

Basándose en la teoría de Bergeron sobre el papel que desempeñan los cristales de hielo en la formación de la precipitación, se han realizado, durante más de treinta años, experimentos de siembra de las partes sobreenfriadas de las nubes con el objeto de aumentar la cantidad de precipitación que llega al suelo.

Los cristales de hielo se pueden producir artificialmente de dos maneras. Una es introduciendo un agente que rebaje la temperatura del interior de la nube, formando así zonas de vapor de agua sobresaturado en que puedan tener lugar la condensación, la congelación espontánea de las gotitas de agua y la sublimación. La otra forma consiste en introducir en la nube sobreenfriada partículas que, en virtud de sus propiedades físico-químicas, sirvan de núcleos sobre los que se desarrollen los cristales de hielo.

Ambos métodos, el de enfriamiento y el de suministro de núcleos, tienen sus ventajas y sus limitaciones en la práctica. El primero no depende, para su eficacia, de la temperatura de la nube tanto como el otro, aparte de que es barato y no produce contaminación. Sin embargo, el efecto del segundo sigue persistiendo durante un largo período de tiempo, y el agente empleado se puede dispersar desde instalaciones en tierra o bien se puede soltar debajo de la nube y es transportado por las corrientes ascendentes hasta las zonas sobreenfriadas. Este segundo procedimiento es el que se adopta usualmente en los proyectos de modificación artificial del tiempo, y el agente más utilizado es el yoduro de plata (AgI). Se calcula que en todo el mundo se dispersan al año varias decenas de toneladas de este producto. Sin embargo, debido al elevado costo de la plata, se está tratando de encontrar agentes más baratos. Está en estudio el empleo de compuestos orgánicos como agentes productores de núcleos, pero aun no se ha resuelto el problema de hallar el procedimiento eficaz de dispersión en condiciones operativas. Se recurre a los refrigerantes cuando la temperatura de la nube sobreenfriada se aproxima a los 0°C .

El AgI (y a veces el PbI_2) se dispersa normalmente en forma de aerosol por medio de algún dispositivo pirotécnico. Se puede echar *in situ* desde un avión, o bien lanzarlo en una bengala mediante un cohete o un cañón, o también se puede producir el humo directamente en tierra. Es importante que la producción de núcleos activos sea grande. Recientemente, se ha desarrollado en la URSS un compuesto pirotécnico que contiene solamente dos por ciento de AgI , pero cuyo rendimiento no es inferior al de los generadores de acetona instalados en los aviones. Además, el agente puede introducirse con gran exactitud en la parte sobreenfriada de la nube.

Esto ha dado mayor impulso a los trabajos de supresión del granizo en la URSS, en donde existen unos 25.000 km^2 protegidos por cohetes y 40.000 km^2 por cañones.

LOS SERVICIOS METEOROLOGICOS MARINOS EN EE.UU.

Por G.A. FLITTNER*

Programa actual de servicios

De las 52 Oficinas de Predicción de que dispone el Servicio Meteorológico Nacional de la NOAA, 24 están encargadas de la predicción marina y oceanográfica, las cuales facilitan de forma permanente información y avisos de acuerdo con tres programas:

Servicios meteorológicos marinos – Su objetivo es aumentar la seguridad de la vida y la

* El Dr. Flittner es el jefe de la División de Servicios Oceánicos del Servicio Meteorológico Nacional de EE.UU. Es miembro del Grupo de Trabajo de la CMM sobre Servicios Meteorológicos Marinos.

propiedad y mejorar la eficiencia de las operaciones. La principal información que suministran consiste en asesoramiento para pequeñas embarcaciones, avisos de temporales, tormentas, huracanes y mareas de temporal, predicción del estado de la mar y del oleaje, y avisos sobre la existencia de hielo en el mar y en los lagos. Toda esta información se prepara para tres zonas: (a) alta mar, (b) zonas alejadas de la costa (hasta unos 375 km), y (c) zonas costeras (entre 25 y 150 km, según la región).

Servicios oceanográficos – Su objetivo es la colaboración con las actividades económicas en alta mar, en las aguas alejadas de la costa, a lo largo del litoral y en los Grandes Lagos. La información principal que facilitan consiste en análisis y predicción de determinados parámetros oceanográficos en ayuda de la navegación, la pesca, las perforaciones, la minería y la ingeniería en zonas alejadas de la costa y los deportes náuticos. Están en proyecto nuevos servicios en relación con la Corriente del Golfo, las corrientes superficiales, la distribución de la temperatura en la superficie y debajo de ella, y la predicción del oleaje basándose en medidas espectrales de las olas y en la información de los satélites.

