

# LA CONTAMINACION DEL AIRE ARTICO

Por L. A. BARRIE \*

Desde el último siglo, la atmósfera ártica ha sido contaminada por las fuentes industriales del hemisferio norte. La contaminación crea una notable reducción de la visibilidad que se denomina por esta razón *bruma ártica*.

Asociado a esto se ha producido un aumento de las emisiones de muchos compuestos químicos que van desde las regiones del sur a los ecosistemas del norte utilizando como vía la atmósfera. La bruma es de 10 a 20 veces más intensa durante la mitad fría del año que durante la cálida. Las partículas de la bruma que reducen la visibilidad son en su mayoría de compuestos ácidos de azufre y proceden fundamentalmente de fuentes de Europa y de la URSS. Esta descripción ha cristalizado desde comienzos de 1970 debido a los esfuerzos de distintos científicos principalmente de Canadá, Dinamarca, Noruega y los EE.UU. El descubrimiento de la ocurrencia, el origen y la historia de la contaminación del aire ártico es el resultado de la cooperación interdisciplinaria entre científicos dedicados a las ciencias de la Tierra, incluyendo glaciólogos, meteorólogos y químicos de la atmósfera, mientras que la recopilación y el análisis de los datos atmosféricos se han beneficiado de las actividades de la Vigilancia de la Atmósfera Mundial de la OMM.

A finales de los años 40, había algunos informes de reducción de la visibilidad procedentes de observadores de los aviones. Por ejemplo, el Comandante piloto, Keith Greenaway de la Real Fuerza Aérea de Canadá, informó que en la atmósfera del Ártico canadiense, "la bruma de cristales de hielo es muy común en invierno y primavera". Sabemos ahora que esta bruma es debida a contaminación así como a cristales de hielo. En un informe clásico de las observaciones de los pilotos de las Fuerzas Aéreas de los EE.UU., en el Ártico de Alaska, el Dr. Murray Mitchell sugirió, en 1956, que la bruma era debida a

partículas mucho más pequeñas que los cristales de hielo y se encontraban en la atmósfera por encima de los 9 km. No se hizo una asociación consciente de las partículas de la bruma con la contaminación del aire hasta principios de los años 70. El Prof. Glenn Shaw de la Universidad de Alaska en Fairbanks observó que la transparencia de la atmósfera en primavera estaba notablemente reducida por partículas de polvo en suspensión existentes en la atmósfera. Esto provocó una serie de medidas de química atmosférica realizadas por él y sus colegas de los EE.UU., que demostraron que en la atmósfera ártica de Alaska las partículas de niebla eran debidas principalmente a las actividades industriales del hombre y no a las fuentes naturales tales como volcanes, tormentas de arena o sales marinas.

A finales de los años 70, estaban sin contestar muchas cuestiones respecto a la bruma del Ártico:

- "¿La extensión de la contaminación por lluvia ácida era, en sus orígenes, regional o local?"
- "Si fue general, ¿cuál fue su origen, historia e impacto sobre el medio ambiente del norte?"

Hay varias revisiones detalladas del estado actual de este tema que el lector puede consultar: Barrie, 1986; *Contaminación del aire Ártico*, 1986; *Contaminación de la Atmósfera Ártica*, 1991; Barrie y otros, 1991. Este artículo es un breve resumen desde la perspectiva canadiense.

El autor realizó medidas continuas de partículas de la bruma ártica en Canadá, entre 1980 y 1984, en tres lugares: Alert\*\*, cerca del Polo Norte; bahía de Mould en el archipiélago occidental y en la comunidad de islas de Igloodik frente al cabo norte de la península de Melville (ver figura 1). Desde 1984, las observaciones han continuado

\* Servicio Atmosférico Mediambiental, 4905 Dufferin Street, Downsview, Ontario, Canada M3H 5T4.

\*\* En la cubierta del *Boletín de la OMM* 40 (1) hay una fotografía de la Estación Meteorológica canadiense en Alert y una descripción breve en la página 2 de ese número.

