolar adyacente al vórtice, por efecto del transporte de ese gas desde los trópicos. Desde mediados de los años 70, el proceso ha experimentado un cambio

progresivo: el agujero de ozono sobre el Antártico. Al final del invierno, los valores observados eran aproximadamente un 10 por ciento menores que en los años 70, disminuyendo después en un 1 por ciento diario hasta llegar a 100 DU al final de septiembre. Pasadas esas fechas, los valores comienzan a recuperarse gradualmente a medida que la estratosfera se caldea. Este aumento de temperatura, sin embargo, se retrasa frecuentemente hasta finales de noviembre o hasta diciembre, por lo que el agujero de ozono puede durar varios meses.

El agujero de ozono de la Antártida es consecuencia de las emisiones de clorofluorocarbonos (CFC) y halones, principalmente en el hemisferio norte. Estos gases se utilizaban extensamente con fines de refrigeración, como solventes industriales y para la lucha contra los incendios. Si se refuerzan y se aplican las disposiciones del Protocolo de Montreal de 1987 relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, según la "Evaluación científica del agotamiento de la capa de ozono: 2006" del PNUMA/OMM, la capa de ozono en latitudes medias debería recuperarse a mediados del presente siglo aproximadamente. En la región antártica, la recuperación tardará aproximadamente 15 años más. Actualmente parece haberse estabilizado, con ligeras variaciones interanuales en función de las condiciones atmosféricas.

Mientras exista el agujero de ozono sobre la Antártida, los niveles de radiación ultravioleta en la superficie del continente serán más elevados,



Cuatro millones de nativos viven en ocho millones de kilómetros cuadrados de la masa terrestre habitable del Ártico.

Numerosos estudios señalan la vulnerabilidad del manto de hielo de Groenlandia frente a un aumento generalizado de la temperatura del aire.

Si el aumento del nivel del mar se mantuviera o se intensificara, plantearía un problema muy serio para las regiones costeras bajas de todo el planeta.

La capa de ozono protege la vida de la Tierra al impedir el paso de los rayos ultravioleta nocivos procedentes del Sol. El "agujero de ozono" es una fuerte disminución de la capa de ozono situada sobre la Antártida.

El Protocolo de Montreal de 1987 del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono (1985) prohibió las sustancias químicas causantes del agotamiento de esa capa, pero la larga permanencia de esas sustancias impedirá que la capa de ozono se recupere antes de transcurridos varios decenios.

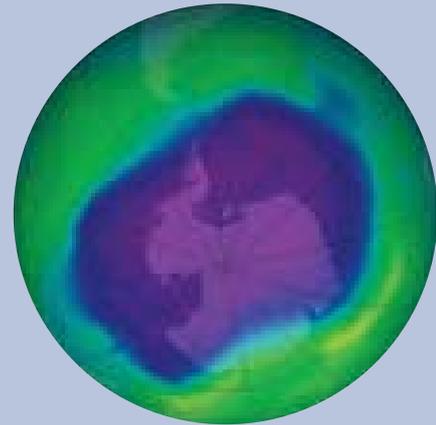
Las evaluaciones anuales del estado de la capa de ozono sobre las regiones antártica y ártica están basadas en datos recopilados por la Vigilancia de la Atmósfera Global de la OMM. Durante la estación del agujero de ozono antártico, desde finales de agosto hasta noviembre, la OMM publica boletines quincenales sobre el estado de la capa de ozono. Puede obtenerse más información en <http://www.wmo.int/web/arep/ozone.html>.

## El agujero de ozono sobre el Antártico en 2006

Del 21 al 30 de septiembre de 2006, la superficie del agujero de ozono sobre el Antártico fue, en promedio, la más extensa jamás observada, sin precedentes tanto en extensión como en espesor. Poco más de una semana después de que el agujero de ozono alcanzara su nuevo récord de extensión, varios satélites e instrumentos a bordo de globos registraron las más bajas concentraciones de ozono nunca observadas sobre la Antártida, que revelaban el agujero de ozono de mayor espesor jamás observado.

