

- La retrasmisión de los mensajes a los puntos de contacto nacionales, en la mayoría de los casos, tuvo lugar inmediatamente después de la recepción, y llegaron a las personas designadas en minutos, dependiendo de las disposiciones nacionales. En algunos casos, se informó de retrasos de horas para aquellos tramos de la cadena de transmisión debido a la falta de experiencia en las responsabilidades y estructuras establecidas recientemente a nivel nacional.

En resumen, las pruebas demostraron que el SMT era un medio muy eficaz para notificar los hechos de interés mundial de una manera puntual.

Además de demostrar la capacidad de transmisión del SMT y de interacción con la OIEA y sus puntos de contacto a nivel nacional, estas pruebas revelaron la necesidad de sistemas contra falsas alarmas, puesto que éstas tendrían ciertamente consecuencias indeseables, dada la velocidad de transmisión y la sensibilidad pública ante este tema. De hecho, se puso de manifiesto claramente la sensibilidad pública cuando una copia de uno de los mensajes, aunque con un retraso de una semana y claramente identificable como una prueba con un hipotético contenido, se filtró a los canales de información pública y produjo reacciones nerviosas en los medios de comunicación. Otro incidente provino de la inserción no autorizada de un mensaje de comprobación interna en el SMT. Aunque este mensaje no era ni inteligible ni tenía un formato correcto, fue rápidamente transmitido a través del sistema hasta los puntos de contacto nacionales, demostrando así la rapidez del SMT, pero también su incapacidad para identificar falsas alarmas.

En consecuencia, la OIEA y la OMM están tomando medidas para: (a) permitir verificar rápidamente la información relativa a accidentes nucleares, y (b) evitar la inserción inadvertida de dichos mensajes en el SMT o cualquier uso indebido del sistema. En el futuro se realizarán más pruebas que permitan asegurar la rapidez del sistema y estudiar distintas cuestiones técnicas y de procedimiento y la interacción entre los centros SMT y los puntos de contacto nacionales de la OIEA.

EL EXPERIMENTO MUNDIAL DE LA ENERGIA Y DEL CICLO DEL AGUA (GEWEX)

Introducción

La presencia del agua en sus tres fases es un factor singular del medio circundante de la Tierra. El agua es esencial para el funcionamiento de la máquina térmica atmosférica, para el moldeo químico de la superficie de la Tierra y ciertamente para la vida misma. Las nubes controlan el albedo planetario y la radiación solar que llega a la superficie. La entrada de agua dulce a latitudes elevadas es una fuente importante de flotabilidad que modula la circulación oceánica profunda. El arrastre de productos químicos por la precipitación es uno de los principales procesos de limpieza de nuestro medio ambiente. En relación con su efecto sobre la humanidad, la precipitación y la disponibilidad de agua dulce, son los elementos más importantes del tiempo y del clima.

No obstante, cuantitativamente sabemos muy poco en la actualidad acerca de los balances global y regional de agua y de energía y la adquisición de estas bases vitales de datos climatológicos es necesaria para ulteriores progresos en la predicción mundial del tiempo y del clima, siendo igualmente un paso necesario para el estudio de los cambios del medio ambiente mundial. Apoyándose en los avances tecnológicos que se espera serán realizados

por las poderosas y nuevas infraestructuras de la era de las estaciones espaciales y de ordenadores aún más rápidos, el experimento mundial de la energía y el ciclo del agua (GEWEX) es una iniciativa patrocinada por el Programa Mundial de Investigación Climática para dirigir este problema, mediante una combinación de nuevos sistemas de observación y modelos numéricos mundiales atmósfera - océano - tierra.

