

Predicción operativa del hielo polar



*Buque Honolulu de los Estados Unidos en el banco de hielo ártico
(Fotografía: Laboratorio Submarino Ártico)*

Por Pamela G. Posey y Ruth H. Preller
(de la División de Oceanografía del Laboratorio de Investigación Naval de los EE.UU.) y Magda Hanna (del Centro Nacional del Hielo de los EE.UU.)

Introducción

El Ártico es uno de los ambientes operativos más hostiles del mundo. Icebergs a la deriva, límites cambiantes del banco de hielo, oscuridad las 24 horas del día, temperaturas por debajo de cero, congelación del equipo y las superestructuras del barco y una falta de apoyo logístico fiable pueden hacer que las operaciones árticas sean extremadamente peligrosas para los barcos, las aeronaves y los submarinos. Ante estas condiciones hostiles de operación, una información en tiempo real y unas predicciones precisas pueden significar la diferencia entre el éxito de la misión y un importante daño para el equipo.

A pesar de la dificultad de las operaciones en este ambiente, numerosos barcos transitan el Ártico de manera regular y es probable que aumente el volumen de tráfico en el futuro debido a la disminución de la cubierta de hielo. Canadá, Dinamarca, la Federación Rusa, los EE.UU. y otras naciones fronterizas con el Ártico tienen presencia en el mismo.

Durante las pasadas décadas, los científicos han realizado una vasta investigación en el Ártico pero, más recientemente, los intereses por el petróleo y el gas han estimulado una exploración del Ártico cada vez mayor. Recientemente, un equipo de más de 300 científicos confirmó que en el norte del Círculo Ártico se estaban produciendo cambios sin precedentes. La Evaluación del Impacto Climático en el Ártico (ACIA) publicada en noviembre de 2004 describe estos cambios, incluido un retroceso hacia el norte del borde o la extensión del hielo de un 3 por ciento por década al final de la estación de verano (Figura 1).

El hielo y la nieve que cubren la región fría del Océano Ártico varían en escalas decenales, interanuales, estacionales e incluso inferiores, tales como los días y las semanas.

A medida que el Ártico se vuelve cada vez más accesible al disminuir el hielo, se están descubriendo simultáneamente grandes reservas de petróleo y de gas, lo que se suma al valor estratégico y económico del Ártico. Una combinación de intereses comerciales y científicos hace que el conocimiento de las actuales condiciones del Ártico sea crítico para el apoyo a las operaciones.