En 2006, en cambio, se alcanzó otro registro sin precedentes: la superficie promediada en un intervalo de 11 días, que indicaba que el agujero era más extenso que nunca durante más tiempo que nunca.

Aunque las sustancias producidas por los seres humanos descomponen el agujero de ozono liberando a la atmósfera cloro y bromo en forma gaseosa, la temperatura de la estratosfera antártica hace que la gravedad del agujero de ozono varíe de un año a otro. Unas temperaturas inferiores al promedio traen consigo agujeros de ozono más extensos y profundos, mientras que unas temperaturas más suaves les confieren una menor magnitud. En 2006, las temperaturas cayeron muy por debajo del promedio, alcanzando e incluso superando las mínimas más bajas conocidas. Estas temperaturas inhabitualmente frías incrementaron el tamaño del agujero de ozono.



*El agujero de ozono el 24 de septiembre de 2006. Las áreas azules y violáceas indican niveles de ozono bajos, mientras que las verdes, amarillas y rojas denotan unos niveles más elevados.*

Se ha observado también una disminución de la capa de ozono ártica, aunque de menor magnitud, dado que las temperaturas de la estratosfera inferior son en esa región más altas que en la región antártica. El agotamiento del ozono es, sin embargo, preocupante también en el Ártico, debido a la existencia en esa región de asentamientos humanos y al riesgo que entraña para la pesca y los animales que constituyen su fuente de alimentos tradicional.

con el consiguiente riesgo para las personas y para la biota. La disminución de los niveles de ozono puede tener también repercusiones en latitudes más bajas. Ocasionalmente, el vórtice polar puede experimentar una elongación y extenderse hasta las regiones australes de América del Sur y Australia, incrementando en la superficie los niveles de radiación UV. Numerosos periódicos regionales ofrecen informes y predicciones de los niveles de radiación UV para advertir a la población de la conveniencia de adoptar precauciones y de usar protector solar.

### ¿CÓMO EVOLUCIONARÁN EN EL FUTURO LAS REGIONES POLARES?

#### Posibles consecuencias en el resto del planeta

Las herramientas principales de que disponemos para predecir la evolución del clima de la Tierra son los modelos del clima atmósfera-océano acoplados. Con todo, los modelos actuales del clima no simulan adecuadamente el clima de las regiones polares a lo largo del siglo XX. No predijeron, por ejemplo, las condiciones atmosféricas que en los últimos años han originado la espectacular



escisión de las mesetas de hielo del Antártico. Además, la variabilidad de sus predicciones es muy alta. Será necesario investigar para mejorar sus resultados.

### **Circulación atmosférica**

Las predicciones de los modelos parecen indicar que, al aumentar los niveles de gases de efecto invernadero, los modos anulares del hemisferio sur y del hemisferio norte podrían permanecer en fase positiva durante un mayor tiempo. Ello daría lugar a una disminución de la presión atmosférica sobre el Ártico y sobre el Antártico, y a un aumento de la presión en latitudes medias. Al aumentar el gradiente de presión entre las latitudes medias y los polos, se intensificarán también los vientos del oeste en las latitudes medias.

### **Temperatura**

El Tercer Informe de Evaluación (2001) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) estimó que, en el período 1990–2100, las temperaturas de la superficie mundial aumentarían en promedio entre 1,4 y 5,8°C. Este intervalo de valores se ha obtenido a partir de 35 escenarios de emisión de gases de efecto invernadero y diversos modelos del climáticos.

