

# TELECOMUNICACION METEOROLOGICA POR SATELITES

## INFORME SOBRE LA EXPERIENCIA WEFAX

por DAVID W. HOLMES

La experiencia sobre facsímil meteorológico (WEFAX), que comenzó el 14 de diciembre de 1966, tiene por objeto estudiar la posibilidad práctica de transmitir datos meteorológicos, directamente desde un centro y por medio de un satélite de comunicaciones, a estaciones meteorológicas remotas y diseminadas. El experimento es supervisado conjuntamente por la Administración de los servicios de ciencias del medio ambiente (Environmental Science Services Administration — ESSA), por el Centro nacional de satélites (National Environmental Satellite Center — NESc), por la Administración nacional de aeronáutica y del espacio (National Aeronautics and Space Administration — NASA) y por el Centro Goddard de vuelos espaciales (Goddard Space Flight Center — GSFC). El satélite de tecnología aplicada (ATS-1) se emplea para retransmitir los datos meteorológicos a estaciones terrestres equipadas para recibir las señales APT enviadas por los satélites ESSA y NIMBUS. Las estaciones receptoras que cooperan en el experimento están situadas sobre una zona que se extiende desde la costa este de los Estados Unidos hasta Australia y Japón.

Este experimento tiende a desarrollar un método que pueda formar parte del sistema mundial de telecomunicaciones de la Vigilancia meteorológica mundial y que suministre los diferentes tipos de datos requeridos por los centros meteorológicos en un mínimo de tiempo.

Uno de los objetivos del experimento WEFAX consiste en determinar la posibilidad de transmitir datos meteorológicos elaborados en formatos de facsímil para que puedan ser registrados por las estaciones terrestres APT existentes. Estas transmisiones consisten en fotografías seleccionadas de capas nubosas tomadas por una cámara experimental de exploración ajustada a la rotación del satélite ATS-1, y en fotografías seleccionadas del satélite ESSA y mosaicos fotográficos elaborados por medio de un computador en el NESc.

El uso del equipo de comunicación del vehículo espacial ATS-1 permite la transmisión de datos desde un servicio central a todas las estaciones APT que se encuentren al alcance de la recepción por radio desde el satélite. Los datos que llegan al NESc y al Centro meteorológico mundial (CMM) de Washington, D. C., se transmiten en forma de facsímil a la estación terrestre ATS de Mojave, California, desde donde son reenviadas al satélite por medio del transmisor de enlace. El repetidor VHF situado a bordo del vehículo espacial retransmite los datos en un formato según el modelo del sistema APT. El centro operativo WEFAX, que es una estación terrestre móvil situada en Mojave, está provisto de equipo para la transmisión de datos y es capaz de suministrar

---

*Nota del Redactor-Jefe:* Este artículo es una recopilación del informe de planificación número 23 de la VMM, titulado *WEFAX - A weather data communication experiment*, ejemplares del cual pueden obtenerse gratis del Secretariado de la OMM mientras haya existencias. El autor, David W. Holmes, es un veterano funcionario del National Environmental Satellite Center, Washington, D. C.

una valoración en circuito cerrado de las transmisiones WEFAX en ambas direcciones, o sea, hacia y desde el satélite.

El contenido de las transmisiones WEFAX es de tipo experimental y varía a lo largo de la experiencia. Algunas de las modificaciones afectan a los tipos, escalas y proyecciones de los mapas meteorológicos y a la difusión de informes adicionales durante situaciones sinópticas especiales, como tormentas tropicales. Los períodos de transmisión de WEFAX varían, ya que las horas de transmisión deben ser compartidas con otros programas experimentales que usan los servicios del satélite. Sin embargo, se puede hacer un número suficiente de operaciones para calcular en forma completa todas las variables posibles del estudio emprendido, al mismo tiempo que se suministra información útil a las estaciones APT.

#### *Descripción del sistema.*

Mapas meteorológicos, fotografías de capas de nubes y otros datos meteorológicos elaborados en el CMM o en el NESG se transmiten a Mojave vía facsímil. Los materiales elaborados por medio de las calculadoras del NESG se presentan como fotografías ESSA 3 y 5 en forma de valores de coordenadas y mosaicos de fotografías elaborados según un formato APT.

La información numérica procedente del calculador (bien sea de cuadrícula o de mosaico) se traduce a forma analógica con objeto de transmitirla o grabarla. El resultado es una imagen de un entramado de  $800 \times 800$  puntos en formato APT con una cuadrícula superpuesta donde están impresos los meridianos y paralelos, así como el perfil de las costas. Los datos del codificador de facsímil se transmiten a Mojave en forma APT a través de línea telefónica de 3 kHz especialmente preparada para su transmisión al satélite ATS.