Alertas de tsunami – Su objetivo es proporcionar información eficaz y en el momento oportuno sobre los tsunami (olas de marea sísmica) en los EE.UU. y a otros países del Océano Pacífico. Las 52 estaciones de medidas de mareas y sísmicas de EE.UU. y las de otros 20 países suministran datos al Centro de Alarma de Tsunami del Pacífico, en Honolulu (Hawaii), que funciona conjuntamente con el Centro Internacional de Información Tsunámica, patrocinado por la COI, el cual coordina la participación internacional y facilita información y asistencia técnica cuando es necesaria.

Procedencia de los datos de observación.

Gran variedad de plataformas suministran datos de observaciones marinas para su utilización en los trabajos de análisis y predicción.

Programa de cooperación de barcos

En este programa del Servicio Meteorológico Nacional participan alrededor de 1800 barcos mercantes, 53 cúteres de la Guardia de Costas, más de 400 buques de guerra, 30 barcos de la NOAA y otros 26 de distintas procedencias (incluyendo algunos barcos científicos de las universidades). Los barcos que se encuentran navegando deben dar cuatro partes meteorológicas al día, pero, como los mensajes se cursan a través de los sistemas de comunicaciones estatales o privados, no siempre se reciben en tiempo real en los centros de predicción.

Estaciones costeras

Se dispone de observaciones meteorológicas de unas 200 estaciones instaladas en las costas o en zonas próximas, la mayoría de las cuales pertenecen a la Guardia de Costas. Está previsto que hagan observaciones a intervalos que van de una a seis horas durante el período en que funciona la estación. Generalmente, ésta es una obligación extra del personal, cuya misión principal es la de velar por la seguridad de la navegación, por lo cual el control de la calidad de los datos viene siendo un problema. Cada vez es mayor el número de las estaciones de la Guardia de Costas que funcionan automáticamente, lo que se traduce en la necesidad de automatizar también las observaciones meteorológicas.

Estaciones automáticas

La tecnología de los sensores automatizados se emplea actualmente de tres formas:

Grandes boyas de navegación – Están a cargo de la Guardia de Costas, y van reempla-

zando a los barcos. El único parámetro que miden hasta ahora es la velocidad del viento, y los instrumentos que utilizan necesitan ser perfeccionados.

Sistemas automáticos de observación meteorológica remota (AMOS/RAMOS)— Se clasifican en sistemas que miden todos los parámetros o sólo una parte de ellos. Al término del ejercicio económico de 1980 había 42 sistemas de viento instalados en los lugares seleccionados de las costas, pero muchos de ellos son provisionales y habrá que reemplazarlos en breve. Además, se han instalado 26 estaciones AMOS/RAMOS en lugares clave en toda la costa de EE.UU. (incluyendo Alaska).

Plataformas alejadas de la costa — En una plataforma para perforación petrolífera se han instalado sensores automáticos diseñados por el Servicio Meteorológico Nacional, y otras tres recibirán en el futuro equipos RAMOS. Las principales compañías petrolíferas también instalan instrumentos y sensores en sus plataformas.

Satélites — Aunque la resolución espacial sigue siendo un problema, las observaciones desde los satélites de los parámetros meteorológicos y la temperatura de la superficie del mar sirven de complemento a las observaciones de superficie desde los barcos, e incluso con frecuencia los satélites constituyen la única fuente de información de las regiones oceánicas remotas.

Boyas de observación — Su alto coste de adquisición, unido a los complejos y costosos problemas de logística y de mantenimiento, limitan necesariamente el número de boyas oceánicas que se pueden prever. Se situarán en zonas apartadas alejadas de las rutas marítimas, así como en zonas alejadas de las costas en que es indispensable la toma continua de datos para avisar a tiempo sobre la aparición de pequeñas tormentas de movimiento rápido. Dentro de los nuevos proyectos de investigación, la NOAA se propone lanzar unas 150 boyas a la deriva durante el próximo año. Los datos obtenidos mediante tres de estos proyectos se utilizarán para fines meteorológicos operativos.