Bases científicas

La clave de todos los problemas del clima es la redistribución de la energía del Sol sobre la Tierra y sus pérdidas en el espacio. La redistribución meridional muy efectiva de calor por el transporte atmosférico del vapor de agua y por los giros de los océanos refrenan intensamente la circulación atmosférica y limitan la intensidad de los vientos, haciendo habitable la superficie de la Tierra. El ciclo hidrológico mundial está íntimamente relacionado con los aspectos más fundamentales del sistema energético de la Tierra. Mientras el balance de la energía mundial está caracterizado por los grandes intercambios de radiación con el espacio, la Tierra es un sistema cerrado con respecto al agua. El período de permanencia de las moléculas de agua es, por término medio, de una semana en la atmósfera, de varias semanas a un año en forma de humedad en el suelo, de algunas semanas en la vegetación terrestre, de años en la capa superior de mezcla del océano, quizá de cientos de años en los acuíferos terrestres y de millares de años en las capas de hielo de la Antártida y Groenlandia. No obstante, la parte de agua dulce terrestre que es fácilmente accesible a los seres humanos y al ecosistema terrestre es sólo una mínima parte del total y tiene un período relativamente breve de permanencia.

Así los componentes de ciclo del agua, importantes para la raza humana, son muy variados y las incertidumbres presentes referentes a su distribución geográfica y cronológica son aún inadmisiblemente grandes. Las discrepancias típicas entre diferentes valoraciones de la precipitación neta menos la evaporación, promediadas sobre un continente tienen un valor de dos o más. Tanto como un tercio de la escorrentía continental total puede ser llevada por pequeños ríos no aforados y, por tanto, no se incluye en el balance. No obstante, hay una evidencia geológica y aún histórica clara de cambios notables en el régimen hidrológico; por ejemplo, la zona subtropical, que ahora tiene un clima árido, fue completamente húmeda al principio del Holoceno, hace unos 6000 a 9000 años. Con todas sus imperfecciones, recientes simulaciones con modelos del clima terrestre con una concentración duplicada del anhídrido carbónico indican un calentamiento medio mundial de 4K en superficie y un aumento entre un 7 y un 11 por ciento de la precipitación total media. Se predice que aumentará la evaporación, lo que causará una disminución de la humedad del suelo en las zonas centrales de los continentes. Establecer estas predicciones sobre bases científicas firmes es el objetivo central del GEWEX.

Objetivos del GEWEX

El GEWEX incluirá en un solo programa coordinado todos los aspectos que van desde el desarrollo de modelos y asimilación de datos hasta el despliegue y el funcionamiento de sistemas de observación apropiados. Los propósitos han sido resumidos como sigue:

- Determinar el ciclo hidrológico y los flujos de energía por medio de medidas globales de propiedades observables de la atmósfera y la superficie.
- Modelizar el ciclo hidrológico mundial y sus impactos sobre la atmósfera y los océanos.
- Desarrollar la pericia para predecir las variaciones mundial y regionales de los procesos hidrológicos y de los recursos hídricos y sus respuestas a los cambios del medio ambiente.

- Fomentar el desarrollo de técnicas de observación y de sistemas de gestión y asimilación de datos adecuados para la aplicación operativa a la predicción del tiempo a largo plazo, y la predicción hidrológica y del clima.

Estrategia científica

Tomando el Programa de Investigación Mundial de la Atmósfera, en particular su Experimento Meteorológico Mundial como ejemplo, el GEWEX estudiará la fiabilidad de modelos comprensivos del flujo atmosférico mundial y de los procesos en la parte superior de los océanos y en la superficie de la Tierra. Ciertamente, habrá algún programa de desarrollo de algún potente modelo numérico dirigido a ampliar el conjunto de procesos físicos y químicos interactivos tenidos en cuenta en las simulaciones del clima atmosférico, especialmente en lo referente a los intercambios a través de la superficie aire-mar y aire-tierra. Dichos modelos de clima (o modelos de PNT modificados adecuadamente) deben jugar un papel central en el análisis de los datos del GEWEX. El GEWEX requiere determinar magnitudes sutiles, tales como los flujos en superficie de calor y humedad, que no se pueden medir directamente y solamente pueden ser deducidos de variables atmosféricas y terrestres (u oceánicas) medibles, mediante un modelo. La recuperación de información geofísica de datos teledidos y de otros datos se volverá inextricablemente complicada con el proceso de asimilación de datos tetradimensionales. Se necesita desarrollar técnicas para extraer información de las observaciones del estado de la atmósfera, tales como el ritmo de la precipitación y los flujos de radiación o de calor latente. El establecer estos sistemas de asimilación y determinar la dependencia de los productos del análisis de las hipótesis implícitamente introducidas en aquéllos son desafíos formidables.