Condiciones árticas y requisitos operativos

Las condiciones árticas son altamente variables y, por lo tanto, difíciles de

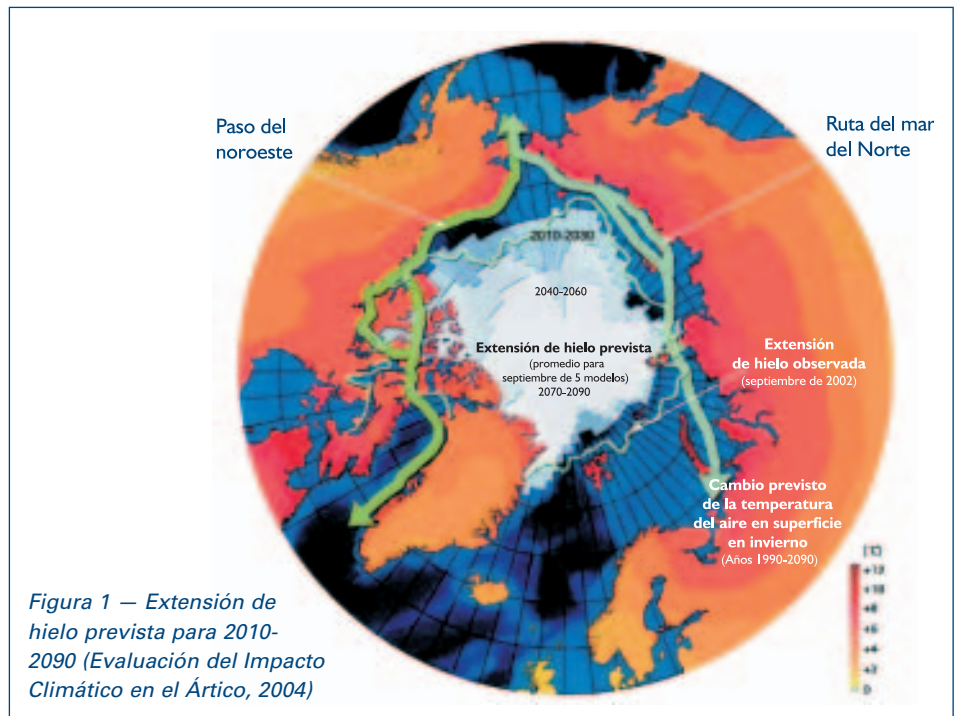


Figura 1 — Extensión de hielo prevista para 2010-2090 (Evaluación del Impacto Climático en el Ártico, 2004)

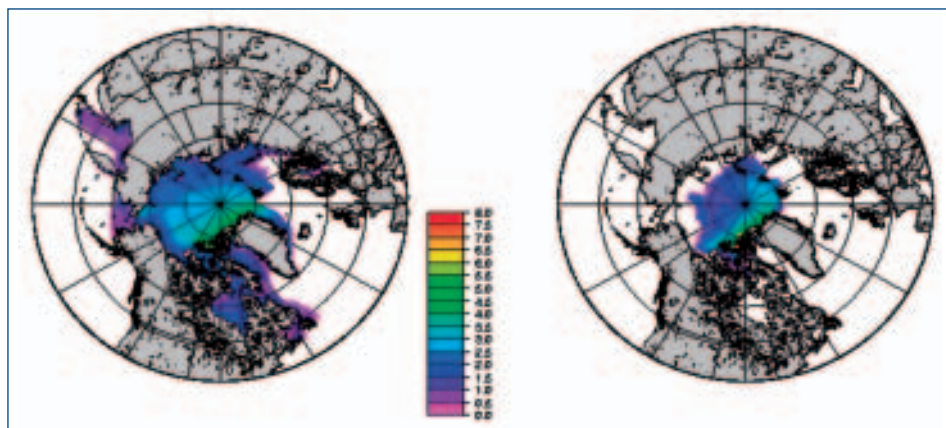


Figura 2 — Predicción del espesor del hielo (en m) típico (izquierda) de invierno y (derecha) de verano del Sistema de Predicción del Hielo Polar (PIPS 2.0)

predecir. El hielo y la nieve que cubren la región fría del Océano Ártico varían en escalas decenales, interanuales, estacionales e incluso inferiores, tales como los días y las semanas. Esta variabilidad en la cubierta del hielo marino se debe a una combinación de efectos dinámicos y termodinámicos. Las tensiones superficiales en la parte superior e inferior del hielo originan el movimiento del hielo marino y también la deformación del mismo, creando cordones de hielo y generando zonas de aguas abiertas. El calentamiento y el enfriamiento desde la atmósfera y el océano en combinación con el movimiento del hielo son responsables en gran medida del crecimiento y la disminución del hielo marino.

A escala de cuenca, la variabilidad ártica se ve como una disminución de hielo en algunas regiones y un crecimiento en otras. Esta variabilidad se representa a veces mediante un efecto de balancín cuando una parte de la cuenca del Ártico experimenta un año de hielo “templado,” mientras que otra parte tiene un incremento en la extensión y el espesor del hielo (Preller y otros, 2002). Sin embargo, durante las dos últimas décadas, se han observado disminuciones en la extensión del hielo en la periferia del Océano Ártico (ACIA, 2004).

El hielo marino más delgado y la mayor cantidad de aguas abiertas en el Ártico aparecen desde junio a septiembre. El hielo empieza a crecer en el otoño y llega a un espesor máximo a finales del invierno y principios de la primavera, entre marzo y abril (Figura 2). Muchos de los mares marginales, como los de Barents y Groenlandia, se encuentran prácticamente libres de hielo durante el verano. Otros mares marginales, como el de Bering y el de Okhotsk, están completamente despejados de hielo en el verano.

