

Aparte de los datos necesarios para una predicción en tiempo real, los trabajos de ingeniería destinados a controlar o evitar las inundaciones necesitan las especificaciones de los criterios de diseño. Estos criterios pueden establecerse en función del peor acontecimiento de este tipo registrado en la historia, o bien haciendo una evaluación de lo que ocurriría bajo la peor combinación de las circunstancias.

Protección frente a las inundaciones

Las diversas medidas físicas incluyen la construcción de presas para el control de las inundaciones y para el embalse de las aguas, sistemas de desvío, canales ensanchados, diques de encauzamiento, barreras costeras y estabilización del terreno. Todas estas estructuras deben proyectarse de manera que puedan resistir las situaciones que se pretenden evitar.

Debe haber unos planes lógicos y detallados para las llanuras inundables y para las zonas costeras, en que se tengan en cuenta los peligros potenciales de una inundación.

Deben estudiarse cuidadosamente los planes para una emergencia eventual. Deberá poderse obtener de una forma rápida y fácil agua potable embotellada, alimentos enlatados y otros elementos indispensables. El público debe estar educado para comportarse en caso de emergencia, y deberá ser informado sobre la situación actual y su probable evolución.

Debe mantenerse un servicio fiable de avisos e información sobre inundaciones, y, en su apoyo, una red de recopilación de datos apropiada. Deberán existir unos procedimientos claros y concisos para la elaboración y transmisión de los avisos, así como unas normas de actuación en función de los mismos.

El papel del meteorólogo resulta vital. Consiste en conocer en cada momento las condiciones meteorológicas y la posible situación de inundaciones, para facilitar las predicciones del tiempo necesarias, para dar los datos básicos y el asesoramiento, y para garantizar que todo ello sea asimilado y comprendido.

SATELITES METEOROLOGICOS OPERATIVOS

*Por D.S. JOHNSON**

Las plataformas de observación meteorológica en el espacio son de dos tipos principales según su órbita. Los satélites de órbita polar están a una altitud de unos 1000 km e invierten unas dos horas en dar una vuelta a la Tierra; tras cada órbita completa la trayectoria de la astronave se desplaza 30 grados de longitud en el ecuador, cubriendo así la totalidad de la superficie terrestre cada doce horas. Los satélites geoestacionarios permanecen en una posición fija respecto a un punto de la superficie terrestre; el campo gravitatorio requiere que estas astronaves se encuentren directamente sobre el ecuador a una altitud de 36.000 km. Los satélites geoestacionarios tienen la gran ventaja de tener una visión continua de una gran parte de un hemisferio terrestre.

* El Sr. Johnson fue anteriormente director del *National Environmental Satellite Service* de la NOAA (EE.UU.).

El pionero de los que hoy día conocemos como satélites artificiales fue el *Sputnik-1* de la URSS, que fue lanzado el 4 de octubre de 1957. La primera astronave concebida específicamente para fines meteorológicos fue lanzada a una órbita polar por los EE.UU. en abril de 1960, siendo conocida por el nombre de TIROS-1 (Televisión Infrarrojo Observational Satellite), y los satélites meteorológicos operativos de órbita polar fueron introducidos en 1966. Desde 1969, la URSS está operando con la serie "Meteor" de satélites meteorológicos de órbita polar.

En cuanto a los satélites geoestacionarios, aunque a bordo del ATS-1 (Advanced Technology Satellite) lanzado por los EE.UU. en 1966 se instaló una cámara para la captación de imágenes, la primera de tales astronaves dedicada a la meteorología fue el SMS-1 (*Synchronous Meteorological Satellite*), puesto en órbita por los EE.UU. a principios de 1974 sobre el río Amazonas en apoyo del Experimento Tropical del GARP en el Atlántico. Desde entonces los EE.UU. han mantenido dos satélites meteorológicos geoestacionarios, uno localizado sobre los 75°W de longitud y el segundo sobre los



Sr. D.S. Johnson

135°W. Japón lanzó su primer satélite meteorológico geoestacionario en julio de 1977, situándolo sobre los 140°E de longitud, siguiéndole cuatro meses más tarde el METEOSAT-1 de la Agencia Espacial Europea, localizado sobre el meridiano de Greenwich. En agosto de 1983, India puso en órbita el INSAT sobre los 74°E de longitud. Así pues, en la actualidad se dispone de cinco satélites meteorológicos geoestacionarios en funcionamiento, los cuales proporcionan una cobertura continua de toda la Tierra con la excepción de las latitudes más altas.