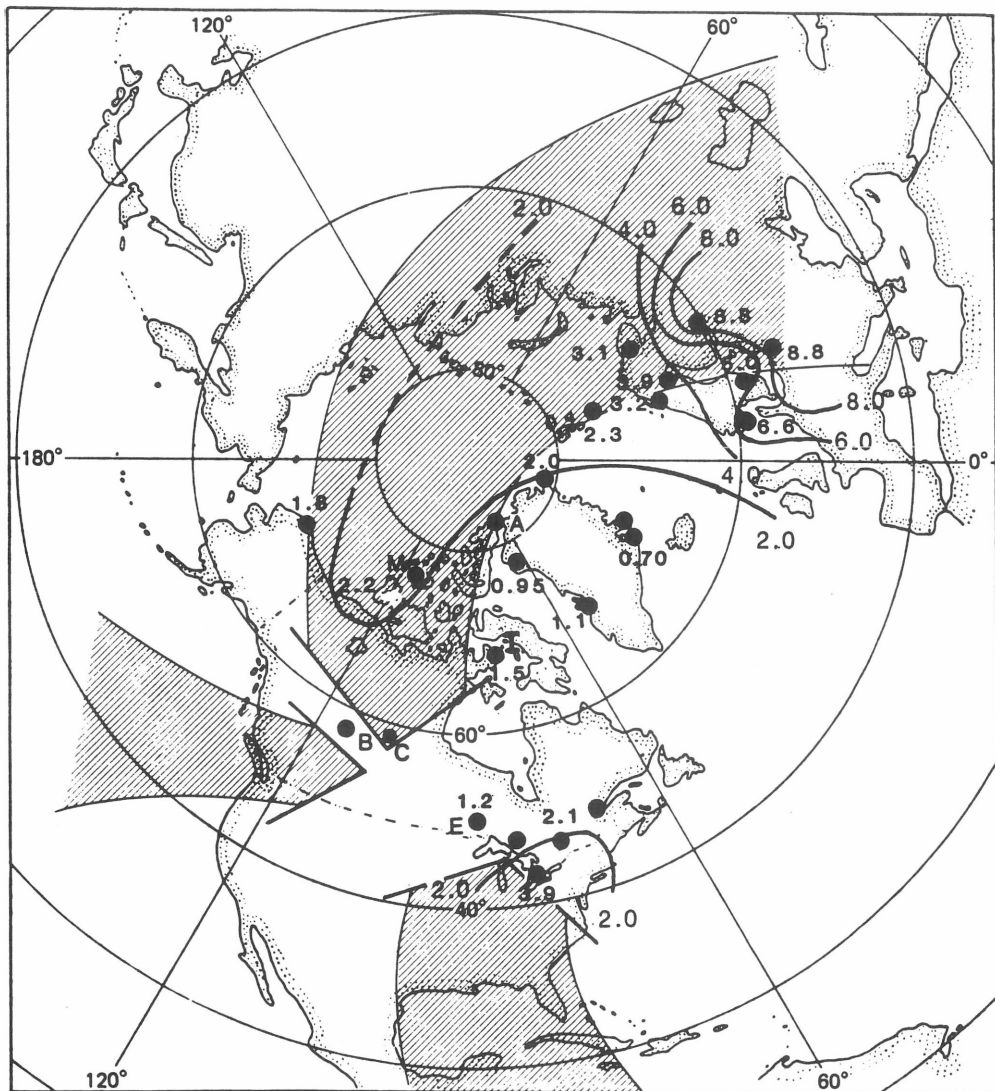


Figura 1 — Mapa del Ártico que muestra la distribución de la contaminación de la bruma en la región polar durante el invierno de 1980 (enero-abril) en función de la abundancia de partículas de sulfatos. También muestra las localidades canadienses donde fueron realizadas dichas observaciones: A = Alert; M = bahía de Mould y I = Igloolik.