Las predicciones de modelos consideradas en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC parecen indicar que, si los gases de efecto invernadero

aumentaran un uno por ciento al año, las temperaturas medias anuales en la superficie de la zona helada del Antártico aumentarían durante el siglo XXI entre 0,2 y 0,3°C por decenio. La extensión de los hielos marinos disminuiría en consonancia. En el interior de la Antártida, grandes extensiones elevadas experimentarían aumentos de temperatura superficial superiores a 0,3°C por decenio. Este aumento debilitaría los vientos catabáticos, especialmente en la estación estival.

En relación con el Ártico, uno de los principales temas de investigación ha sido la Evaluación de Impacto del Clima Ártico, en la que han participado centenares de investigadores. Sobre la base del promedio de los resultados obtenidos por cinco modelos del clima, utilizados también por el IPCC, se obtuvieron diversas proyecciones de temperatura para el próximo siglo. Todos los modelos predicen un aumento paulatino de la temperatura media anual de 4°C, en promedio, de aquí a 2100.

Estos modelos indican que el aumento de temperatura será máximo en otoño y en invierno, como consecuencia de la desaparición o adelgazamiento de los hielos marinos del Ártico. La variación del albedo (el cociente entre la radiación electromagnética dispersada y la incidente) por efecto de la recesión de los hielos marinos es la señal más clara de un calentamiento del clima en latitudes altas.

El IPCC estimó que, en el período 1990-2100, el promedio global de las temperaturas de la superficie aumentaría entre 1,4 y 5,8°C.

También ha estimado que, en 2100, el nivel del mar podría haber aumentado entre 0,09 y 0,88 m.

El albedo es el cociente entre la radiación solar saliente reflejada por un objeto y la radiación solar entrante incidente en él.

El Consejo del Ártico agrupa a ocho países que poseen territorios en el Ártico, a saber: Canadá, Dinamarca (Groenlandia, Islas Feroe), Estados Unidos de América, Federación de Rusia, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia.

El objeto central de las actividades del Consejo del Ártico lo constituyen el medio ambiente y el desarrollo sostenible.

<http://www.arctic-council.org/>

El aumento de las temperaturas dará lugar a un desplazamiento hacia el norte de las zonas climáticas árticas, con la consiguiente extensión hacia el Polo de los bosques boreales y de la población de árboles. Estos cambios transformarán el paisaje ártico, ya que la frontera septentrional de los bosques boreales invadirá las áreas actualmente ocupadas por la tundra. En Alaska, por ejemplo, es de temer una pérdida de la humedad necesaria para el crecimiento forestal, un aumento de la mortalidad de árboles causado por la invasión de insectos, un mayor riesgo de grandes incendios, y un efecto nocivo sobre la reproducción de ciertas especies de árboles, como la picea blanca.

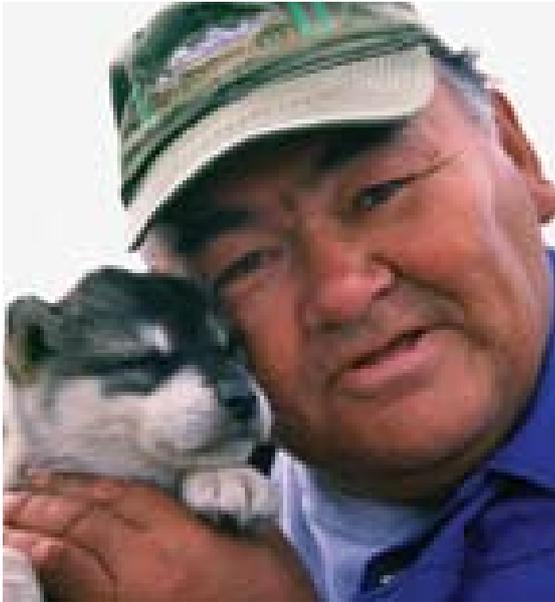
En la Antártida, muchos mamíferos y especies vegetales necesitan de unas condiciones climáticas específicas para desarrollarse, especialmente en términos de temperatura y volumen de precipitación líquida, aunque el nivel de radiación UV-B es también un factor importante. La cantidad de radiación UV-B recibida durante la primavera ha

