

- SCHAEFER, V.J. (1946): The production of ice crystals in a cloud of supercooled water droplets. *Science* 104 457-459.
- SQUIRES, P. (1958): The microstructure and colloidal stability of warm clouds *Tellus* 10 256-271.
- VALL, G. and STANSBURY, E.J. (1966): Time-dependent characteristics of the heterogeneous nucleation of ice. *Can. J. Phys.* 44 477-502.
- VONNEGUT, B. (1949): Nucleation of supercooled water cloud by silver iodide smokes. *Chem. Revs.* 44 277-289.
- WEGENER, A. (1911): *Thermodynamik der Atmosphäre*. Barth, Leipzig, 331 pp.

## APLICACIONES DE LOS DATOS CLIMATOLOGICOS MARINOS

Por R. J. SHEARMAN \*

### Archivos de datos meteorológicos marinos

Una fuente importante de datos climatológicos de los océanos es el conjunto de observaciones meteorológicas cotidianas realizadas voluntariamente por los oficiales de puente de los buques mercantes. Las observaciones meteorológicas sistemáticas a bordo de los buques empezaron a hacerse a mediados del siglo pasado y son el fruto de un excelente espíritu de cooperación unido al reconocimiento de su importancia para todos los que recorren los mares. Hay muchos síntomas de que las observaciones de los buques seguirán siendo necesarias y que habrá aún mayor dependencia de estos datos para proporcionar los "datos verdaderos en el suelo" para los sistemas de teledetección.

Debido a la importancia de los datos meteorológicos marinos, hay un compromiso entre los meteorólogos sinópticos y los climatólogos para mejorar la calidad de las observaciones de los buques en el mar. El Comité SCOR/COI sobre los cambios del clima y el océano, en representación del PMIC, ha creado un Programa para el desarrollo de los sistemas de observación en el océano como una empresa común de las comunidades oceanográfica y meteorológica. Uno de sus objetivos es el perfeccionamiento de los instrumentos y de su instalación a bordo de los buques.

En los primeros días, se recopilaban los datos para su empleo climatológico, por muchas de las naciones marítimas de los buques navegando bajo su pabellón, con independencia del lugar en donde el navío estuviese. Esto daba lugar a una fragmentación de la base de datos y un meteorólogo que efectuase un estudio no podía estar seguro de que la colección de datos nacionales de la zona en cuestión fuese completa o representativa. Tampoco tenía medios de saber a qué país debía acudir para obtener más datos. Esto llevó a la Comisión de Meteorología Marina a buscar métodos para normalizar el archivo y el intercambio de dichos datos, y la rápida evolución de los ordenadores y de las bases de datos asociadas hacia fines del decenio de 1950 y principios del de 1960 actuó como un catalizador de este desarrollo. El Cuarto Congreso Meteorológico Mundial, en 1963, adoptó una resolución por la cual se designaron nueve países Miembros (más tarde reducidos a ocho),

\* Meteorological Office del Reino Unido, vicepresidente de la CMM.

como responsables de la reunión de las observaciones y de la preparación de resúmenes climatológicos marinos para zonas oceánicas determinadas (véase el mapa adjunto). Estos Miembros se comprometieron a proporcionar datos a cualquier otro Miembro a petición y con el pago solamente de los costos de extracción.