Los datos que envía la cámara exploradora ajustada a la rotación del satélite se reciben en Mojave y se convierten en negativos fotográficos por medio de un revelador especial. El negativo se inserta manualmente, junto con la cuadrícula superpuesta, en la sección del registrador fotográfico donde es sometido al barrido de exploración. La célula móvil de exploración está provista de un dispositivo de enfoque (zooming) de mando electrónico que permite seleccionar secciones específicas del positivo y ampliarlas para su transmisión.

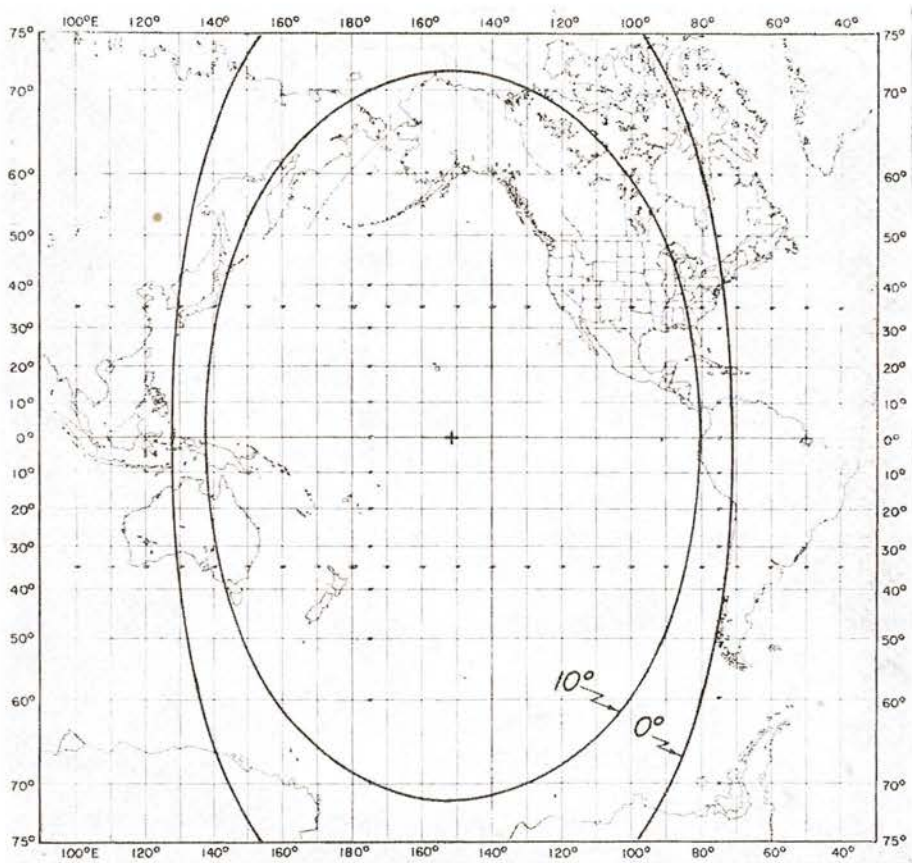
La señal de salida de la célula de exploración está dispuesta en un formato compatible con las características de los registradores APT de las estaciones terrestres.

#### *El satélite ATS-I.*

El satélite espacial estabilizado por rotación ATS-I está colocado sobre una órbita sincronizada con el movimiento de la tierra (a una altitud de 19.300 millas náuticas) a  $151^\circ$  por encima del ecuador. Como el sentido de la órbita es hacia el este, por encima del ecuador, con un período de 24 horas, el satélite se mueve con la misma dirección y velocidad angular que la tierra y, por tanto, aparece para el observador situado en la superficie terrestre como si permaneciese inmóvil en el cielo. Con el uso del ATS se demuestra la posibilidad de emplear un tipo de satélites colocados en órbita sincrónica con la de la tierra como emisores y receptores de comunicaciones.

El vehículo espacial ATS-1 es portador de los siguientes dispositivos utilizados en el experimento WEFAX:

*Sistema de comunicaciones sobre microondas.*—El sistema de comunicaciones por microondas está destinado para recibir (desde tierra al satélite) en frecuencias de 6301 a 6313 MHz y para transmitir (desde el vehículo a tierra) en frecuencias de 4195 a 4120 MHz. Las antenas de trasmisión y recepción, así



Area de recepción de las imágenes transmitidas por el satélite ATS-1, con ayuda del sist. WEFAX.

como los amplificadores de potencia de salida se utilizan en la comunicación duplex para suministrar un sistema capaz de recibir y encauzar cualquier tipo de tráfico o de comunicaciones que requieran banda ancha. Los datos de la cámara exploradora giratoria se transmiten desde el satélite a Mojave a través del enlace de microondas.