La información obtenida mediante los satélites meteorológicos es de dos tipos básicos: imágenes de la superficie terrestre y de los sistemas nubosos sobre la misma, y medidas cuantitativas de la radiación electromagnética emitida o reflejada por la superficie de la Tierra, por la atmósfera y por las nubes. Estas medidas se realizan en numerosas longitudes de onda diferentes en los canales visible, infrarrojo y en la porción de microondas del espectro, y permiten que se hagan numerosas deducciones sobre el estado de la atmósfera y de la superficie, sobre todo en lo referente a la temperatura.

Las fotografías de las nubes se obtienen a partir de las imágenes del canal visible del espectro sobre el hemisferio diurno de la Tierra y (algunas veces con algo menos de resolución) de las imágenes infrarrojas sobre el hemisferio nocturno. Las configuraciones nubosas por sí solas dan una indicación sobre las diferentes masas de aire, y resultan especialmente valiosas para la detección y el seguimiento de la evolución de los ciclones tropicales y de las zonas de tormenta. Las secuencias de las imágenes proceden-

tes de los satélites geoestacionarios pueden interpretarse en función de las cantidades probables de precipitación con un grado de precisión útil, y los límites de las zonas cubiertas de nieve o de hielo pueden definirse con un margen de algunos kilómetros. Incluso pueden trazarse mapas de los cambios de la cobertura vegetal de la Tierra con una resolución que va desde 20 hasta un kilómetro, dependiendo de la aplicación. Además, siguiendo el desplazamiento de las nubes cada media hora mediante un satélite geoestacionario resulta posible estimar la dirección y la velocidad del viento al nivel de la nube; la precisión es del orden de 5-10 m. seg^{-1} en la atmósfera baja y de 10-20 m. seg^{-1} en los niveles altos (a unos diez kilómetros).

En lo que se refiere a los datos cuantitativos deducidos de los sondeos radiométricos, puede obtenerse la temperatura de la superficie del mar con una precisión superior a un grado Celsius; por ejemplo, resultan muy fáciles de seguir los cambios en la temperatura del mar asociados a *El Niño*. Pueden obtenerse los sondeos de temperatura de las capas atmosféricas comprendidas entre la superficie de la Tierra y unos 30 km. de altitud con una precisión de unos dos grados Celsius. Igualmente, resulta posible determinar la temperatura en la cima de una capa de nubes y a partir de este dato deducir la altura de la cima de las nubes. Sin embargo, aunque se obtengan los perfiles de la temperatura atmosférica a partir de observaciones radiométricas, y aunque resulte posible una buena precisión, aún es altamente deseable disponer de una red básica de estaciones de radiosondeos fiables, mediante los cuales se puedan confirmar y "calibrar" los valores de las temperaturas obtenidas a partir de las radiancias de los satélites.

Otra función extremadamente útil que realizan los satélites meteorológicos es la recopilación de los datos procedentes de las estaciones meteorológicas automáticas situadas en islas lejanas y en lugares inaccesibles de los continentes, así como de datos procedentes de las boyas en los océanos, de los buques y de las aeronaves. En el caso de las boyas a la deriva incluso resulta posible determinar su posición con ciertos sistemas de los satélites; estos medios también se han utilizado para el seguimiento de las plataformas automáticas de observación transportadas por los globos a nivel constante. Por último, los satélites se utilizan para retransmitir emisiones meteorológicas desde los centros principales a los centros de predicción distantes, los cuales necesitan una gran variedad de datos de observación y de datos procesados.