El GEWEX no puede separarse de los progresos de la predicción del tiempo mundial, ya sea en el desarrollo de modelos o en las exigencias de observación. En particular se da gran preferencia a las medidas del viento tropical. Serán esenciales mejores medidas de la precipitación y la escorrentía globales para cerrar el balance de agua dulce, así como determinaciones precisas de los flujos de radiación, para cerrar el balance de la energía. La posibilidad de explorar las superficies de la tierra y la capa límite atmosférica (esta última con una resolución vertical mucho mejor que la que se obtiene con las técnicas radiométricas pasivas actuales) ayudará a determinar los flujos de energía y agua en superficie. Sobre los océanos la determinación de la diferencia neta entre la evaporación y la precipitación requerirá un muestreo espacio-cronológico muy perfeccionado del campo de la salinidad.

Un objetivo central de las actividades de modelización será mejorar la formulación de los procesos en la capa límite atmosférica y en la superficie (o próximos a la superficie) en el terreno y en el mar. Un problema importante será integrar los procesos en superficie y de aguas subterráneas a la escala de una cuenca hidrológica en modelos mundiales plenamente interactivos tierra-atmósfera. Análogamente los procesos tierra-superficie deben ser incluidos en modelos operativos asimilando las observaciones meteorológicas en la superficie terrestre. Debido a la gran influencia de la vegetación sobre la evapotranspiración y la sensibilidad recíproca del crecimiento de las plantas a la tensión del agua, este problema difícilmente puede ser separado del de modelizar la vegetación terrestre mundial. A este respecto el GEWEX será un paso importante en el estudio del sistema interactivo mundial geosfera-biosfera.

Estrategia para desarrollar el sistema de observación

El funcionamiento efectivo y el ulterior desarrollo de los actuales sistemas operativos de observación y de gestión de datos, tales como la VMM y el SGISO, es esencial para la

investigación sistemática de los fenómenos a largo plazo asociados con cambios mundiales. Es evidente, sin embargo, que las limitaciones o deficiencias inherentes a los sistemas actuales son tales que no podrán ser alcanzados los objetivos científicos del GEWEX usando solamente estos sistemas. En particular serán necesarias las posibilidades mejoradas de los satélites de observación de la Tierra, que aumentarán con los esperados avances tecnológicos del decenio venidero.

Sistemas operativos con base en superficie y con base en el espacio

Las observaciones desde la superficie de magnitudes meteorológicas e hidrológicas fundamentales, hechas por unas 7500 estaciones meteorológicas sinópticas, 1000 estaciones climatológicas y unas 1000-2000 estaciones de aforo de ríos, constituyen una base esencial para la vigilancia del clima. Aunque sería útil añadir más estaciones a esta red la necesidad esencial es de estabilidad a largo plazo y del libre intercambio internacional de la información climatológica, que en la actualidad está restringida principalmente a los usuarios y archivos nacionales.

Las observaciones en superficie hechas por buques de observación voluntaria y la medida del desplazamiento de las nubes por medio de los satélites meteorológicos geoestacionarios proporcionan la mayor parte de los datos de viento sobre los océanos. Se espera un mejoramiento mediante la retransmisión de los informes de los buques por satélite y de equipos aún mejores a bordo de la próxima generación de satélites geoestacionarios. La introducción de dispersómetros de microondas para medir el viento en diversas plataformas satelitarias desde 1990 proporcionará información de los vientos en superficie sobre los océanos del mundo. No obstante, quedarán importantes vacíos en el muestreo vertical del campo de vientos, especialmente en la zona tropical.