únicamente en Alert. Aunque los lugares estaban bastante alejados los niveles de bruma fueron similares. También fueron semejantes a los observados fuera de Canadá en Barrow, Alaska, y en la isla de Spitsbergen en el Ártico noruego. La considerable variación estacional de la contaminación de la bruma inicialmente observada en Barrow, Alaska, a finales de los años 1970, existe en todo el Ártico superior. Es mínima de junio a septiembre y máxima de enero a abril. Cuando se examinó la distribución geográfica de la contaminación de la bruma

recopilando las medidas realizadas en Norteamérica, Groenlandia y Europa durante los inviernos de 1980 y 1981, y se las transcribió a un mapa (figura 1), se confirmó la naturaleza extensa de la bruma del Ártico. Durante el invierno se extendía por todo el norte, aumentando hacia Eurasia. Pero, ¿de dónde provenía?

Basándose en la magnitud y extensión de la aparición de la bruma, es evidente que la contaminación no procede sólo de fuentes polares locales tales como ciudades, minas,

petróleo y exploraciones de gas, o incluso de la combustión natural de Smoking Hills, cerca del delta del río Mackenzie, sino más bien del exterior del Ártico. Hay varias regiones fuente en nuestro globo con industrias importantes situadas junto al Ártico, incluyendo Eurasia (Europa y URSS), Norteamérica oriental y el sureste de Asia (China, Japón y Corea). ¿Procede la bruma principalmente de una región o de una combinación de ellas?

Al comienzo del decenio de 1980, los científicos de la atmósfera propusieron el escenario siguiente: las fuentes situadas en el este de Norteamérica y en el sureste de Asia comparten características similares que hacen menos probable una contribución apreciable a la contaminación de la bruma de las regiones del norte. Están situadas a latitudes más bajas ( $25^{\circ}$ - $50^{\circ}$  N) que las fuentes de Eurasia ( $40^{\circ}$ - $65^{\circ}$  N) y en el lado este de los continentes, inmediatas al viento ascendente de los océanos tormentosos (Atlántico y Pacífico). Sus residuos industriales circulan principalmente hacia el este donde son arrastrados por la lluvia hacia los océanos. En contraste, la contaminación de Eurasia circula hacia el noreste sobre un terreno que, en invierno, es un desierto polar, frío y cubierto de nieve. Apenas encuentra lluvia o nieve como para producir su lavado atmosférico. En verano, el desplazamiento de la contaminación de Eurasia hacia el Ártico es más débil, ya que el viento hacia el norte es menos frecuente y porque hay más lluvia para eliminarla en su camino hacia el norte. Incluso aunque la contaminación alcance el Ártico, será eliminada rápidamente ya que la región tiene mucha más lluvia en verano que en invierno.

Hay numerosas pruebas que sugieren que el anterior escenario para la bruma del Ártico es correcto. Proviene de los modelos de transporte químico atmosférico y de los trazadores isotópicos de contaminación atmosférica. El autor y sus colaboradores emplearon un modelo de transporte químico desarrollado por los científicos del Servicio de Medio Ambiente Atmosférico canadiense. Este modelo empleaba las configuraciones conocidas de los vientos y de las emisiones de ácido sulfúrico en el hemisferio norte para calcular qué parte de la contaminación que penetraba en el Ártico provenía de Norteamérica y de Eurasia. La confianza en el modelo aumentó al comprobar que podía predecir correctamente los niveles de contaminación observados en el norte de

Escandinavia. Como los científicos esperaban intuitivamente, la mayor parte de la contaminación anual (96 por ciento) entraba al Ártico desde Eurasia; el resto (4 por ciento) procedía de Norteamérica (figura 2). La contaminación de la bruma procedente de Eurasia estaba aproximadamente repartida entre el oeste y el este de Europa y la URSS. Por esto, las fuentes de la URSS, tales como el complejo industrial de Norilsk, próximo al norte de los Montes Urales, no son las únicas que contribuyen a la bruma del Ártico. La contaminación europea también contribuye sustancialmente.