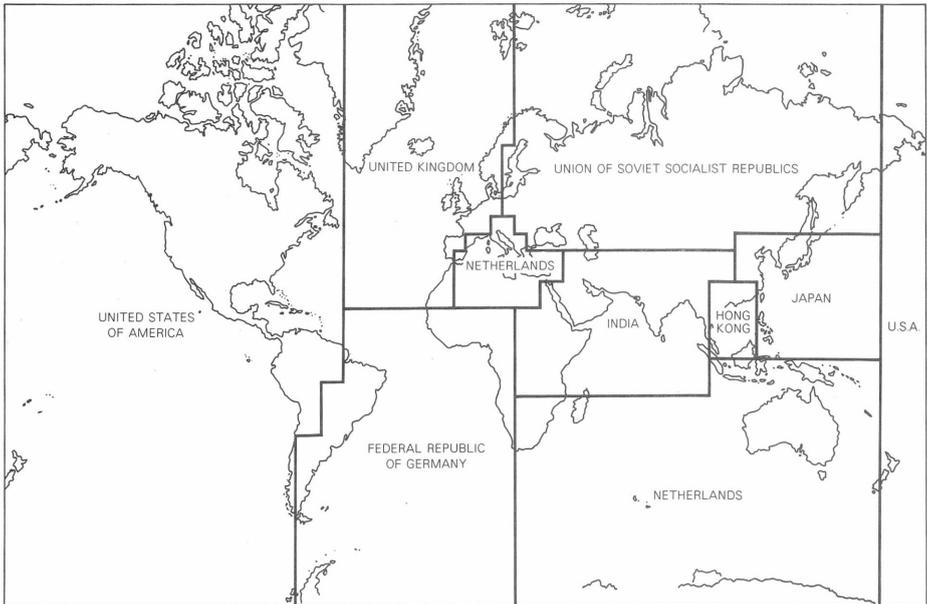


Figura 1. Areas de responsabilidad para los resúmenes climatológicos marinos.

El ímpetu inicial para el sistema de archivo e intercambio de los datos marinos vino en gran parte de la comunidad científica y de los encargados de asesorar a las pesquerías. Sin embargo, esta actividad coincidió también con un rápido desarrollo de la explotación de los depósitos de petróleo y gas natural en alta mar. Los ingenieros que diseñan estructuras que deben sobrevivir en un ambiente muy hostil necesitan datos estadísticos sobre los cuales basar sus diseños y consideran a los resúmenes climatológicos un recurso valioso y útil. Desde aquel principio muchos Miembros han establecido grupos asesores que se especializan en contestar a las preguntas de una gran variedad de clientes, usando para este fin las bases de datos marinos.

Los Miembros responsables crearon archivos de datos marinos y desarrollaron programas para su proceso y control de calidad. Para empezar, los datos fueron transferidos a tarjetas perforadas en el formato internacional aprobado para las tarjetas perforadas meteorológicas marinas. Este formato aún perdura, aunque, virtualmente, todos los intercambios se hacen ahora en cinta magnética, de modo que se ha establecido un formato suplementario internacional de cintas meteorológicas marinas, con espacio para más de 80 caracteres en cada registro, lo cual permite la inclusión de información suplementaria, tales como los indicadores de control de calidad.

La cantidad de datos es grande y la puesta al día anual puede fácilmente constar de un millón de observaciones. Si la base de datos debe ser segura, todas las contribuciones deben pasar por un proceso de control de calidad que elimina la duplicación de los datos, comprueba la posición de los buques y cuida de la integridad meteorológica de las observaciones. Cada Miembro responsable desarrolló un conjunto de métodos de control de ca-

lidad de acuerdo con estas líneas generales y, hoy día, se están trazando planes de un programa de control de calidad patrón para su empleo por los ocho centros de proceso.

Al principio se pedía a los Miembros responsables que produjesen resúmenes anuales y decenales de datos en forma tabular, para un número reducido de pequeñas subzonas y para algunos observatorios meteorológicos oceánicos comprendidas en su zona total de responsabilidad. Más tarde, las tablas fueron sustituidas por un mapa resultante, con una extensión oceánica total. La CMM estudia actualmente modos de proporcionar datos semi-compendiados en medios magnéticos compatibles con los microordenadores de uso corriente, los cuales permitirán al destinatario un campo algo mayor para el análisis que el formato publicado en la actualidad.

