

EL OCÉANO ÁRTICO ANTE UN POSIBLE CAMBIO DE CLIMA

Manuel CATALÁN PÉREZ-URQUIOLA
Secretario técnico del Comité Polar Español



Introducción



ESDE finales del siglo XIX, época del Primer Año Polar, mucho han cambiado las circunstancias en que se desarrolla la investigación científica en las zonas polares. En aquel entonces la ciencia era la profesión de unos pocos investigadores que, con motivaciones y medios normalmente individuales, dedicaban en sus expediciones más tiempo a sobrevivir que a investigar.

Hoy miles de investigadores de cientos de instituciones y sociedades científicas apoyan el desarrollo de las colaboraciones internacionales y programas gubernamentales. Las modernas comunicaciones permiten a los investigadores controlar sus instrumentos y registrar la información de equipos instalados en las remotas zonas polares desde sus laboratorios, dejando patente el deseo del hombre de mejorar en el conocimiento de su medio ambiente y los problemas que afectan su supervivencia. Como resultado de estas investigaciones hoy sabemos que el planeta actúa en su conjunto como un organismo donde ninguna zona, incluyendo las inaccesibles regiones polares, actúa independientemente.

Finalizada la Segunda Guerra Mundial, y en pleno desarrollo de la Guerra Fría en 1957, la cooperación internacional decidió sobreponerse a sus discrepancias ante la necesidad de profundizar en el estudio de los procesos que se desarrollan en las zonas polares, planteándose los países más desarrollados —muchos directamente enfrentados política e ideológicamente— la necesidad de abordar conjuntamente su estudio con el desarrollo del Año Geofísico Mundial, también conocido como Tercer Año Polar Internacional.

Desde entonces han transcurrido 50 años, los conocimientos y posibilidades científicas han experimentado un desarrollo sin precedente y la humanidad se enfrenta a problemas muy diversos que amenazan en su conjunto al planeta y que antes no se habían previsto.

Las zonas polares y el clima

El equilibrio térmico del planeta se produce porque la atmósfera y los océanos trasladan el exceso de energía de los trópicos hacia los polos, de forma que si estos procesos no ocurrieran el equilibrio térmico del planeta sería otro y las temperaturas en el ecuador más altas que las actuales y en los polos mucho más bajas.

En este sentido existen tres mecanismos fundamentales que se desarrollan en las zonas polares, que afectan y controlan estos procesos y que, por tanto, afectan al clima global.

El primero sería la variación de la actualmente alta reflectividad a la radiación solar de las regiones polares por una posible fusión parcial de la banquisa y los hielos continentales; otro sería los cambios inducidos en las corrientes marinas por la variación observada en los hielos de la banquisa y glaciares y que, junto al aumento de las aportaciones fluviales en las regiones polares, pueden inducir cambios en las corrientes oceánicas; el tercero sería, finalmente, la variación de la emisión de gases de invernadero en la tundra ártica al variar la vegetación que la cubre en un posible cambio en su clima que extienda los bosques de la taiga hacia el norte, en lo que hoy son las heladas y vastas extensiones de la tundra.

La variación en la reflectividad a la radiación solar de las zonas polares

El primer factor con que las regiones polares pueden contribuir a una variación en el clima se debe a la variabilidad de la nieve y hielo que actualmente cubren las zonas polares. Como sabemos, al subir la concentración de gases de invernadero aumenta la temperatura en la baja atmósfera, y tanto la cobertera de nieve en los hielos continentales como la banquisa empiezan a desarrollarse más tarde en otoño y su fusión se adelanta en la primavera. Esta fusión deja al descubierto el terreno más oscuro, y las aguas del océano, al absorber con mayor intensidad la radiación solar, calientan la superficie y facilitan la fusión de más hielo en un proceso que se realimenta, en una situación claramente divergente. Este proceso se detecta especialmente en el Ártico, donde se observa una retirada generalizada de los glaciares, permafrost y banquisa, haciendo que sea el lugar del planeta donde el clima está cambiando con mayor rapidez.