La vida media de funcionamiento de las actuales series de satélites de órbita polar explotados por los EE.UU. es de dos años, mientras que la duración esperada de la vida de los satélites geoestacionarios es de cinco años. A medida que se va ganando experiencia, van siendo perfeccionados aquellos elementos que se ve que son los primeros en expirar o, en algunos casos, se duplican con el fin de prolongar la vida útil de la plataforma. Algunos de los principales factores que limitan la vida de los satélites son: la cantidad de combustible que puede transportarse para la estabilización y control de la posición de la astronave; la disminución constante del rendimiento de las células solares debido al bombardeo de partículas de alta energía procedentes del sol; el número máximo de ciclos de carga-descarga que pueden soportar las baterías de acumuladores; el número máximo de veces que pueden utilizarse las bandas magnéticas para registrar las señales de los sensores antes de gastarse.

En cuanto a la contribución de los satélites meteorológicos a la seguridad ciudadana, ya se ha citado su gran utilidad para el control de las configuraciones nubosas y de los temporales. Un predictor experimentado con un apropiado equipo receptor de datos de satélites puede, con frecuencia, detectar fenómenos meteorológicos potencialmente peligrosos bastante antes de llegar al estado en que dichos fenómenos constitu-

yan un peligro inminente. Las peores catástrofes naturales ocurren ordinariamente como el resultado de alguna perturbación excepcional que llega inesperadamente y, en consecuencia, el "ojo en el cielo" que vigila la evolución del turbulento flujo atmosférico es de un valor inapreciable. Pero, por supuesto, no es bastante emitir un aviso de un peligro meteorológico inminente; el aviso debe ser transmitido con prontitud y fiabilidad a los responsables de poner en marcha un programa cuidadosamente planificado de medidas de precaución, y el público en general debe saber cuál es el peligro y qué deben hacer para protegerse a sí mismos y a sus propiedades. También debe reconocerse que, a escala local, hay otros medios de vigilancia tales como radares meteorológicos y observaciones frecuentes de superficie que juegan un papel vital.

Algunos de los peligros respecto a los cuales los satélites son de especial utilidad para elaborar avisos preventivos son:

- Ciclones tropicales (seguimiento de su desplazamiento y estimación de su intensidad);
- Temporales fuertes (su localización y estimación de su intensidad y peligro potencial de que causen inundaciones repentinas);
- Temporales en general (en las zonas con poca densidad de datos, detección de su formación, seguimiento de su desplazamiento y evolución, para la elaboración de rutas para los buques y avisos a la navegación marítima, y a las instalaciones costeras y de alta mar);
- Hielos marinos y lacustres (su detección y trazado de mapas de su extensión para las rutas y avisos para los buques);
- Control de la langosta (detección de las condiciones de temperatura y humedad del suelo favorables para la multiplicación de la langosta, de manera que la fumigación preventiva pueda realizarse oportunamente).

Además, los datos recopilados por los satélites procedentes de pluviógrafos situados en lugares poco accesibles y de estaciones hidrológicas fluviales y lacustres, pueden dar las primeras indicaciones respecto al peligro de inundaciones en las zonas inferiores del curso fluvial.

Hoy en día, la mayoría de los países del mundo utilizan los datos meteorológicos obtenidos desde el espacio. Estos datos se llevan en tiempo real al SMT, y los datos emitidos por los satélites pueden recibirse directamente, mientras que la astronave está en la línea de mira, por cualquier estación receptora adecuada. Hay pequeñas unidades receptoras, baratas, que fundamentalmente se utilizan para la recepción de imágenes en baja resolución; más de 1000 estaciones de este tipo funcionan en más de 100 países. Luego hay estaciones más sofisticadas capaces de recibir imágenes en alta resolución así como datos cuantitativos.