Estructura operativa

Las 24 Oficinas de Predicción del Servicio Meteorológico Nacional que tienen bajo su responsabilidad la predicción marina y de los Grandes Lagos reciben la información elaborada del CMN de Suitland (Maryland). Las transmisiones se realizan por facsímil y teletipo por línea terrestre.

Las noticias y avisos para alta mar se difunden por las Oficinas de Predicción del Servicio Meteorológico de Washington, D.C. y San Francisco. Los dirigidos a las zonas alejadas de las costas, por estas dos oficinas más las de Anchorage, Boston, Fairbanks, Honolulu, Miami y Nueva Orleans. Y las predicciones para las zonas costeras se preparan y difunden por las 24 oficinas.

Las necesidades de mano de obra para el programa son actualmente de unos 80 hombres-año, lo que representa un costo de alrededor de 4 millones de dólares EE.UU. al año. De estas cifras, 75 hombres-año y 3,8 millones de dólares son para la predicción básica y servicios de alerta, y 5 hombres-año y 800.000 dólares para las observaciones marinas básicas. Como materia de interés, el presupuesto total del Servicio Meteorológico Nacional para el ejercicio de 1980 fue de 220 millones de dólares EE.UU. aproximadamente.

Problemas actuales

Los predictores para alta mar del Servicio Meteorológico Nacional se encuentran a menudo con la falta de datos de observación importantes en momentos cruciales, especialmente de los procedentes de los barcos durante las horas de oscuridad. Al recibirse infor-

mes muy diferentes de barcos que se hallan en una misma zona, resulta difícil adivinar cuál de ellos refleja mejor las condiciones reales.

Una gran proporción de las observaciones de los barcos no llegan a las oficinas de predicción a tiempo para ser de utilidad, lo que puede ser debido a varias causas: por ejemplo, la limitación de la jornada de trabajo del radiotelegrafista, la imposibilidad de establecer contacto con la estación costera que tiene que recibir el mensaje, que las comunicaciones entre la estación costera y el CMN no sean adecuadas, o que algunos de los oficiales de los barcos no sepan apreciar lo necesarias que son sus observaciones. Otro problema es la necesidad que existe de disponer de observaciones de alta calidad de la zona costera (25-100 km de la costa). Para poder realizar correctamente las predicciones de la mar en las proximidades de la costa, en donde se concentra gran actividad de todo tipo, se requieren medidas precisas de la dirección del viento y de la velocidad y altura de las olas con resolución mucho más fina (20-50 km de retícula).

Un tercer problema se refiere a la preparación de las predicciones en las Oficinas de Predicción del Servicio Meteorológico. Debido a que se trata de un servicio de 24 horas, los funcionarios tienen turnos rotativos, y esto va en detrimento de la continuidad del conocimiento y experiencia y de la sensibilidad y mutua confianza que proporcionan el contacto constante entre el predictor y el usuario. Finalmente, los marinos solicitan más servicios y mayor precisión en las predicciones, y para cumplir estas demandas es esencial el desarrollo de mejores modelos y técnicas de predicción y análisis, lo cual implica a su vez la necesidad ya citada de mejorar la red de observación.

Planes para el futuro

Se va a emplear la nueva tecnología allí donde resulte práctica. Para el Programa de Cooperación de Barcos se confía en que con un sistema de comunicaciones via satélite se conseguirá una mejora apreciable en la recepción de datos en tiempo real, y ya están muy adelantados los estudios de ingeniería y posibilidades a este fin. Se soltarán nuevas boyas oceánicas y se establecerán nuevas plataformas de observación en lugares remotos y en aguas próximas y alejadas de la costa. Con la experiencia del SEASAT-A, se construirán nuevos sistemas de observación para los satélites, que podrán proporcionar a escala mundial medidas físicas precisas del viento en superficie, altura y espectro de olas y corrientes oceánicas —que son datos necesarios para la confección de modelos de análisis y predicción. También estos modelos se perfeccionarán.

Está proyectado centralizar los trabajos de predicción mucho más de lo que están ahora. Con ocho o nueve Unidades del Servicio Oceánico instaladas en los principales puertos de EE.UU. Se dará servicio de 24 horas, con expertos preparados para responder rápidamente por radioteléfono a los marinos que soliciten asistencia. Se espera promover las innovaciones, manteniendo la pericia y precisión en las predicciones, y reforzar las relaciones mutuas entre el predictor y el usuario.