Además, la fusión de los hielos está extendiendo los bosques hacia el norte, cambiando grandes extensiones de tundra en taiga. La taiga, que se extiende al sur de la tundra, se caracteriza por la presencia de bosques nórdicos que, especialmente cuando las copas de los árboles se encuentran cubiertos de nieve, es más reflectante que la tundra para la radiación solar.

Este aumento de la reflectividad al extenderse la taiga puede contribuir al desarrollo de un proceso contrario al del calentamiento observado, al que habría que añadir otro hecho positivo debido a que la extensión hacia el norte de los bosques contribuye a absorber el anhídrido carbónico con una mayor intensidad que la escasa y corta vegetación de la tundra. Estos efectos, contrarios al calentamiento, inducirían en el tiempo un proceso contrario, generando un nuevo equilibrio térmico sobre las heladas extensiones del Ártico.

Se considera, sin embargo, que en la situación actual el calentamiento producido en la tundra por la disminución en la reflectividad del terreno superficial, al volverse más oscuro debido a la fusión de sus hielos, es un proceso superior al efecto positivo para el clima global que resulta de la extensión de los bosques de la taiga hacia el norte ártico.

La variación de las corrientes marinas en el Ártico

Como es conocido, la extensión de la corriente del Golfo hacia el norte, entre Groenlandia y Escandinavia, produce el calentamiento del ambiente en esas regiones atlánticas, causando la alta pluviometría de la zona y la moderación de las temperaturas que registra el norte de Europa, comparadas con las mismas latitudes en Norteamérica.

Siguiendo la corriente del Golfo en su flujo hacia el norte, las masas de agua superficiales, al enfriarse, se van volviendo más densas y, como al formarse los hielos marinos rechazan la sal hacia las aguas super-



Figura 1. La corriente del Golfo constituye un mecanismo importante en el equilibrio térmico del hemisferio norte del planeta. La fusión parcial del casquete polar está produciendo la variación en la densidad de sus aguas y puede afectar a su equilibrio.

ficiales, éstas, además de por su enfriamiento, aumentan de densidad por su más alta salinidad, provocando su hundimiento hacia las grandes profundidades pelágicas (figura 1).

Este proceso contribuye, por una parte, a la formación de las masas de agua profunda de los océanos, y por otra, al ser sustituidas las masas superficiales hundidas por otras procedentes de los trópicos, al mantenimiento del mecanismo físico de la corriente del Golfo, que produce el intercambio de calor desde las zonas ecuatoriales hacia los polos.

Este proceso se encuentra en un delicado balance: si las aguas superficiales en el Ártico fueran menos densas debido a un aumento de las aportaciones de agua dulce por los grandes ríos árticos, o porque al subir las temperaturas éstas no fueran suficientemente bajas para formar hielo marino en la extensión usual, la formación de agua profunda disminuiría, arrastrando la corriente del Golfo menos masas de agua tropicales, con el consiguiente enfriamiento en el Ártico.

Este nuevo enfriamiento de las aguas en el Ártico reduciría la pluviometría en la zona, aumentando, por su mayor salinidad, la densidad de las aguas, lo que facilitaría nuevamente la formación de las masas de agua profunda y el reforzamiento de la corriente del Golfo en un mecanismo que justificaría el reducido margen de equilibrio que promueven los ciclos climáticos del Ártico.

La extensión hacia el norte de los bosques árticos

El tercer efecto que puede afectar a un posible cambio en el clima es la variación en el intercambio de gases de invernadero entre la atmósfera y los suelos y sedimentos árticos, que afectaría al calentamiento del aire y de las masas de agua en las zonas polares.

Como es sabido, el carbón queda atrapado, como materia orgánica, en el permafrost que cubre gran parte de las áreas polares. Durante el verano, al descomponerse la materia superficial en las regiones árticas, el suelo cede metano y anhídrido carbónico a la atmósfera. El metano, que tiene una alta capacidad de calentamiento de la atmósfera terrestre, se produce masivamente en verano por la descomposición de las plantas en los suelos húmedos de la tundra, proceso que se acelera por el calor y las precipitaciones. El anhídrido carbónico se emite por la descomposición de la materia en los bosques árticos y los incendios forestales que, igualmente, calientan el ambiente y facilitan nuevas emisiones. La consiguiente subida de las temperaturas refuerza estas emisiones en un proceso de naturaleza divergente, que causa continuamente el incremento de estas emisiones.