aumentado notablemente en los últimos años con la aparición del agujero de ozono antártico, lo cual ha repercutido en la biota. El aumento de las temperaturas prolongaría la estación activa, incrementaría las tasas reproductivas y reduciría el ciclo de vida. Además, disminuiría la tolerancia a las condiciones extremas, se alteraría la distribución geográfica de las especies, y se producirían colonizaciones de especies ajenas. La mayor disponibilidad de agua prolongaría los períodos de actividad, acentuaría la distribución local de las especies y expondría nuevas áreas a la colonización. Entretanto, un aumento de la radiación UV-B podría alterar la distribución de recursos, dañar la estructura celular de los seres vivos y afectar a la cadena alimentaria.

#### Hielos marinos

Con el aumento de las temperaturas de la superficie del mar, la extensión del hielo marino del Ártico y del Antártico disminuirá probablemente durante el próximo siglo. Se piensa que este proceso se verá amplificado por los procesos de respuesta





en la región ártica, y algunos modelos del clima predicen que el hielo de verano de los mares desaparecerá completamente, para la segunda mitad del siglo XXI.

La recesión del hielo marino favorecerá una intensificación de las mareas de tempestad en más extensas áreas exentas de hielo, acentuando con ello la erosión por efecto de una mayor actividad de las olas. Un efecto añadido será la sedimentación, así como un mayor riesgo de crecidas en áreas costeras.

Aunque la pérdida de hielos marinos en el Ártico podría tener implicaciones muy negativas para la circulación oceánica, podría ser también beneficiosa para la navegación frente a las costas septentrionales de la Federación de Rusia y del Canadá. Una ausencia más prolongada de los hielos durante el verano sería muy beneficiosa para el transporte marítimo y para las explotaciones marinas de gas y de petróleo, lo cual repercutiría considerablemente en el comercio internacional.

La pérdida de hielo marino en torno a la Antártida podría dar lugar a una alteración masiva de los ecosistemas marinos que haría peligrar a las poblaciones de mamíferos marinos, como los pingüinos o las focas. De las seis especies de focas del Antártico, cuatro desarrollan su fase reproductiva sobre los hielos marinos durante

la primavera, y podrían verse afectadas por reducciones importantes de la extensión de esos hielos. En la actualidad, los hielos antárticos son el hábitat de una ingente población de krill, del que se alimentan innumerables aves marinas, focas y ballenas; una disminución importante de su extensión reduciría la población de esos crustáceos, con el consiguiente efecto sobre los predadores superiores.

### Permafrost

El permafrost es altamente sensible al calentamiento atmosférico de larga duración, por lo que en torno al Ártico se producirá un deshielo progresivo de los terrenos tanto permanentemente como estacionalmente congelados. El IPCC ha estimado que, en algunos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero, podría deshelerse hasta un 90 por ciento de la capa superior de permafrost de la región ártica.

La pérdida de permafrost acarreará la destrucción de árboles y la desaparición de bosques boreales, un aumento del agua de deshielo y una mayor extensión de los lagos, pastizales y humedales que dependen de ésta. Ello ocasionará alteraciones de los hábitats y ecosistemas, y en particular la pérdida del hábitat del caribú y de diversas aves y mamíferos terrestres, aunque aumentará el de las aves y mamíferos acuáticos.

La pérdida de permafrost acelerará también la erosión y la inestabilidad del suelo, especialmente en la costa y en las riberas de los ríos. A causa de ello, podría producirse la obstrucción de cursos fluviales importantes para el desove del salmón. Podría haber también un mayor número de deslizamientos de tierra, un aumento del *talik* (una capa permanente de permafrost deshelado), y un aumento de las capas freáticas. Las poblaciones podrían verse afectadas, principalmente por el aumento de los daños a edificios, carreteras y otras infraestructuras.