Está claro que las plataformas de observación situadas en el espacio son de una incalculable ayuda para los servicios meteorológicos de todo el mundo. Sin embargo, su lanzamiento y explotación resulta extremadamente caro y sólo está al alcance de unos pocos países. Por ello, es de suma importancia que haya una coordinación estrecha entre los explotadores de los satélites y entre ellos y los usuarios de los datos de los satélites. El actuar como punto focal en este contexto corresponde fundamentalmente a la OMM, y la Organización cubre ampliamente este papel a través del Grupo de expertos sobre satélites del Consejo Ejecutivo. Además, la OMM ha servido para ayudar a los países en desarrollo en la adquisición de estaciones receptoras y para que su personal tenga la necesaria formación profesional, de manera que estos países saquen el máximo rendimiento de este nuevo tipo de datos.

En menos de dos decenios la comunidad meteorológica ha pasado a depender en gran medida de los datos y servicios ofrecidos por los satélites meteorológicos. Estos constituyen un elemento esencial del SMO y, de hecho, la climatología de los datos de los satélites ha adquirido una importancia única en la investigación. Será a través de la continua planificación al amparo de la OMM que los Miembros tengan asegurado que este inapreciable servicio se mantenga y sea continuamente mejorado en los años venideros.

INVESTIGACION SOBRE *EL NIÑO*

(El presente artículo es un resumen de una conferencia científica pronunciada en la trigésimosexta reunión del Consejo Ejecutivo (1984) por el Dr. Klaus Wyrтки, Profesor de Oceanografía de la Universidad de Hawai, EE.UU.)

Para el Profesor Wyrтки el problema central del fenómeno *El Niño* /Oscilación del Sur era el comprender cómo el océano relativamente inerte y la veloz y turbulenta atmósfera actuaban entre sí para producir variaciones en el sistema climático. La Oscilación del Sur es la principal fluctuación de la atmósfera tropical, con una escala cronológica de algunos años, y constituye un medio básico del intercambio interanual de masas atmosféricas entre las altas presiones de la Isla de Pascua y el sistema de bajas presiones indonesias. *El Niño* es la respuesta oceánica principal, en la cual una gran masa de agua se desplaza hacia el este a lo largo del Ecuador. En condiciones normales los alisios del sureste arrastran el agua caliente superficial del Océano Pacífico hacia el oeste, dando lugar a un nivel más alto del mar en el Pacífico Occidental ecuatorial que en la costa Sudamericana (inmediatamente antes del episodio de *El Niño* de 1972 el nivel del mar en las Islas Salomón era de unos diez centímetros sobre el valor normal, mientras que en las Islas Galápagos estaba cinco centímetros por debajo). *El Niño* se produce cuando se debilitan los vientos alisios y el frente de agua caliente del oeste avanza hacia el este en la forma de ondas ecuatoriales de Kelvin con velocidad de unas $0,75 \text{ ms}^{-1}$.

Se ha demostrado que un manantial de calor en la atmósfera, situado sobre el Ecuador, da lugar a una configuración característica de circulación anómala en el aire superior; se producen células alternadas de circulación ciclónica y anticiclónica a lo largo de círculos máximos desde el foco de calor hacia las latitudes más elevadas y todo ello afecta a la circulación a baja altura y a las condiciones meteorológicas globalmente. La configuración distintiva de estas anomalías lleva a una "teleconexión" aparente de las anomalías del tiempo y del clima en puntos alejados del manantial térmico. Sin embargo, la configuración de la distribución depende de la situación del manantial de calor respecto a la circulación media, de modo que las teleconexiones son sensibles a las desviaciones en longitud del manantial ecuatorial de calor, lo que puede explicar por qué la respuesta atmosférica global a *El Niño* cambia de una vez a la siguiente. Hay pocas dudas de que el manantial térmico atmosférico se encuentra sobre la zona de agua más caliente, pero necesitamos saber qué es lo que determina la situación y movimiento de esta última. Se están haciendo y ensayando modelos numéricos que presentan las relaciones observadas en un contexto dinámico y termodinámico; una explicación posible es la aparición de condiciones especiales de resonancia entre las ondas Kelvin atmosféricas y la advección oceánica.