Estos efectos pueden estar parcialmente contrarrestados por el hecho de que actualmente se está reemplazando la vegetación ártica por nuevas plantaciones, más productivas agrícolamente y con una mayor capacidad de absor-

ción del anhídrido carbónico, lo que contrarresta, en parte, las crecientes emisiones de la tundra hacia un nuevo equilibrio de consecuencias desconocidas.

Las grandes concentraciones de metano, atrapadas o formadas en el permafrost, forman hidratos de carbono a profundidades superficiales en los fondos oceánicos y la tundra polares. Si la temperatura del permafrost subiera unos pocos grados podría iniciarse su descomposición y su emisión a la atmósfera, facilitando el aumento de su temperatura, con un importante efecto sobre el clima del planeta.

Hasta hoy el Ártico no ha desempeñado un papel importante en el cambio global, dado que la absorción de anhídrido carbónico por su océano ha venido limitada por la cobertura de hielo. En las nuevas condiciones de fusión parcial de la banquisa, la cantidad de anhídrido carbónico absorbido en estos mares polares podría aumentar, y sus masas de agua profunda, al hundirse durante el periodo de la formación de la banquisa, lo trasladarían hacia las zonas oceánicas más profundas, facilitando el aumento de la productividad biológica, lo que a la larga produciría, al morir las especies en forma creciente, un sucesivo aumento de los nutrientes.

Aunque estos cambios son contradictorios respecto a la hipótesis de un calentamiento global, y pueden ser importantes regionalmente, se considera que no serán suficientes para producir la inversión en la concentración de gases de invernadero en la atmósfera, y que el calentamiento global seguirá si no se disminuyen las emisiones de dichos gases que la sociedad industrial emite de forma creciente.

La investigación en los años polares internacionales. El Primer Año Polar

Por su difícil acceso y su interés científico y económico, incluyendo la explotación de sus especies vivas, los polos del planeta han centrado, desde mediado el siglo XIX, el interés creciente de la humanidad. Consecuentemente, y buscando un inicio en la investigación polar, podemos considerar que un olvidado oficial de la Armada austro-húngara, Karl Weyprecht, fue quizá el promotor del Primer Año Polar con su expedición al Ártico (1872-1874). Al analizar a su regreso los resultados de la expedición concluyó que todo su trabajo sólo había aportado información local, de escaso valor científico para el conocimiento global de las condiciones del Ártico.

Estos esfuerzos coincidieron con el gran desarrollo científico y técnico de finales del siglo XIX, en que los espectaculares descubrimientos condujeron al desarrollo de la sensibilidad internacional y al nacimiento de numerosas sociedades científicas, apoyadas institucionalmente.

En 1873 se crea la International Meteorological Organisation (IMO), que posteriormente sería la World Meteorological Organisation (WMO). La IMO

apoyó las exposiciones de Weyprecht en su congreso de 1879, promoviendo lo que sería el Primer Año Polar en una iniciativa que abarcaría los dos polos. De esta forma, el Primer Año Polar se inició en agosto de 1882 y se prolongó hasta septiembre de 1883, con la participación de 12 naciones que desarrollaron 15 expediciones coordinadas en el Ártico y el Antártico. Aunque las estaciones de las diferentes expediciones recogieron los datos, según la programación sugerida por Weyprecht, cada nación publicó sus resultados independiente y descoordinadamente, consiguiendo difícilmente la Comisión que toda la información registrada quedara conjuntamente archivada en el Observatorio Central de San Petersburgo.

El análisis conjunto de toda esta información mostró claramente las variaciones de la circulación a gran escala en el Ártico, apareciendo por primera vez registradas las oscilaciones del Atlántico Norte. Se puede concluir que este Primer Año Polar terminó con el registro de una gran cantidad de datos, pero con el fallo de la desunión internacional en la publicación e interpretación conjunta de aquéllos.