El deshielo del permafrost ártico tiene implicaciones importantes respecto del ciclo del carbono y de los niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Tiempo atrás, el permafrost era un sumidero de carbono, que quedaba atrapado en el terreno congelado. Sin embargo, con el deshielo y el aumento de la temperatura del suelo, su descomposición será más rápida y liberará

Los pueblos aborígenes del Ártico son el aleutiano, el atapascano o atabasco, el gwich'in, el inuit y el saami o lapón.

Líderes indígenas solicitaron al Consejo del Ártico que desarrollara un programa sobre las consecuencias y la adaptación al cambio climático, que incluyera proyectos comunitarios piloto de adaptación, con énfasis en educación, difusión y comunicaciones y creación de capacidad.

Salekhard, en la Federación de Rusia, es la única ciudad del mundo situada sobre el círculo polar.

En octubre de 2006, la Asociación Rusa de Pueblos Indígenas del Norte comunicó al Consejo del Ártico que las presiones que genera el desarrollo y la contaminación estaban amenazando las praderas de pastoreo del reno, las actividades de caza y pesca y los lugares sagrados.

en la atmósfera un mayor volumen de dióxido de carbono y metano, gases ambos de efecto invernadero.

El Proyecto relativo al Clima y a la Criosfera (CLiC) del PMIC, la Asociación Internacional del Permafrost y el Proyecto Mundial sobre el Carbono de la Asociación Científica del Sistema Tierra están realizando un estudio para evaluar con mayor exactitud los contingentes de carbono del permafrost y las posibles repercusiones de su liberación a la atmósfera en condiciones climáticas más cálidas.

### Los océanos

Es extremadamente difícil predecir la evolución de la circulación oceánica en el próximo siglo. Disponemos de muchas menos observaciones del océano que de la atmósfera, por lo que conocemos sólo muy aproximadamente la variabilidad de los océanos en los últimos años. No obstante, cabe formular algunas predicciones razonables. En el Antártico, dado que el modo anular del hemisferio sur se encuentra en su fase más positiva y que los vientos del oeste son más fuertes, cabe esperar una intensificación de la corriente circumpolar antártica.

La región costera de la Antártida es una de las principales generadoras de aguas profundas, debido al hundimiento de las aguas frías y densas hacia la plataforma continental. Esas aguas transportan abundante oxígeno al fondo del océano, enfriando y oxigenando de ese modo las

profundidades marinas. La probable disminución de los hielos marinos durante el próximo siglo frenaría la generación de aguas profundas, lo cual aumenta la preocupación de que las aguas profundas se calienten.

Análogamente, en el Ártico la pérdida de hielo marino, el aumento de la escorrentía fluvial, de la precipitación y de la fusión del manto de hielo de Groenlandia, con el consiguiente enfriamiento de las capas superiores del océano, frenaría la generación de aguas profundas en el Atlántico Norte, transportadas a la región antártica por la corriente termohalina mundial. Así, tanto los procesos árticos como los antárticos coadyuvarán a reducir la intensidad de la circulación termohalina. Esta reducción, a su vez, podría debilitar la corriente del Golfo y la deriva del Atlántico Norte. Con ello, podría resultar gravemente afectado el clima en Europa septentrional, que posiblemente vería disminuir en varios grados sus temperaturas superficiales.