Considerar el Ártico desde una perspectiva operativa requiere centrarse en parámetros altamente variables, tales como: el conocimiento de la extensión, la cobertura, el espesor y el movimiento del hielo en zonas pequeñas y definidas. Para un barco submarino o de superficie, también resulta crítico saber la situación de los movimientos divergentes que producen el agua abierta y las regiones de fuerte movimiento convergente. Para atravesar el Ártico también se necesita ser consciente del acordonamiento o el plegamiento del hielo junto con las situaciones de las grietas grandes y pequeñas en el hielo y los estanques abiertos de agua (llamados fracturas, canales y polinias). Debido a estas necesidades concretas, las herramien-

tas de predicción, las observaciones y la cartografía de hielos deben desarrollarse específicamente para satisfacer las necesidades operativas o modificarse para atender estas necesidades especializadas.

Estado de las observaciones y las capacidades de predicción en el Ártico

Las herramientas disponibles en tiempo real para suministrar información de manera operativa sobre las condiciones del hielo son limitadas. Para obtener una “predicción inmediata” precisa o la foto actual del Ártico hace falta una combinación de observaciones in situ e imágenes de satélite. Como “Grupo de Acción” del Grupo de cooperación sobre boyas de acopio de datos (GCBD) de la OMM, el Programa Internacional de Boyas en el Ártico ha sido una piedra angular de estas operaciones desde 1979. Durante este tiempo, una serie de boyas ha recogido y transmitido datos de temperatura del aire, presión y posición en el Ártico (<http://iabp.apl.washington.edu>). Las boyas recién diseñadas son capaces de medir el espesor del hielo y también de recoger datos oceanográficos. Toda esta información proveniente de observaciones está aumentando a través de la cooperación internacional y ofrece observaciones in situ de alta resolución temporal que complementan la alta resolución espacial de las imágenes de teledetección.

Las agencias de cartografía de hielos dependen muchísimo de las observaciones de satélite en tiempo real provenientes de muchas fuentes distintas, tales como la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) de los EE.UU., la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), RADARSAT de Canadá y ENVISAT de Europa. Las observaciones de satélite se utilizan diariamente



en centros operativos como el Centro Nacional del Hielo (NIC) de los EE.UU. para ofrecer una imagen de las condiciones actuales del hielo tanto en el Ártico como en el Antártico.

Desgraciadamente, las observaciones de satélite y los datos de boyas no son suficientes para ofrecer una cobertura completa de las condiciones del hielo. A menudo, la cobertura de satélite es incompleta, como en el caso de las observaciones comerciales del Radar de Abertura Sintética (SAR). En el caso de las imágenes del espectro visible, las nubes y la precipitación degradan la imagen, ocasionando así huecos que debe llenar el analista utilizando como guía los modelos generados por ordenador y las salidas de algoritmos.

Los modelos de hielo están diseñados para llenar estos huecos y para compensar las deficiencias tanto de las imágenes de satélite como de los datos de las observaciones. Generados en superordenadores de gran escala, los modelos utilizan un análisis o estado inicial del campo del hielo antes de producir una "predicción" (una suposición futura de las condiciones del hielo). Estos análisis pueden combinarse a lo largo de los