Otro eslabón en la cadena entre la bruma del Ártico y la fuentes euroasiáticas es la composición isotópica del plomo medido en el Ártico. El plomo es un componente secundario de las partículas de bruma cuya masa principal está formada de sulfatos. Sin embargo es un trazador químico importante de su procedencia. Su masa total está repartida entre tres isótopos (átomos que tienen igual número de protones pero diferente número de neutrones) de pesos moleculares 206, 207 y 208. La proporción relativa de la masa total de cada uno de sus isótopos se determina por el tipo de contaminación que, a su vez, depende del proceso de producción industrial del producto bruto (combustible, mineral, etc., ..). Casualmente, la composición isotópica del plomo en la contaminación atmosférica de las regiones fuente de Eurasia y Norteamérica es diferente, debido principalmente al tipo de plomo que se añade a la gasolina en las regiones respectivas. Las medidas realizadas en la composición de los isótopos de plomo en los aerosoles europeos (Hopper y otros, 1990) y en la bruma del Ártico (Sturges y Barrie, 1989) son concordantes con la idea de una fuente predominantemente euroasiática con contribuciones iguales de Europa occidental, de Europa oriental y de la URSS. Desde los años 1970 el plomo ha sido eliminado gradualmente en los carburantes de Europa y de Norteamérica. Esto se ha reflejado en los niveles descendentes de plomo observados en Groenlandia (Boutron y Görlach, 1990).

¿Desde cuando ha estado la bruma euroasiática influyendo en el Ártico? Los glaciares árticos de las islas septentrionales Ellesmere y Groenlandia, nos ofrecen una visión de la historia de la contaminación. La nieve que cae en estos glaciares está contaminada con partículas de bruma ácida. El grado de acidez