### Mantos de hielo y nivel del mar

Se estima que el aumento de las temperaturas de la superficie durante el próximo siglo hará contraer tanto los glaciares como los casquetes polares y la cubierta de nieve. La magnitud de esa recesión y la rapidez con que se produzca en diferentes regiones están siendo todavía objeto de cálculos y de debates. Es muy improbable que haya un deshielo total del principal manto de hielo de la Antártida durante los próximos siglos, pero algunas partes de ese continente han experimentado rápidos





cambios glaciológicos en los últimos años que denotan una sensibilidad a los factores climáticos. El manto de hielo principal de la Antártida es demasiado frío para experimentar un deshielo en su superficie, y es previsible que un aumento de las precipitaciones de nieve haga aumentar su volumen durante el próximo siglo, lo cual reducirá en 10 cm el nivel de los océanos. Sin embargo, en respuesta a la pérdida de mesetas de hielo por el calentamiento de los océanos o al deshielo de la superficie en los márgenes, podrían acelerarse los cursos de hielo continentales, actualmente obstaculizados por las mesetas de hielo de la costa. Las consecuencias de este efecto podrían más que compensar el aumento de las precipitaciones de nieve sobre el continente.

En los últimos años se ha tenido frecuentemente noticia de pérdidas de las mesetas de hielo que circundan la Península Antártica, atribuidas a actividades antropógenas. Ciertamente, hay evidencias de que el calentamiento estival del sector oriental de la península es, al menos en parte, resultado de alteraciones de la circulación atmosférica relacionadas con el "calentamiento mundial". Si siguen aumentando los niveles de gases de efecto invernadero, es probable que se sigan perdiendo las mesetas de hielo en esa región. Dado que éstas flotan ya en el océano, su pérdida no contribuye al aumento del nivel del mar. No es fácil predecir si los cursos de hielo que afluyen hacia las mesetas de hielo avanzarán más rápidamente con la desaparición de éstas, acelerando con ello el desalojo de hielo del interior de la Antártida. Hay evidencia de que un 87 por ciento de los glaciares de la península han retrocedido en los últimos 50 años. Es probable

que esta tendencia subsista si sigue aumentando la temperatura.

Para el próximo siglo se esperan cambios sustanciales en el manto de hielo de Groenlandia. Un aire más cálido desencadenará probablemente un aumento de las precipitaciones de nieve en las partes elevadas del interior, cuya altura, por consiguiente, aumentará. A niveles más bajos, en los contornos de Groenlandia, el aumento de la temperatura fundirá los hielos y provocará una mayor escorrentía. Además, el desprendimiento de témpanos podría ser también más frecuente. En los contornos del manto de hielo cabe esperar que la pérdida de masa por escorrentía contrarreste con creces el aumento de las precipitaciones. Los expertos predicen también una pérdida general de hielo, que se traducirá en una variación del nivel del mar de entre -0,02 y 0,09 m. En el Antártico, esos valores se estiman entre -0,17 y 0,02 m.

A medida que aumenta en todo el mundo la temperatura del aire en las inmediaciones de la superficie, la dilatación térmica de los océanos elevará el nivel de éstos en 0,11 a 0,43 m. Este efecto resultará intensificado o atenuado por la evolución de los casquetes polares, como ya se ha señalado. A ello hay que añadir la fusión de los glaciares, que aportarán un aumento estimado en 0,01 a 0,23 m. En conjunto, el IPCC ha estimado que, en 2100, el nivel del mar podría haber aumentado de 0,09 a 0,88 m.

Si este aumento se mantuviera o se intensificara, plantearía un problema muy serio para las regiones costeras bajas de todo el planeta.

Las poblaciones del Ártico han señalado que el tiempo es allí ahora más cálido y cada vez más variable, y han percibido cambios en los ecosistemas terrestres y marinos que han alterado sus modos de vida tradicionales.