El Segundo Año Polar

Cincuenta años más tarde (1932-1933) surgió el Segundo Año Polar, impulsado por la presión de investigadores que consideraban la necesidad y los beneficios que se obtendrían de la cooperación internacional en la investigación polar. Por aquella época, la utilización de globos sonda había ya puesto de manifiesto la existencia de fuertes corrientes en la estratosfera, entre 10 y 15 kilómetros, que soplaban hacia el este en las altas latitudes, con independencia de las condiciones en superficie. El interés que produjo este fenómeno condujo a potenciar una nueva empresa internacional en el Ártico, apoyada nuevamente por la IMO, en una revisión de la idea de Weyprecht.

El interés en las zonas polares se había extendido como fruto de la época romántica de la investigación de los polos, siguiendo las expediciones de Amudsen, Scott y Peary. Y a pesar de casi coincidir con la gran depresión económica de 1929, los grandes desarrollos tecnológicos y el progreso científico de la época hicieron posible que en este Segundo Año Polar Internacional se integraran 44 naciones, de las que 16 formaron sus propios comités y 22 organizaron expediciones.

Los principales campos de investigación de este Segundo Año Polar incluían, fundamentalmente, la meteorología, las auroras y su relación con el geomagnetismo y la ionosfera, promoviendo un aumento en el número de observatorios magnéticos al norte de los 60°, desde siete hasta treinta, y manteniendo operativas 94 estaciones de investigación, de las cuales 40 permanecieron tras finalizar el programa del Año Polar.

El Año Polar fue especialmente productivo en datos e impulsó, de forma importante, los estudios y conocimientos en geomagnetismo y meteorología, incluyendo estudios sobre la recién descubierta corriente en chorro que, impulsada por las diferencias de temperatura y presión entre las regiones polares y el ecuador, afectó a lo que fue el futuro desarrollo de la navegación aérea, las comunicaciones y las predicciones meteorológicas, apoyándose en un conjunto de observatorios sinópticos que desde entonces incluyeron puntos de las zonas polares.

A su finalización, la Comisión del Año Polar estableció que el material de observaciones recogido se almacenara en el Instituto Meteorológico Danés, en Copenhague y, aunque en la segunda guerra mundial se perdió un número limitado de fondos, las observaciones sirvieron de base, posteriormente, para el establecimiento de los centros mundiales de datos con motivo del Año Geofísico Mundial en 1957/1958.

El Tercer Año Polar. El Año Geofísico Internacional

Entre los trabajos previos que impulsaron el Tercer Año Polar destaca la importancia que para los estudios de la alta atmósfera tuvieron los desarrollos que en la Segunda Guerra Mundial se habían producido en el empleo de cohetes. Estos estudios sugirieron a los científicos de la época la importancia que su aplicación podía tener para la detección de los fenómenos físicos que se desarrollaban en la alta atmósfera.

En esta ocasión, el Internacional Council of Scientific Unions (ICSU) apoyó la constitución de un comité, impulsado por su presidente, Sydney Chapman, que incluyendo las zonas polares abordara los estudios globales sobre la física de la Tierra, magnetismo terrestre, ionosfera, radiación cósmica y la detallada observación del Sol y sus efectos sobre el geomagnetismo externo. Quizá la motivación internacional necesaria que pudo promover un nuevo año polar internacional vino impulsada por incidentes de naturaleza política, relacionados con las reclamaciones de soberanía que habían favorecido la proliferación de bases en la península Antártica. Estas reclamaciones alcanzaron situaciones de tensión, próximas al enfrentamiento, entre naciones que reclamaban soberanías superpuestas en aquellos territorios helados.