# SULPHUR FLUX INTO ARCTIC

## BY LONGITUDE JULY 79- JUNE 80

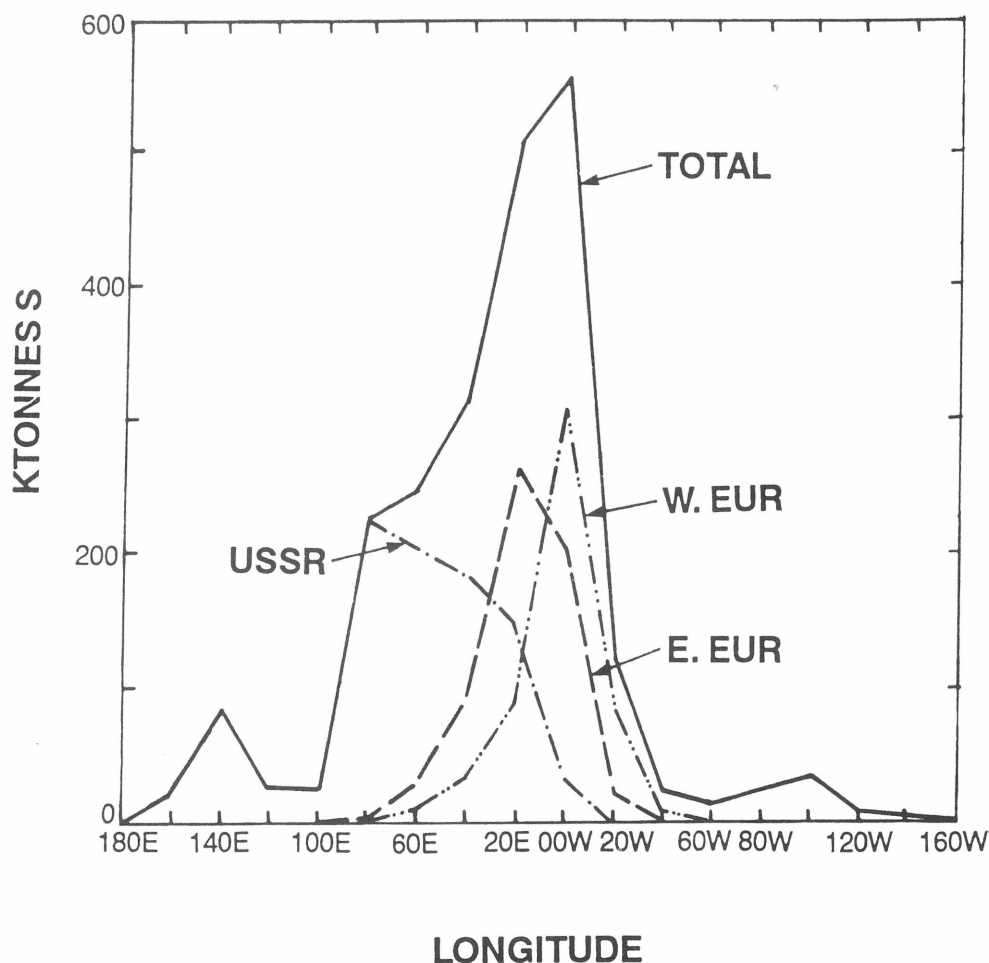


Figura 2 — ¿De donde proviene la bruma? Una respuesta obtenida a partir de un modelo de transporte químico usado por el autor y sus colaboradores, que emplea observaciones de viento y emisiones conocidas de contaminación por azufre en Norteamérica y Eurasia (Barrie y col., 1989). Se muestra cómo varía con la latitud la cantidad de azufre que introduce el viento en el Círculo Ártico en un año (julio 1979 – junio 1980) aparece en relación a su variación con la latitud. Se dan los resultados para toda la contaminación y, a continuación, para una de las regiones de procedencia más importantes que, combinadas, aportan el 96 por ciento del azufre total que entra en el Ártico.

de la nieve es un indicador de los niveles de contaminación atmosférica. La nieve se acumula en los glaciares a lo largo de siglos, capa a capa. Los glaciólogos, que emplean los núcleos de hielo tanto como los geólogos emplean los núcleos de las rocas, pueden obtener la historia de la contaminación atmosférica mediante el análisis químico de los núcleos. Esto es lo que se ha hecho el glaciar Agassiz, en el norte de la isla Ellesmere, en el laboratorio del Dr. Roy Koerner del Departamento de Energía, Minas y Recursos,

Ottawa y en Groenlandia por científicos americanos y franceses. Las tendencias en la acidez de los glaciares árticos, y por lo tanto en la contaminación de la bruma ártica, tienen paralelismo con las de la contaminación atmosférica ácida, emitida en Eurasia (Figura 3). La contaminación ha estado presente durante este siglo. En los primeros 50 años, fue aproximadamente la mitad de los niveles actuales. Desde la revolución tecnológica de los años 1950, se ha duplicado. En los años 1980, las medidas de contaminación por