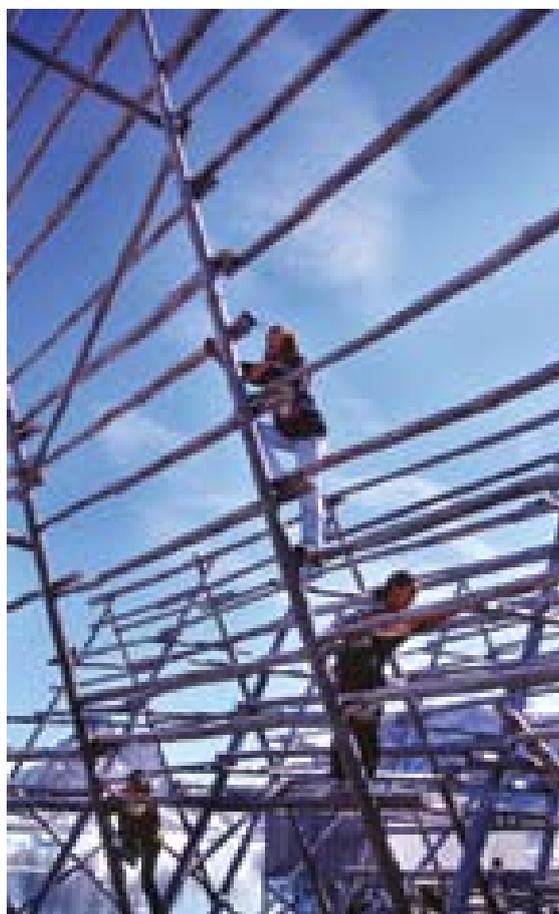




# AÑO POLAR INTERNACIONAL 2007-2008

Aunque las regiones polares han sido objeto de numerosas investigaciones en los últimos decenios, no conocemos todavía con claridad los mecanismos del clima polar ni su interacción con los ecosistemas, con los medioambientes polares y con las sociedades. Necesitamos tener una idea más clara de las condiciones en los polos y de los procesos de interacción y de influencia entre éstos y la atmósfera, los océanos y las masas terrestres. Estas lagunas se cubrirán durante el Año Polar Internacional (API), 2007-2008, un amplio programa internacional de investigaciones por iniciativa del Consejo Internacional para la Ciencia (CIUC) y de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

La idea básica del Año Polar Internacional 2007-2008 es un potente despliegue de investigaciones científicas y observaciones interdisciplinarias, coordinadas internacionalmente, en torno a las regiones polares de nuestro planeta. Su ámbito geográfico principal serán las latitudes



altas, aunque se alentará también el estudio de otras regiones que ayuden a comprender los procesos o los fenómenos polares. A fin de que los investigadores que lo deseen puedan trabajar en una y otra región polar tanto en verano como en invierno, el Año Polar abarcará un período bienal, desde marzo de 2007 hasta marzo de 2009.

El primer Año Polar Internacional tuvo lugar en 1882-1883. Desde entonces ha habido gran número de iniciativas científicas internacionales de primer orden en torno a las latitudes altas, una de las cuales fue el segundo Año Polar Internacional (1932-1933), y todas ellas han ayudado a mejorar sustancialmente nuestro conocimiento de los procesos globales en esas áreas importantes. Todas ellas han impulsado una gran actividad de recopilación de datos, investigaciones interdisciplinarias, y la constitución de archivos con un acervo de datos sobre las regiones polares. La última de esas grandes iniciativas fue el Año Geofísico Internacional (AGI) de 1957-1958, en la era anterior a los satélites, y en ella participaron 80 000 científicos de 67 países. El AGI permitió adentrarse en territorio desconocido y abrió paso a descubrimientos inesperados en muchos campos de investigación; fue en ese período cuando se establecieron muchas de las estaciones de investigación que existen actualmente en la Antártida. El Año Geofísico Internacional impulsó también la redacción del Tratado Antártico en 1959, y su ratificación en 1961.

En la actualidad, avances tecnológicos tales como los satélites en órbita polar, las estaciones meteorológicas automáticas y los vehículos autónomos ofrecen grandes oportunidades para profundizar en nuestros conocimientos sobre los sistemas polares. El API 2007-2008 ofrece también la oportunidad de incorporar la próxima generación de jóvenes científicos al estudio del sistema Tierra y de dar un mayor protagonismo público a las investigaciones sobre las regiones polares.