Con motivaciones científicas y con la intención quizá *in mente* de frenar estas tensiones, en 1957 y 1958, con motivo del Año Geofísico Internacional, visitaron la Antártida más científicos que en el conjunto de su historia pasada, iniciándose el estudio metódico de su geología, oceanografía, biología y geofísica. Con ocasión de este Tercer Año Polar, científicos de 12 naciones trabajaron en 40 estaciones en el continente y 20 en las islas que le rodean, desarrollando una importante actividad investigadora en la región antártica, que sentó las bases del Tratado Antártico. El Tratado fue un punto de inflexión

en la ciencia mundial, dedicando y abriendo todo un continente y los mares que le rodean a la investigación científica y a la convivencia internacional. Las doce naciones participantes adquirieron de esta forma, junto con un *status* de miembro consultivo, la responsabilidad de preservar hacia el futuro todo un continente para la investigación científica y la defensa de su naturaleza.

Este Tercer Año Polar se desarrolló en ambos polos, entre julio de 1957 y diciembre de 1958, con la participación de más de 10.000 investigadores de 67 naciones. Entre sus éxitos más destacados figura el lanzamiento del *Sput - nick*, seguido meses más tarde del primer lanzamiento del programa americano, la detección de las cordilleras centro-océánicas y la detección de las capas de radiación de Van Allen que rodean la Tierra con forma tórica y contienen las partículas atrapadas en el campo geomagnético.

La investigación polar actual. El Cuarto Año Polar

Desde la finalización del Tercer Año Polar los avances científicos, impulsados por el desarrollo de las técnicas espaciales, han experimentado un gran impulso. Hoy sabemos que la investigación polar resulta crucial para el estudio del campo magnético terrestre, la geología, la biología, la atmósfera y el medio ambiente planetario, incluyendo los estudios de un posible cambio climático, y el océano.

Hoy en día la investigación polar resulta imprescindible para la comprensión de los fenómenos implicados en la aparición sobre los polos, cada primavera del llamado «agujero del ozono». Realmente, una disminución de la concentración de estas moléculas significa la reducción de una pantalla que desde hace 500 millones de años permite la extensión de la vida oceánica hacia tierra protegiendo la superficie del planeta de la radiación ultravioleta procedente de la actividad solar. Su estudio puede resultar fundamental para la comprensión de algunas malformaciones que en desarrollo creciente se detectan en la fauna antártica.

Con el comienzo de la época espacial y la posibilidad de contar con satélites para la observación de la superficie del mar, junto al desarrollo de las técnicas de tratamiento y evaluación de datos e imágenes, los oceanógrafos, geodestas y geofísicos han dispuesto de un medio excepcionalmente eficaz para abordar con nuevos datos, medios de observación global y criterios los estudios del continente y océanos que le rodean en tiempo real, incluyendo la variación temporal de su comportamiento dinámico.

En estas condiciones, la ciencia internacional ha planteado nuevamente la conveniencia de abordar un Cuarto Año Polar Internacional (marzo 2007-marzo 2009), planificado como una campaña internacional para el estudio de las regiones polares y su interacción con el sistema terrestre, en el que por primera vez participa España.

El Cuarto Año Polar ha aprovechado el estado actual de los medios de observación e investigación científica para ahondar sobre los límites de la ciencia en las regiones polares, determinar su situación actual —incluyendo la composición de la circulación en las regiones polares—, la interacción océano-atmósfera-hielo, aumentar el despliegue de observatorios para el estudio de la Tierra, el Sol y el espacio —incluyendo la interacción Sol-Tierra—, el geomagnetismo, los rayos cósmicos, la astronomía y astrofísica desde las zonas polares, sin olvidar investigar la historia cultural y social de las sociedades que habitan y han habitado las inhóspitas regiones circumpolares.

El Consejo Ártico

A la vista de la evolución de la situación ambiental que se ha descrito, y con fines fundamentalmente de cooperación social, científica y política, los ministros de Asuntos Exteriores de los países árticos acordaron, en la declaración de Ottawa de 1996, crear el Consejo Ártico. Este Consejo pretende, como objetivo básico global, la cooperación científica, la promoción de la conservación del medio ambiente y un desarrollo económico y social sostenible para la zona ártica.