Aunque los buques mercantes proporcionan la mayoría de los datos meteorológicos marinos, hay otras fuentes tales como las boyas, los buques-faro, las torres y plataformas de petróleo, los buques estacionarios de vigilancia y los buques contra incendios. Algunos datos de estos orígenes son ya utilizados y los restantes probablemente lo serán en el futuro (aunque las plataformas estacionarias de observación necesitan ser identificadas y sus observaciones archivadas separadamente, para evitar una distorsión de las distribuciones de datos producidos por el análisis estadístico de los datos de los buques móviles). El programa de las marinas de la OMM (véase *Boletín de la OMM* 32 (3) pág. 270), aunque dedicado principalmente a las aplicaciones en tiempo presente, también contribuiría a la base de datos climatológicos. Los datos del valor medio estadístico de las olas, estudiados con modelos numéricos podrían aumentar la base actual de datos y podrían ser incluidos provechosamente en los convenios de intercambio. Todos estos datos estarían entonces disponibles para cualquier Miembro a petición y con el pago del modesto coste del cálculo necesario para su extracción.

### **Aplicaciones de los datos climatológicos marinos**

En estos últimos años un número creciente de individuos y de organizaciones comprometidos en actividades marinas han descubierto el valor del asesoramiento de los climatólogos marinos.

#### *Para fines de diseño*

Las inversiones de capital muy grandes en estructuras semipermanentes para la producción de petróleo y de gas natural en alta mar han tenido una influencia muy importante en el uso que se hace de los datos climatológicos. Estas estructuras deben ser diseñadas de modo que la posibilidad de un fallo sea mínima en las situaciones que es probable que se produzcan. Sin embargo, tienen una duración calculada y sería irreal diseñarlas de modo que resistiesen las peores condiciones posibles del ambiente que puedan concebiblemente producirse; tal planteamiento sería prohibitivamente costoso teniendo en cuenta que un metro extra de longitud de las columnas de una torre de extracción (lo que equivale a un metro extra de altura de olas en el proyecto), cuesta 1,5 millones de \$ EE.UU. en la región de los EE.UU. Por lo tanto, el diseñador debe establecer un compromiso y aceptar un nivel de riesgo. Típicamente, esto se hace previendo una resistencia a las condiciones ambientales extremas que tengan un período estadístico de retorno de 50 a 100 años. El climatólogo estima las llamadas extremas de diseño ajustando una función matemática adecuada a los datos disponibles y extrapolando a episodios de la rareza adecuada. Se realizan cálculos análogos con respecto al proyecto de rompeolas, malecones y puentes. El período de retorno que se vaya a usar lo decide el cliente teniendo en cuenta las consecuencias de un fallo; por ejemplo, el diseño de centrales de energía nuclear costeras exige períodos de retorno muy largos. En algunos casos, las estructuras son sensibles solamente a vientos u oleajes de cier-

tas direcciones y las extremas de diseño se estiman a partir de un subconjunto direccional de los datos (en el diagrama se muestra un ejemplo de máximos de viento de varias direcciones para una región del Mar del Norte).

Aunque las olas y el viento son los parámetros principales que deben tenerse en cuenta, también es necesario considerar factores como el engelamiento de la precipitación o de los rociones, que podrían aumentar la carga de la estructura y producir la ruina de las torres metálicas, las balizas y de otras estructuras pequeñas. La temperatura y la humedad del aire y la temperatura del mar son también importantes para diseñar sistemas de calefacción y de ventilación para la protección de equipos costosos y porque la resistencia del acero empleado en la construcción disminuye al disminuir la temperatura.

El aumento de trabajos a distancia de la costa ha hecho que un número creciente de estructuras vulnerables sea remolcado a largas distancias. Frecuentemente se pide al climatólogo marino que estime el viento más fuerte y la altura máxima de ola con períodos de retorno de diez años, a lo largo de un derrotero determinado (este periodo de retorno más pequeño es una concesión a la menor duración de exposición al peligro). Dichos derroteros pueden frecuentemente tener muchos millares de kilómetros y atravesar varios campos con diversas condiciones climáticas, de modo que representan un desafío al analista.