*Sistema de comunicaciones VHF.*—El sistema de comunicaciones VHF emplea un método rápido de desplazamiento de frecuencia. Este sistema se usa para demostrar la posibilidad de varias aplicaciones en las que es necesario operar

en las bandas de muy alta frecuencia. El sistema de antena direccional de fase se conecta eléctricamente para emitir un haz constantemente dirigido hacia la tierra.

*Cámara exploradora ajustada a la rotación del satélite.*—Esta cámara está diseñada para tomar fotografías de las capas de nubes en una vasta zona de la tierra situada dentro del campo visual del satélite. La cámara emplea un objetivo focal replegado de 10 pulgadas para recibir la imagen de la tierra en una válvula fotomultiplicadora a través de una abertura puntiforme. El enfoque de la imagen en dirección oeste-este se consigue gracias al giro estabilizador del vehículo espacial. Un movimiento mecánico escalonado del conjunto de la cámara, sincronizado con la velocidad de giro, asegura la exploración vertical. Una fotografía completa se obtiene, aproximadamente, en veinte minutos.

#### *Estaciones receptoras WEFAX.*

El equipo APT usado por las estaciones terrestres para recibir fotografías transmitidas directamente desde los vehículos espaciales NIMBUS y ESSA, puede recibir las transmisiones WEFAX, siempre que hayan sido modificadas dichas estaciones para captar la frecuencia ATS-1, que es de 135,60 MH0). En la mayoría de los casos la única modificación necesaria es añadirles un cuarzo apropiado correspondiente a esta frecuencia.

Se ha remitido una guía, redactada a petición de los participantes en el experimento WEFAX, a todas las estaciones terrestres APT interesadas. La guía incluye un diagrama superponible para hallar el azimut y la elevación que permite a cada estación enfocar sus antenas para recibir las señales enviadas por el satélite. Los horarios de transmisiones WEFAX por ATS-1 se comunican diariamente por circuitos de teletipos.