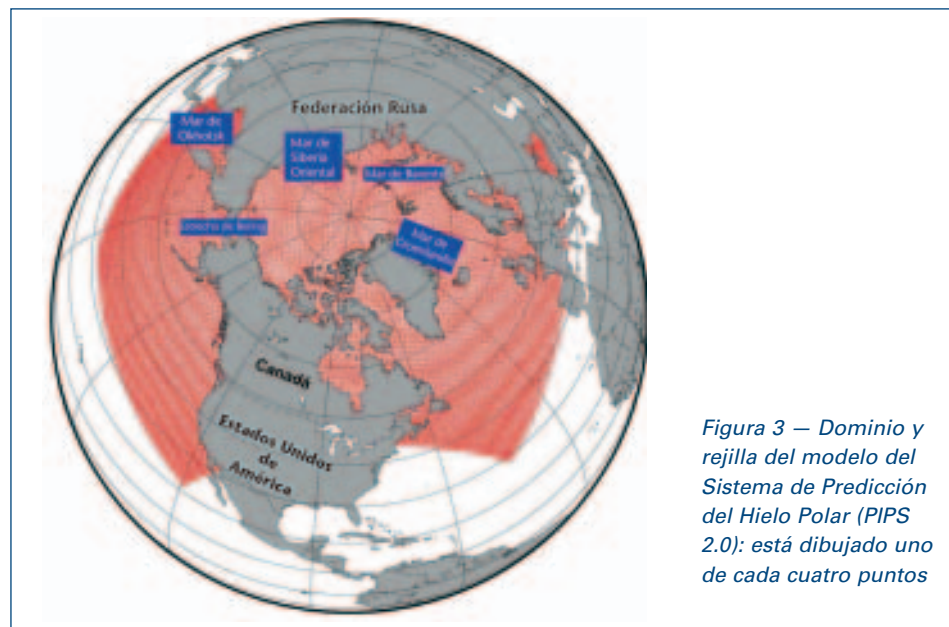
... una información en tiempo real y unas predicciones precisas pueden significar la diferencia entre el éxito de la misión y un importante daño para el equipo.

días pasados para recopilar una historia o "análisis retrospectivo" del movimiento del hielo y de otra información. Así, pueden estimarse la extensión del hielo y las concentraciones parciales de distintas etapas (variables sustitutivas del espesor) del hielo empezando por el último análisis conocido y después proyectando el estado probable del campo de hielo en el tiempo utilizando los datos de la "predicción retrospectiva". Sin esta orientación del modelo, el analista tendría que estimar el estado del hielo en los huecos generando el movimiento del hielo manualmente, lo que sería una tarea tediosa y casi imposible.

El Laboratorio de Investigación Naval (NRL) ha estado desarrollando sistemas de predicción del hielo marino diseñados para satisfacer las necesidades de sus clientes de la Armada. El sistema de predicción existente y actualmente en uso operativo es el Sistema de Predicción del Hielo Polar (PIPS 2.0). El PIPS 2.0 ofrece predicciones en todas las zonas cubiertas por hielo marino en el hemisferio norte (hasta 30° de latitud N). La resolución de la rejilla horizontal del modelo PIPS 2.0 es de 0,28° y varía de 17 a 34 km. La Figura 3 muestra la rejilla del PIPS 2.0 (puntos rojos) dibujados cada cuatro puntos de rejilla. El PIPS 2.0 utiliza el modelo de hielo dinámico y termodinámico de Hibler (Hibler, 1979) acoplado con el modelo oceánico de Bryan y Cox (Cox, 1984).

El Sistema de Predicción Atmosférico Mundial Operativo de la Armada (NOGAPS) (Hogan y Rosmond, 1991) ofrece tensiones del viento atmosférico. Los flujos del modelo de hielo y el forzamiento oceánico provienen de un modelo oceánico completamente acoplado. Los productos de predicción del PIPS 2.0 incluyen deriva, espesor y concentración del hielo. Estos productos se difunden diariamente desde el centro operativo al Centro Nacional del Hielo para que los utilicen los analistas de hielo. Además de estos productos disponibles, el PIPS 2.0 tiene la capacidad de predecir corrientes oceánicas, la temperatura y la salinidad del océano.

En la predicción en tiempo real, problemas inesperados (caídas del sistema informático o imágenes de días nubosos) podrían ocasionar serios problemas si el analista dependiera solo de una fuente de información. En la mayor parte de los centros operativos, los sistemas de predicción del hielo (p. ej., el PIPS 2.0) constituyen la única entrada objetiva para situar las fronteras del borde y de la concentración del



hielo cuando no se dispone de imágenes SAR o de imágenes en el espectro visible claras y diurnas (Radiómetro Perfeccionado de Muy Alta Resolución (AVHRR), Exploración Lineal Operativa (OLS), etc.). Por esta razón, la predicción generada por ordenador ayuda al analista a determinar dónde se ha movido el hielo durante un período de tiempo y a estimar de esta manera el borde o la situación del hielo. Con toda esta gama de información (predicciones de hielo, datos de satélite, observaciones, etc.) el analista no depende de una fuente particular de datos para realizar un mapa del borde del hielo.