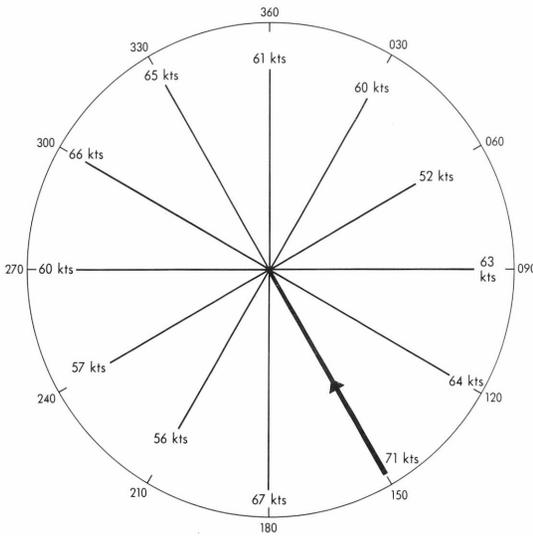


Figura 2. Velocidad máxima estimada del viento medio de diversas direcciones, que pueden experimentarse una vez en cincuenta años, en una región del Mar del Norte.

### Planificación

Los datos climatológicos pueden emplearse también para estimar lo que es posible que se produzca en un punto determinado en un momento dado del año. Muchos servicios para las compañías navieras incluyen dicha información. Puede planearse un viaje con una carga delicada para la época del año en que las condiciones sean probablemente las más adecuadas; dos ejemplos: una compañía que realiza cruceros de placer usa los datos climatológicos para elegir rutas de acuerdo con la comodidad de los pasajeros, y pueden planearse remolques a través de zonas peligrosas durante la estación en que los registros climatológicos indican que es la más tranquila.

Algunas operaciones marinas son peligrosas o totalmente imposibles, salvo dentro de ciertas situaciones meteorológicas límite. El buceo, el levantamiento de cargas muy pesadas, el montaje de grandes estructuras (plataformas de los pozos de petróleo), la colocación de tuberías y el dragado son ejemplos típicos de estas actividades. El análisis de los datos de los buques mercantes pueden dar alguna idea del tanto por ciento de horas en un mes en que el trabajo sería imposible, pero debido a que los buques están distribuidos al azar en el espacio y en la cronología, dichos datos no indican cómo se distribuyen tales períodos en el mes. Por el contrario, es posible analizar los registros continuos de los buques-faro o de otras plataformas estacionarias para obtener la frecuencia de períodos continuados de condiciones adversas de duraciones variadas. Empleando este análisis, el climatólogo puede indicar cuanto tiempo (en promedio) debe retrasarse la operación a causa del mal tiempo, durante un mes determinado. Esta información es valiosa para un contratista cuando hace una oferta para un trabajo sensible al mal tiempo, teniendo en cuenta que un remolcador de tamaño medio o una draga cuesta al contratista unos 50.000 dólares al día cuando está parado. La instalación de una plataforma petrolífera exige varios de estos navíos, junto con una gran cantidad de mano de obra especializada. Los parámetros que deben considerarse varían con la operación, pero pueden ser importantes el viento, el oleaje, la mar de fondo, la temperatura, la precipitación, la visibilidad y, a veces, la nubosidad.

Como se ha hecho evidente la naturaleza finita de las reservas de hidrocarburos, se ha dirigido más atención hacia fuentes alternativas de energía. Los datos climatológicos marinos han sido empleados para evaluar el potencial de los sistemas de conversión de la energía de las olas y del viento en alta mar.

Así el uso de los datos climatológicos marinos muy frecuentemente se debe a situaciones en donde un gasto muy grande de dinero depende substancialmente del ambiente. Pero el empleo del mar como medio de recreo está creciendo y, aunque los gastos comprometidos en él son relativamente pequeños, la posibilidad de producirse tragedias humanas es más grande. Por consiguiente, también se pide información para planear estas grandes excursiones recreativas marítimas, aunque estas actividades en general representan un trabajo mucho mayor para los predictores meteorológicos operativos.