La función principal de las Unidades del Servicio Oceánico será la de facilitar la información siguiente:

- Predicciones regionales costeras de viento y olas;
- Predicciones de la mar de viento, la mar de fondo y combinación de ambas en mar abierto;
- Predicciones de mareas de temporal y erosión de las costas;
- Campos de temperatura del océano analizados por ordenador (para la industria pesquera);
- Predicciones de vientos en la capa límite, corrientes superficiales y trayectorias que seguirán los vertidos de petróleo;
- Predicciones de nieblas costeras;
- Análisis frontales oceánicos (para la industria pesquera).

Estas Unidades dependerán de un Grupo de Servicios Oceánicos a establecer en el CMN, en el cual se reunirán los datos meteorológicos marinos y oceánicos de todo el mundo y del hemisferio, datos que serán allí recopilados, procesados, analizados e interpretados.

Se perfeccionarán los medios de difusión de la información. Se está estudiando la posibilidad de difundir (via satélites geoestacionarios) toda la información alfanumérica y/o gráfica de avisos, predicciones y mapas en bloques que aparecerían representados en la pantalla de un tubo de rayos catódicos instalado a bordo de los barcos. Para este servicio se está desarrollando un sistema en dúplex.

EL CLIMA DE ASIA Y DEL PACIFICO OCCIDENTAL

CONFERENCIA TECNICA, GUANGZHOU, DICIEMBRE DE 1980

En la ceremonia de apertura, el Sr. Xue Wei-Min, Director General en funciones de la Oficina Central de Meteorología de la República Popular de China, dió la bienvenida a un centenar de participantes procedentes de 23 países y de ocho organismos de las Naciones Unidas. El Sr. Xue se refirió a la necesidad de utilizar de una manera racional los recursos climáticos y resaltó sus importantes contribuciones potenciales a las actividades económicas de la humanidad y a la mejora del medio ambiente. Habló de los esfuerzos de los meteorólogos chinos para acelerar los progresos científicos y tecnológicos con vistas al programa de modernización de la nación, congratulándose de la oportunidad que suponía la conferencia para intercambiar ideas. En nombre del Gobierno Popular de la Provincia de Guangdong, el Sr. Ye Xuan-ping expresó su calurosa bienvenida a todos los participantes, resaltando la importancia de la conferencia para el desarrollo de las actividades climatológicas en la Provincia. El Dr. R.L. Kintanar, Presidente de la OMM, recordó los orígenes y enumeró los nuevos objetivos del Programa Mundial sobre el Clima y resaltando hasta qué punto resultaba oportuna la celebración de esta primera conferencia regional en una zona que abarca más de la mitad de la población mundial.

A lo largo de la conferencia se presentaron o fueron distribuidas 50 comunicaciones que abarcaron todos los aspectos del programa climatológico. Asimismo, cinco grupos de expertos se reunieron durante la semana que duró la conferencia con el fin de estudiar y elaborar los informes. El grupo de expertos en datos climatológicos acordó dar prioridad absoluta a la transferencia de los datos existentes a formatos apropiados para hacer posible su tratamiento mediante ordenador. También se concedió una gran importancia al control de calidad, a los centros nacionales de coordinación para todos los tipos de datos y a un sistema internacional de referencia para los datos (véase el *Boletín de la OMM* 30 (1) pág. 48). Se recomendaron las especificaciones mínimas para los ficheros de datos climatológicos y datos de satélites. El grupo de expertos sobre el clima y la alimentación llamó la atención sobre el importante papel de la agricultura, a la cual se dedica aproximadamente el 80 por ciento de la población de las regiones en cuestión. A la vista de la escalada de los precios de la energía, el grupo consideró la posibilidad de aplicar nuevos métodos para la preparación del terreno adoptando un sistema de labores restringidas, introduciendo variedades de cultivos que utilicen más eficazmente la energía fotosintética y redescubriendo los procesos naturales de desecación. En definitiva, adaptando mejor la agricultura al medio ambiente natural. Este grupo reconoció que debido a la diversidad de los climas y de los sistemas alimenticios existentes en la región, los datos, los modelos y los métodos deberán de adaptarse a cada cultivo y a cada zona específica. El grupo también propuso la ejecución de un proyecto agrometeorológico regional, así como una mejora en los intercambios de conocimientos y en la formación profesional práctica.