Colaboración internacional y cartografía de hielos

Ahora se dispone de observaciones del hielo marino en tiempo real, de análisis y de predicciones de centros de hielo de todo el mundo (Canadá, Dinamarca, Finlandia, Islandia, Japón, Noruega, Federación Rusa, Suecia y los EE.UU.). Estos centros suelen ser responsables del suministro de información de las condiciones del hielo en las proximidades de sus propias líneas de costa (p. ej., la Federación Rusa en el Mar de la Plataforma Ártica; Finlandia, Alemania y Suecia en el Báltico) y ofrecen a los usuarios productos que abarcan desde puertos y bahías a rutas tácticas para los rompehielos. La predicción es fundamental para todas las agencias con un interés operativo en el Ártico.

Ante el interés mundial que despierta el Ártico, la colaboración internacional es clave para mantener la mejor información operativa posible en esa región del planeta. En octubre de 1999 se creó el Grupo de Trabajo Internacional de Cartografía de Hielos (IICWG) para fomentar la cooperación operativa entre los centros de hielo mundiales en todos los asuntos relacionados con los productos del hielo marino y con los



icebergs (<http://nsidc.org/noaa/iicwg/>). Este Grupo procura mantener la cartografía de hielos y también compartir la información de teledetección y predicción. Los Miembros del IICWG se han asociado para fomentar la cooperación en zonas mutuas de interés y para reducir las redundancias.

El Servicio Canadiense del Hielo y el Centro Nacional del Hielo de los EE.UU., bajo los auspicios del Servicio del Hielo de América del Norte, han constituido una asociación de ese tipo para ofrecer predicciones de las aguas de los EE.UU. y de Canadá, incluidos los Grandes Lagos. Este tipo de colaboraciones fomenta la consistencia entre las agencias de cartografía de hielos y son fundamentales para compartir los conocimientos científicos.

Tendencias futuras en la predicción de hielo

Los científicos y los modelizadores están validando en la actualidad los modelos más recientes de predicción del hielo a corto y largo plazo. Se ha documentado un mayor conocimiento de la correlación entre la Oscilación Ártica (OA) de invierno y la extensión del hielo marino en verano y se está incorporando en las nuevas predicciones estacionales (Rigor y otros, 2000; Rigor y Wallace, 2004). La resolución de las características a pequeña escala, tales como las fracturas, las

polinias pequeñas y la formación de cordones de hielo, constituye otra línea de estudio que se lleva a cabo en la actualidad (Gow y Tucker, 1990; Kwok y otros, 2003). Este trabajo permitirá que los servicios de hielo mejoren las predicciones a corto y largo plazo.

Comprender la dinámica y la termodinámica del hielo marino, y también observar las condiciones del mismo, es decisivo para mejorar la calidad de los modelos y de las predicciones operativas. Nuevos modelos de hielo, tales como el Modelo de Hielo Marino de Los Álamos (CICE) (Bitz y Lipscomb, 1999; Hunke y Dukowicz, 1997), han sintetizado la tecnología de los diez últimos años. Además, los modelos oceánicos han avanzado durante la última década hacia modelos oceánicos completamente globales (Chassignet y otros, 2003), capaces de predecir las corrientes oceánicas, la temperatura y la salinidad con una mayor precisión (Rhodes y otros, 2002). Estos productos oceánicos mejorados se utilizarán, a su vez, como entrada en sistemas de predicción del hielo marino.

... las duras condiciones ... hacen que los operadores dependan en gran medida de una información precisa del hielo para proteger la vida y los equipos. Las agencias de cartografía de hielos deben utilizar todos los recursos disponibles para crear una foto precisa del Ártico, incluido el uso de datos de observaciones in situ y de teledetección.

Un factor crítico adicional en la mejora de las capacidades de modelización y de predicción del hielo es la tecnología informática. Los códigos de ordenador hacen uso ahora de procesadores múltiples y pueden realizar cálculos más amplios en períodos de tiempo aceptables operativamente. Con todas estas mejoras recientes, un modelo de hielo y océano más sofisticado, junto con la asimilación de mejores imágenes de satélite en tiempo real, será capaz de producir una condición del hielo más realista para las regiones polares.