### *Post-mortems*

Las industrias marítimas trabajan en un medio ambiente peligroso y, a pesar de todas las precauciones, aún se producen accidentes. Estos varían desde los retrasos en el cumplimiento de los plazos, o las pérdidas en la producción, hasta los daños en las estructuras y las pérdidas de vidas. Muchos de estos casos incluyen litigios y no es rara la petición de indemnizaciones que alcanzan un millón de dólares. La situación meteorológica es frecuentemente un factor importante y, a veces, la causa principal del accidente.

Muchos contratos contienen cláusulas para protegerse contra los retrasos debidos al mal tiempo, pero el pago de las indemnizaciones puede depender de una decisión sobre lo excepcional del tiempo ocurrido, en comparación con el que podría esperarse en aquella época del año. Es deber del climatólogo marino asegurar que se menciona a la meteorología como culpable, cuando es genuinamente responsable y no empleada para cubrir cualquier tipo de negligencia.

A veces los datos están dispersos y gran parte del trabajo se basa en las observaciones de los buques mercantes, ya sean obtenidos directamente del intercambio de datos, o indirectamente de mapas meteorológicos analizados en fechas anteriores. Normalmente, es suficiente un informe escrito, completo y claro, pero el climatólogo debe estar preparado para aparecer en el tribunal como testigo experto para defender y explicar sus conclusiones.

## Conclusión

El sistema de intercambio y archivo de datos meteorológicos marinos creado de acuerdo con la resolución del Cuarto Congreso ha cumplido el deseado efecto de proporcionar una base de datos para la investigación climatológica. Igualmente, se ha demostrado extremadamente útil cuando se aplica a los problemas de las industrias relacionadas con operaciones marítimas. Los climatólogos marinos han hecho programas especializados y desarrollado gran pericia que les permite analizar los datos y responder a diversas preguntas, muchas de las cuales son decisivas para proyectos que exigen desembolsos de capital muy grandes.

El trabajo de la CMM al ampliar el conjunto de datos intercambiado, incluyendo por ejemplo, los datos del valor medio estadístico de las olas y los datos climatológicos de hielos marinos, beneficiará aún más la aplicación de la climatología marina. Análogamente, iniciativas tales como el Programa de Desarrollo de Sistemas de Observación Oceánica mejorará la calidad de los datos.

## LOS FENOMENOS METEOROLOGICOS DURANTE 1985 Y SUS CONSECUENCIAS

*Ahora que está progresando el Sistema de vigilancia del clima se ha decidido cambiar la forma de este artículo que se ha publicado regularmente todos los años, desde 1968, en el Boletín de la OMM. Seguirá dividido en dos partes, pero la primera parte, que se incluye a continuación, se basará exclusivamente en los informes recibidos de los Miembros acerca de los fenómenos meteorológicos e hidrológicos ocurridos en 1985, que fueron importantes desde el punto de vista humano, social o económico. En el número de octubre se publicará un artículo que tratará del comportamiento del tiempo desde el punto de vista climatológico.*

### AFRICA

Se recibieron informes de nueve países de la Región. De ellos, Jamahiriya Árabe Libia ha informado que, durante 1985, no ha registrado ningún fenómeno meteorológico significativo.

#### *Precipitación*

**BENIN:** Lluvia abundante durante julio y agosto; la inundación del río Mono ocasionó pérdidas de vidas y daños graves en las propiedades, especialmente en Athiémé y GrandPopo.

**CAMERÚN:** Fue un año más lluvioso que 1983 y 1984 (Yacundé registró el 117 por ciento de la lluvia normal), pero fueron muy pequeñas las pérdidas de vidas por las inundaciones. Los vegetales con alto contenido en celulosa han causado algunas indigestiones en el ganado.

**KENYA:** Hubo lluvias adecuadas durante la estación de "lluvias prolongadas" (marzo-mayo), que fueron excesivas en el oeste, donde las inundaciones causaron daños a los cultivos, las casas y las carreteras.