Igualmente, los datos tridimensionales de temperatura y humedad seguirán siendo proporcionados por los radiosondas y por sondeadores perfeccionados pasivos de temperatura (tales como la Unidad Perfeccionada de Sondeo con Microondas) en los satélites de órbita polar. Debido a limitaciones prácticas y físicas no es probable que se mejoren substancialmente ni la adaptación geográfica de la red de radiosondas, ni la resolución/exactitud de los datos derivados de los satélites existentes para la baja troposfera.

Nuevos sensores de satélites

Además de los sensores meteorológicos ya transportados por los satélites de órbita polar, el GEWEX necesitará el despliegue en una órbita baja de la Tierra de cuatro equipos de instrumentos para medir:

Vientos troposféricos.

Precipitación.

Nubes y flujos de radiación.

Propiedades de la superficie y cercanas a la superficie.

Durante los años 1995-2000 ningún sistema de observación con un solo satélite parece capaz de cumplir todos los requisitos de los datos de viento para la predicción del tiempo y la investigación del medio ambiente mundial. Sólo una combinación de sondeos aerológicos y de observaciones desde el espacio usando sensores de ambos tipos, pasivos y activos, podría conseguir este resultado. La novedad más prometedora podría ser la de instrumentos Lidar-Doppler para perfiles, que se estudian en EE.UU., semejantes a las sondas Láser para el viento atmosférico (LAWS). La máxima prioridad en su despliegue sería

para cubrir la zona tropical, entre los 30° N y los 30° S, en donde las medidas del viento deben tener una mayor densidad que la que es posible actualmente.

Ni los programas actuales para estimar la precipitación, ni los perfeccionamientos planeados que se basan en la radiometría pasiva de microondas pueden satisfacer las exigencias del GEWEX de tener datos cuantitativos de precipitación, especialmente porque es necesaria una resolución vertical para distinguir la precipitación que llega al suelo de la precipitación que se evapora y de la que se acumula formando nubes de agua sin llegar al suelo. Esta información sólo puede ser proporcionada por las medidas con un radar activo de precipitación, a bordo de una nave espacial en órbita baja. Las medidas de dispersión de microondas desde un satélite en órbita baja y las medidas de la radiancia infrarroja desde satélites geostacionarios podrán ser usadas para proporcionar una información cualitativa acerca de las configuraciones de la precipitación sobre todo el globo, con un adecuado muestreo espacial y cronológico. Validar los métodos de teledetección frente a las medidas *in situ* es un objetivo técnico esencial del GEWEX.

Con objeto de medir los componentes del balance planetario de radiación en la cima de la atmósfera y deducir la radiación neta en la superficie de la Tierra, el GEWEX requerirá una combinación de medidas de la radiación terrestre en la banda ancha calibrada con precisión, desde varias naves espaciales en órbita baja (semejantes a la red orbital para el Experimento del Balance de Radiación de la Tierra) con una determinación simultánea de la distribución tridimensional de las nubes, incluyendo la altura de la base de las nubes. La principal nueva instalación instrumental en satélites para este fin sería un lidar sondeador del nadir, semejante al Sondeador y Altimetro Atmosférico Lidar (LASA), que se estudia en EE.UU., o el lidar de sondeo por retrodifusión (ATLID), que se estudia en la Agencia Espacial Europea.

Se necesita una resolución vertical mucho mejor de temperatura y humedad para determinar la estructura termodinámica tridimensional de la troposfera inferior y de la capa límite. Esto tiene por objeto determinar estimaciones más fiables de los flujos de energía y agua en la superficie de la Tierra. Una mejora importante se espera de los sondeadores atmosféricos pasivos de gran resolución espectral que están actualmente en desarrollo, y de los lidars operando en un modo de absorción diferencial. Además, es muy prometedora la teledetección de la humedad superficial del suelo empleando radiómetros de microondas de baja frecuencia y radares.