Son miembros permanentes del Consejo Ártico, con derecho de participación activa y consulta, las organizaciones indígenas del Ártico, que son seis asociaciones internacionales que promueven los intereses de los pueblos indígenas árticos (laponés, esquimales o *inuit*, aleutianos, etc.), aunque estas poblaciones se encuentren distribuidas en más de un Estado. Se mantiene el criterio de limitar el número de organizaciones permanentes de forma que no superen en número a los países miembros.

Las decisiones en el Consejo Ártico se toman en las reuniones de los ministros de Asuntos Exteriores, cada dos años. El Consejo está gobernado por el Comité de Oficiales Árticos (Committee of Senior Arctic Officials), compuesto por funcionarios de los respectivos ministerios de Asuntos Exteriores y presidido de forma rotatoria por uno de los Estados (Arctic Council Chair). Los observadores acreditados actualmente en el Consejo Ártico incluyen países europeos no árticos: Francia, Alemania, Holanda, Polonia, España y Reino Unido, además de organizaciones internacionales.

El trabajo científico en el Consejo Ártico se desarrolla en grupos que trabajan sobre: desarrollo sostenible, control de contaminación en el Ártico, protección del medio ambiente marino ártico, conservación de la flora y fauna árticas, emergencia, prevención y respuesta, planificación de acciones para eliminar la contaminación en el Ártico y cambio climático en el Ártico.

La Universidad del Ártico es una red descentralizada y cooperativa de universidades y centros de educación localizados en países del Consejo Ártico especialmente interesados en los temas relacionados con el Ártico, para

promover los estudios universitarios y el acceso al intercambio de personal, conocimiento y diálogo. Los miembros comparten recursos, instalaciones y posibilidades docentes. La responsabilidad de definir las prioridades de la Universidad del Ártico la tiene el Comité de Gobernadores, elegido por el Consejo Ártico. Actualmente lo forman 20 universidades, que funcionan con un sistema de evaluación interna y externa.

Conclusión

Históricamente, las dificultades de acceso a sus reservas naturales y la característica dispersión de las poblaciones humanas en el Ártico han restringido el desarrollo en las regiones circumpolares, y aunque sólo una mínima parte de los gases de invernadero se producen en el Ártico, esta región es la que está sufriendo de forma más drástica el cambio climático.

El calentamiento de su atmósfera y de sus masas de agua hacen prever importantes cambios en su vegetación y biodiversidad, con consecuencias



Figura 2.—La ecología ártica ha evolucionado en un medio extremo, donde sólo han podido desarrollarse especies particularmente adaptadas. La variación en el clima puede suponer un riesgo para la supervivencia de estas especies.

globales difíciles de predecir, pero que pueden conducir a un aumento de la actividad económica regional y generar drásticos cambios sociales sobre una población autóctona que se ha ido lentamente adaptando, a lo largo de los siglos, a las condiciones extremas en que se desarrolla su vida.

Los ecosistemas árticos se encuentran en un delicado equilibrio tras su adaptación a un medio tan hostil. Como consecuencia de estas particularidades evolucionaron especies adaptadas a un medio caracterizado por la baja temperatura y corta estación para el crecimiento de las especies, seguidas de un largo invierno frío y oscuro. La situación extrema medio ambiental ha hecho que los ecosistemas terrestres sean menos complejos, con una baja biodiversidad y estrechamente relacionados con el ecosistema marino.

La compleja cadena marina depende de nutrientes especialmente adaptados, tanto a la oscuridad como a las frías y poco salinas aguas del Ártico. Como consecuencia, la diversidad biológica ártica se caracteriza por especies endémicas, con escasas variaciones genéticas, y especies migratorias que dependen de la situación de las especies de las que se alimenta.

La cacería, ganadería y pesca han constituido tradicionalmente la base de la alimentación de los pueblos indígenas. Esta última actividad, la pesca, continúa siendo en gran parte la base de estas reducidas comunidades para su sostenimiento. En las condiciones actuales es difícil prever cuál será la evolución de las actuales pesquerías en el Ártico, aunque quizá el calentamiento de las aguas las traslade hacia el norte, favoreciendo la producción primaria pero afectando negativamente a algunas especies comercialmente muy productivas, como el salmón.