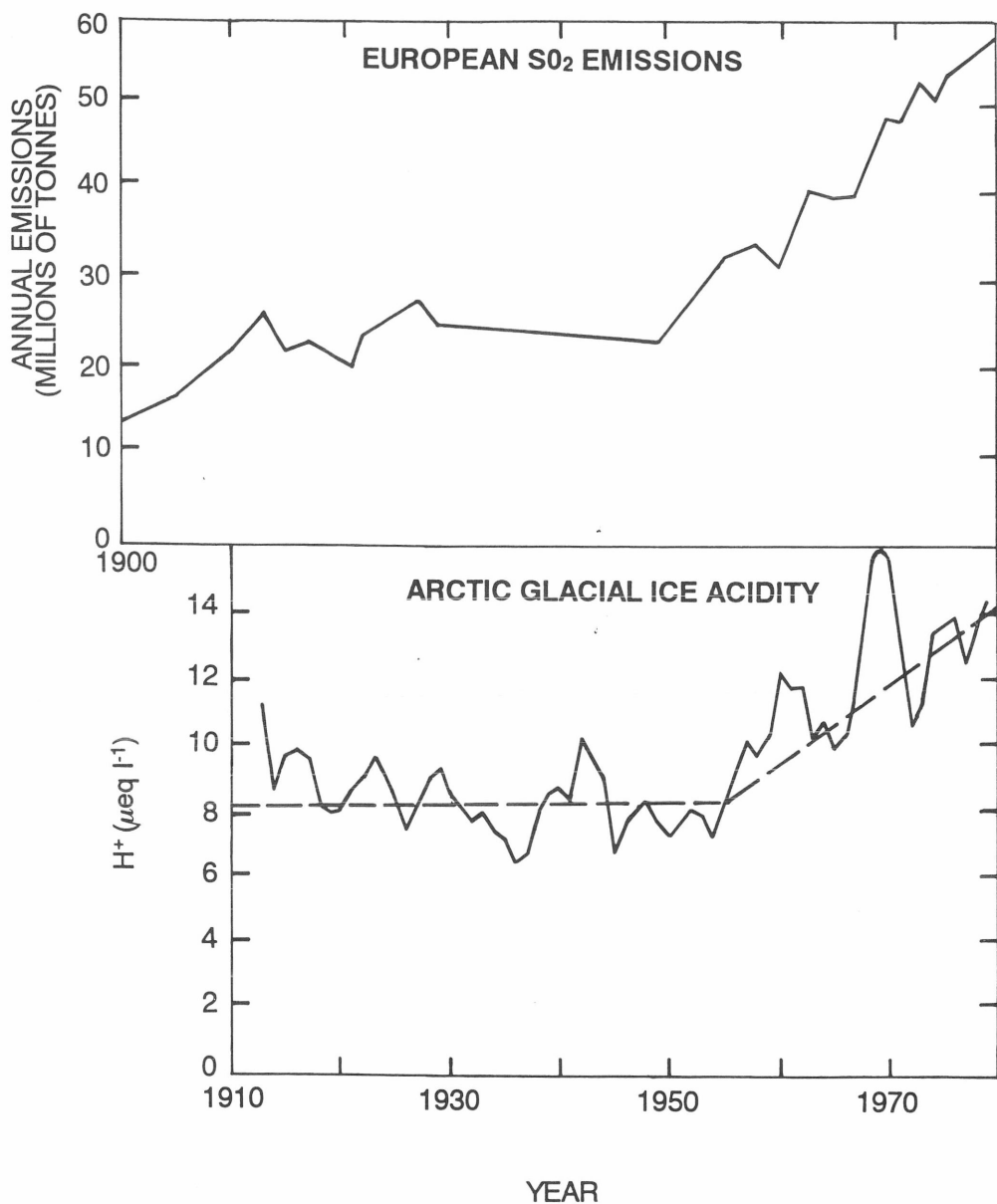


Figura 3 — La historia de la contaminación del abrume deducida a partir de la acidificación del hielo del glaciar Agassiz, en el norte de la isla Ellesmere, contrastada con la historia de las emisiones de azufre en la atmósfera de Eurasia durante este siglo (Barrie y col., 1985). Una situación similar se ha encontrado en el núcleo de los hielos de Groenlandia.

aerosoles de sulfato, en Alert, muestran que los niveles no han cambiado significativamente, reflejando el éxito de los esfuerzos europeos para controlar las emisiones de azufre en la lucha contra la lluvia ácida. Se ha logrado detener aparentemente la tendencia creciente de la bruma en el Artico que hubo desde mediados de los años 1950 hasta 1980.