El Año Polar Internacional 2007-2008 ha sido objeto de gran interés por parte de científicos de muy diversas disciplinas y nacionalidades. En respuesta a un llamamiento del Comité Mixto CIUC/OMM para el API, científicos han elaborado

El Año Polar Internacional 2007-2008 destacará la importancia primordial de las regiones polares, que se constituyen en componentes integrantes y sensibles del sistema Tierra.

El API se ocupará también de los archivos meteorológicos y climatológicos históricos; de los efectos de los fenómenos meteorológicos extremos y los desastres naturales en la salud humana, en la sostenibilidad de las comunidades y la vulnerabilidad a ellos del ser humano y de los ecosistemas.

“Distantes e inhospitalarias, las regiones polares son, no obstante, los barómetros del calentamiento mundial, y el agua almacenada en sus ingentes reservas de hielo tiene un efecto significativo en todo el planeta. El lanzamiento del Año Polar Internacional 2007-2008 se realiza en un momento propicio, y proporcionará un patrimonio vital de conocimientos científicos a las generaciones futuras.”

(Michel Jarraud, Secretario General de la OMM)

“La comunidad científica aguarda, dispuesta... a reunir con la mayor presteza el mayor número posible de datos sobre los efectos del calentamiento mundial en las áreas polares; los cambios que se produzcan en esas regiones influirán enormemente en el bienestar del resto del planeta.”

(David Carlson, Director de la Oficina Internacional del Programa del API)

## Participación de África en el Año Polar Internacional (API) 2007-2008

El Cursillo regional sobre la Participación de África en el API 2007-2008 y en el Año Heliofísico Internacional se celebró en Ciudad del Cabo (Sudáfrica) en octubre de 2006, con el apoyo de la Oficina Regional del CIUC y de la Fundación Nacional para la Investigación de Sudáfrica. El representante de la Oficina Internacional del Programa del API pronunció una ponencia sobre las oportunidades internacionales que brinda el API.

Al encuentro asistieron principalmente científicos de Sudáfrica y representantes de instituciones de investigación, aunque contó también con la asistencia de representantes de varios países de África, entre ellos Kenya, Malawi, Nigeria, la República Unida de Tanzania y Zambia. Era palpable el entusiasmo por el API, y durante la reunión se expresó la intención de establecer un sitio web sobre el API que representara los intereses de los países africanos.

(Boletín de la Oficina Internacional del Programa del API, noviembre de 2006, número 2).

y propuesto ya más de 200 proyectos complejos, internacionales e interdisciplinarios que abarcan una gran diversidad de temas, para la investigación de los aspectos físicos, biológicos y sociales en las regiones polares. Los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales de los países interesados en el conocimiento del Ártico y del Antártico están participando activamente en la preparación y puesta en marcha del API. Está previsto que en el API participen más de 50 000 personas de más de 60 naciones. Además, el API permitirá reunir un acervo sin par de descubrimientos, datos, sistemas de observación y actividades de cooperación

internacional entre las ciencias geofísicas, biológicas y sociales.

La urgencia y la complejidad de los cambios que experimentan las regiones polares demandan esa gran empresa científica integradora. Todas esas colaboraciones y alianzas estimulan la adopción de nuevas prácticas de acceso e intercambio de datos, nuevos cursos académicos, y nuevas modalidades y foros de debate científico. Con este denodado esfuerzo científico y de divulgación, el API representará un gran paso adelante en el acercamiento de las ciencias al público en general.



Para mayor información, sírvase ponerse en contacto con:

**Organización Meteorológica Mundial**

*7 bis*, avenue de la Paix – Case postale 2300 – CH 1211 Genève 2 – Suiza

Tel.: +41 (0) 22 730 83 14 – Fax: +41 (0) 22 730 80 27

Correo electrónico: [cpa@wmo.int](mailto:cpa@wmo.int) – Sitio Web: [www.wmo.int](http://www.wmo.int)