La disminución del espesor del hielo ártico facilitará la explotación de recursos que hoy son de difícil o imposible explotación, debido a las dificultades de perforar hielos en movimiento. La reducción del hielo en el Ártico aumentará el acceso a importantes reservas naturales y nuevas posibilidades a la navegación circumpolar. En estas condiciones, la explotación de los recursos energéticos marinos, que ya han empezado a ser accesibles, incluyen nuevas reservas de minerales, petróleo y gas. La apertura de una ruta eficiente de comunicaciones al norte de Alaska y Canadá y al norte de Siberia, disponible la mayor parte del año, facilitará la creación de nuevos mercados a estos productos y el desarrollo de nuevas infraestructuras.

La explotación y la prospección masiva del Ártico han puesto de manifiesto grandes reservas al norte de Alaska en el mar de Beaufort, a lo largo de la desembocadura del río Mckencie, en el mar de Barents al norte de Siberia y al norte de Siberia continental. Las nuevas expectativas de recursos naturales en las zonas emergentes del Ártico están causando además un problema en la delimitación de los territorios emergentes del hielo, pero sobre todo de plataformas continentales (y sus correspondientes zonas económicas exclusivas) hasta ahora inaccesibles, y que pueden contener hasta un 25 por 100 de los recursos energéticos inexplorados del mundo.

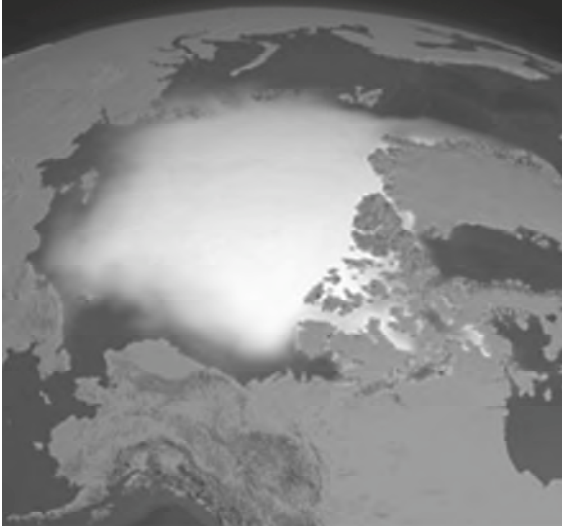


Figura 3.—Vista promedio de los hielos en el Ártico en septiembre, entre 1979 y 2001, que muestra la apertura de un canal navegable al norte de Siberia (canal del Ártico). En el canal del noroeste, al norte de Canadá y entre islas, se registra una disminución de los hielos que permite o va a permitir a corto plazo su apertura a la navegación durante gran parte del año.

la defensa, instaladas durante la Guerra Fría y actualmente abandonadas en regiones aisladas e inhóspitas.

Un hecho importante reside en que el cambio climático, al provocar la retirada de los hielos marinos, aumentará el periodo temporal en que se abrirán las comunicaciones marítimas y el tráfico comercial en la región, disminuyendo los costos de los transportes circumpolares (figura 3).

Todo lo anterior nos deja ante una situación altamente preocupante, con respuestas que muchas veces pueden resultar contradictorias, y donde el creciente consumo energético y su efecto sobre un posible calentamiento global han aumentado el interés de la comunidad internacional con acciones que todos esperamos no sean excesivamente tardías.

Se puede añadir que, en tierra, el movimiento de la capa activa del permafrost, sobre la que se asientan los gaseoductos y oleoductos polares y sus infraestructuras, está afectando a la estabilidad de sus cimientos y al transporte terrestre, variando las afluencias de los ríos y haciendo que la fusión de los hielos transforme la tundra en vastas extensiones de lagunas y pantanos.

La contaminación en el Ártico deriva de contaminantes producidos en el interior o importados a la zona por las corrientes marinas, las emisiones de agua de los ríos, la atmósfera y, de forma muy considerable, instalaciones industriales, agrícolas o de