Conclusiones

El Ártico ha sido, y seguirá siendo, una región de interés estratégico y operativo. Ante los potenciales recursos energéticos disponibles en el Ártico y los informes sobre la disminución del hielo, el Ártico sigue siendo importante económicamente. Sin embargo, las duras condiciones de este ambiente hacen que los operadores dependan en gran medida de una información precisa del hielo para proteger la vida y los equipos. Las agencias de cartografía de hielos deben utilizar todos los recursos disponibles para crear una imagen precisa del Ártico, incluido el uso de datos de observaciones in situ y de teledetección.

Debido a las limitaciones de ambos, los sistemas operativos de predicción del hielo son componentes críticas de la creación de mapas de hielo. Es vital que la cooperación internacional

y la investigación científica continuada sigan contribuyendo a la capacidad operativa de la predicción. Este trabajo hará grandes progresos para lograr hacer del Ártico un lugar más seguro en apoyo a los intereses estratégicos, económicos y científicos mundiales.

Agradecimientos

Los autores agradecen los útiles comentarios de Towanda Street, Paul Seymour, Pablo Clemente-Colon e Ignatius Rigor. Se ha aprobado que este artículo, la contribución NRL/JA/7320-05-5214 del NRL, se ponga en circulación pública y se distribuya sin limitaciones.

Referencias

- ARTIC CLIMATE IMPACT ASSESSMENT (ACIA), 2004: *Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press.
- BITZ, C. M. y W. H. LIPSCOMB, 1999: An energy conserving thermodynamic model of sea ice. *J. Geophys. Res.*, 104(C7), 15669-15677.
- CHASSIGNET, E. P., L. T. SMITH, G. R. HALLIWELL y R. BLECK, 2003: North Atlantic simulations with the Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM): impact of the vertical coordinate choice, reference density and thermobaricity. *J. Phys. Oceanogr.*, 33, 2504-2526.
- COX, M., 1984: *A Primitive Equation, 3-Dimensional Model of the Ocean*. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Ocean Group Technical Report, Princeton, NJ, 1141 pp.
- GOW, A. J. y W. B. TUCKER III, 1990: Sea ice in the polar regions. *Polar Oceanography*, Part I: Physical Science. W. O. SMITH Jr. (Ed.), Academic Press, NY.
- HIBLER, W. D., 1979: A dynamic thermodynamic sea ice model. *J. Phys. Oceanogr.*, 9, 815-864.
- HOGAN, T. F. y T. E. ROSMOND, 1991: The description of the US Navy Operational Global Atmospheric Prediction System's Spectral Forecast Model. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 1786-1815.
- HUNKE, E. C. y J. K. DUKOWICZ, 1997: An elastic-viscous-plastic model for sea ice dynamics. *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 1849-1867.
- KWOK, R., G. F. CUNNINGHAM y W. D. HIBLER III, 2003: Subdaily ice motion and deformation from RADARSAT observations. *Geophys. Res. Lett.*, 30(23), 2218.
- PRELLER, R. H., P. G. POSEY, W. MASLOWSKI, D. STARK y T. C. PHAM, 2002: Navy sea ice prediction systems. *Oceanography*, 15, N.º 1, 44-55.
- RHODES, R. C., H. E. HURLBURT, A. J. WALLCRAFT, C. N. BARRON, P. J. MARTIN, E. J. METZGER, J. F. SHRIVER, D. S. KO, O. M. SMEDSTAD, S. L. CROSS y A. B. KARA, 2002: Navy real-time global modeling systems. *Oceanography*, 15, N.º 1, 29-43.
- RIGOR, I. G. y J. M. WALLACE, 2004: Variations in the age of sea ice and summer sea ice extent. *Geophys. Res. Lett.*, v31, L24308.
- RIGOR, I. G., R. L. COLONY y S. MARTIN, 2000: Variations in surface air temperature in the Arctic from 1979-1997. *J. Climate*, 13, N.º 5, 896-914.