Requisitos de los sistemas de observación espacial

Los planes del GEWEX deben conseguir una óptima compatibilidad con los planes que ya existen para el desarrollo de una nueva generación de plataformas de órbita polar y de satélites con misiones cuasi ecuatoriales. El sistema de observación preferido por el GEWEX debiera incluir:

Una o más plataformas polares transportando solo o combinado el siguiente complemento instrumental:

- Un equipo de instrumentos meteorológicos básicos, incluyendo dispersómetro de viento.
- Un equipo de medida de la precipitación, incluyendo un radiómetro de microondas de frecuencias múltiples y un radar de lluvia.
- Un equipo que mida la altimetría de las nubes y la radiación de la Tierra, incluyendo un lidar de retrodifusión.
- Un equipo de sensores de la superficie y de la capa límite, incluyendo un sondeador lidar de absorción diferencial y un sondeador radiométrico pasivo de gran resolución espectral y un instrumento de imágenes de microondas de baja frecuencia.

Una plataforma poco inclinada respecto al Ecuador (que puede estar en la órbita de la Estación Espacial), transportando el siguiente núcleo de instrumentos:

- Radiómetros de imágenes en luz visible e infrarroja.
- Un equipo de medidas del viento, incluyendo un lidar Doppler.
- Un equipo para la medida de la precipitación, incluyendo un radiómetro de microondas de frecuencias múltiples y un radar de lluvia.
- Un equipo para la medida de la radiación de la Tierra.

Calendario del Experimento

La fase de observación activa del GEWEX se piensa que empezará en los años 1995-2000. Su factibilidad depende de la esperada irrupción de la aplicación de métodos activos de la teledetección en la nueva generación de poderosas plataformas espaciales. La oportunidad del GEWEX es debida a la concurrencia de estos desarrollos técnicos con un actual interés generalizado por el estudio del cambio climático mundial, así como en la creciente capacidad para procesar grandes conjuntos de datos numéricos. La preparación y los planes para el GEWEX pueden empezar inmediatamente, edificándose sobre las actuales actividades científicas. Aunque habrá problemas difíciles la tarea es factible y el ambiente está maduro para abordarlo.

T. K.

Programa de publicaciones de la OMM sobre el GEWEX:

Space systems possibilities for a Global Energy and Water Cycle Experiment. PMC-137; OMM/TD - N° 180 (1987), (Posibilidades de sistemas espaciales para un Experimento Mundial de Energía y Ciclo del Agua).

Concept of the Global Energy and Water Cycle Experiment. PMIC-5; OMM/TD - N° 215 (1988). (Idea del Experimento mundial de energía y ciclo del agua).

ORDENADORES PORTATILES PARA LOS OBSERVADORES METEOROLOGICOS

Por Leif BERGMAN*

Introducción

El Instituto Meteorológico e Hidrológico sueco (SMHI) tiene a 260 observadores que realizan observaciones meteorológicas sinópticas y contrata a otros 700 para recopilar los datos climatológicos de todo el país. Además de las estaciones de observación con personal hay una red creciente de plataformas meteorológicas automáticas.

Cuando los datos de las observaciones son recopilados mediante distintas etapas manuales hay un considerable riesgo de error. Por consiguiente, el SMHI inició, en 1983, un proyecto denominado ManDAT (Manual Data Acquisition Terminal) (Terminal manual para la adquisición de datos), con el doble propósito de introducir una comprobación automática de los errores de observación en origen, y acelerar al máximo la transmisión de los partes a través de la red telefónica conmutada, reduciendo a la vez los costos. En mayo de 1983 se pidieron cincuenta terminales de sobremesa con su software y se pusieron en funcionamiento durante 1984 y 1985.

* División Técnica, Instituto Meteorológico e Hidrológico sueco.