En resumen, la contaminación de la bruma del Artico es el residuo de la contaminación de la lluvia ácida, formada principalmente por compuestos de azufre. Tiene una vida relativamente corta en la atmósfera, persistiendo como mucho durante un mes. Para que los norteamericanos no estén tentados de acusar a sus vecinos euroasiáticos de ser la

causa de todos los problemas medioambientales del Artico, debe resaltarse que hay otros tipos de contaminación más persistentes en la atmósfera y que por lo tanto pueden trasladarse hasta el Artico desde cualquier lugar del globo. Dos tipos importantes son la contaminación por gases de efecto invernadero y los contaminantes tóxicos (herbicidas, pesticidas y compuestos orgánicos industriales tales como los PCB) que, una vez en la atmósfera perduran durante muchos años. Es ahora cuando empezamos a estudiar los efectos de esta contaminación.

### Referencias

- B. STONEHOUSE (Ed.). 1986: *Arctic Air Pollution*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 328 pp.
- BARRIE, L.A., 1986: Arctic air pollution: an overview of current knowledge. *Atmospheric Environment*, **20**, 643-663.
- BARRIE, L.A., D. FISHER and R.M. KOERNER, 1985: Twentieth century trends in Arctic air pollution revealed by conductivity and acidity

observations in snow and ice in the Canadian high Arctic. *Atmospheric Environment*, **19**, 2055-2063.

- BARRIE, L.A., M.P. OLSON and K.K. OIKAWA, 1989: The flux of anthropogenic sulphur into the Arctic from mid-latitudes in 1979/80. *Atmospheric Environment*, **23**, 2505-2512.
- BARRIE, L.A., D. GREGOR, B. HARGRAVE, R. LAKE, D. MUIR, R. SHEARER, B. TRACEY and T. BIDDLEMAN, 1992: Arctic contaminants: sources occurrence and pathways. *Science of the Total Environment* (in press).
- BOUTRON, C.F. and U. GÖRLACH, 1990: The occurrence of heavy metals in Antarctic and Greenland ancient ice and recent snow. In: *Speciation of Metals in the Environment*. S. GUEGER (Ed.), NATO-ASI Series, Springer-Verlag.
- HOPPER, F., H. ROSS, W.T. STURGES and L.A. BARRIE, 1990: Regional source discrimination of atmospheric aerosols in Europe using the isotopic composition of lead. *Tellus*, **42** (B), 45-60.
- STURGES, W.T. and L.A. BARRIE, 1989: Stable lead isotope ratios in Arctic aerosols: evidence for the origin of Arctic air pollution. *Atmospheric Environment*, **23**, 2513-2519.

## ALGUNOS PROGRESOS RECIENTES EN LA NAVEGACION ARTICA

Por J. M. WALKER\*

### Viajes por altas latitudes

El 1 de noviembre de 1990 apareció en el diario *The Times* un anuncio destacable. Encargado por *Viajes Julio Verne*, ofrecía "la oportunidad de incorporarse al orgullo de la flota soviética ártica, el *Sovetskiy Soyuz*, para el primer intento de una travesía completa transpolar atravesando el Polo Norte desde Murmansk en la URSS hasta Nome en Alaska, seguido por la primera expedición de pasajeros a través del legendario Paso Nordeste desde Nome regresando a

Murmansk". El hecho de que las autoridades soviéticas autorizasen estos viajes era ya destacable por sí mismo pero también, como citaba el anuncio, sólo tres barcos habían alcanzado hasta la fecha el Polo Norte, todos ellos gemelos del *Sovetskiy Soyuz*. El primero en llevar turistas fue el *Rossiya*, que hizo el viaje en el verano del 1990. Con 40 pasajeros a bordo, que habían pagado cada uno la suma de 38 000 marcos alemanes, siguió aproximadamente la misma ruta que el *Arktika* en 1977, que fue el primer barco que alcanzó el Polo Norte. El *Rossiya* que se hizo a la mar

\* Lector principal del Departamento de Estudios Marítimos y Transporte Internacional, Universidad de Gales, College de Cardiff, Reino Unido.