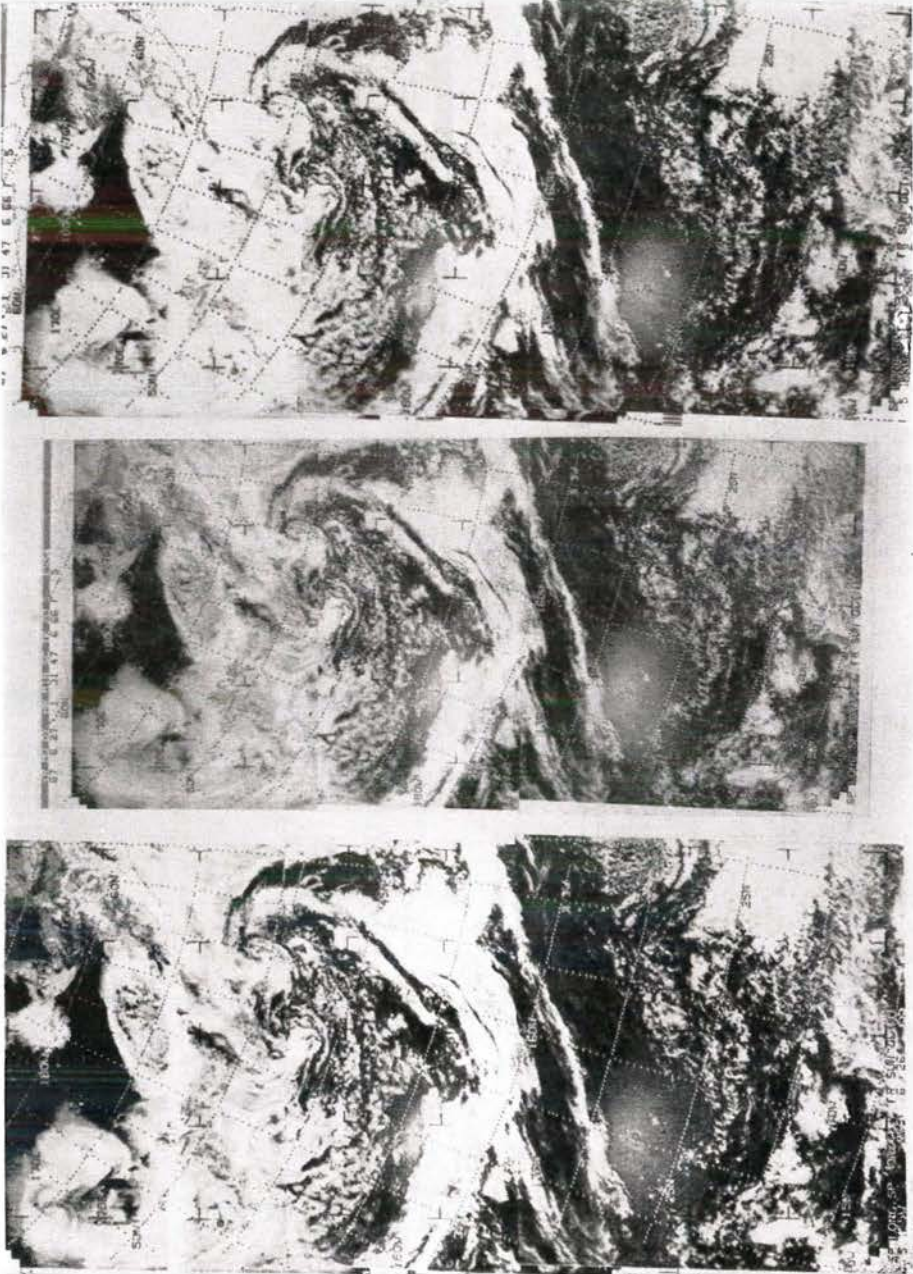
#### *Datos.*

Se transmiten mapas de ensayo, mapas meteorológicos y fotografías entre los cuales figuran varios tipos de mapas enviados por el CMM, fotografías de NIMBUS y ESSA exploradas por equipo facsímil, datos fotográficos ESSA 3 y ESSA 5 AVCS preparados en formato digital APT cuadrículado, y mosaicos de fotografías ESSA 3 y 5 de varias zonas del Pacífico. Además, las fotografías de nubes recibidas de la cámara exploradora giratoria se retransmiten desde Mojave por facsímil y las transmisiones experimentales de fotografías de la cámara de exploración, elaboradas por medio de un computador, se transmiten desde el GSFC y el NESG.

#### *Evaluación.*

Las estaciones APT que cooperan voluntariamente en el experimento reúnen muestras de mapas y de fotografías con las que elaboran informes diarios y mensuales de evaluación para períodos especificados. Ya que estos informes constituyen la fuente primaria de datos para valorar el experimento, no puede ser subestimada la importancia de la misión confiada a las estaciones participantes.

La falta de uniformidad del equipo receptor, de los ángulos de antenas, de los tipos de materiales disponibles, etc., no permiten utilizar con objetividad un criterio único de valoración de la recepción para todas las estaciones receptoras terrestres. Sin embargo, en un intento para mantener dentro de lo posible la mayor similitud en los cálculos individuales subjetivos de la legibili-



Mosaico de imágenes del hemisferio Norte captadas por el ESSA-5 y recibidas (de izquierda a derecha) en Melbourne, Toronto y Papeete.

dad y de la calidad de los datos, las estaciones participantes han establecido los criterios siguientes:

	<i>Legibilidad de los datos</i>	<i>Calidad</i>
Excelentes . . .	100 % de los datos.	Menos del 10 % de imperfecciones.
Muy buenos . . .	Al menos el 90 % de los datos.	Menos del 30 % de imperfecciones.
Buenos . . . . .	Al menos el 70 % de los datos.	Menos del 40 % de imperfecciones.
Mediocres . . .	Al menos el 50 % de los datos.	Menos del 50 % de imperfecciones.
Inaceptable . . .	Menos del 40 % de los datos.	Más de 75 % de imperfecciones.

La clasificación aplicada sería la máxima que satisficiera *ambos* criterios.

En diciembre de 1966 se hicieron comprobaciones técnicas del equipo, las líneas de comunicación fueron puestas en orden de trabajo y todos los procedimientos operativos fueron activados y ensayados en condiciones normales y de emergencia. Se realizaron ensayos de trasmisión de mapas meteorológicos y de fotografías realizados con cámaras exploradoras ajustadas a la rotación del satélite, usando las estaciones receptoras de Mojave y del GSFC con objeto de obtener los datos preliminares indispensables antes de empezar la experiencia propiamente dicha. Un ensayo de transmisiones WEFAX de mapas meteorológicos empezó el 14 de diciembre de 1966. La recepción de estas transmisiones ha sido registrada por estaciones APT situadas en Australia, Canadá, zona del Canal, Guam, Japón, Nueva Zelanda, Tahití, Haway, Luisiana, Maryland, Montana, Dakota del Sur, Tennessee, Texas y Washington.

Durante 1967, 27 diferentes estaciones terrestres APT recibieron y clasificaron un total de 3.810 mapas meteorológicos y 1.176 fotografías de nubes procedentes de la cámara exploradora, y la valoración de 317 recepciones de mapas de ensayo WEFAX dio resultados muy alentadores. El 65 por 100 de todos los mapas recibidos fueron clasificados como *excelentes* o *buenos* y solamente un 5 por 100 fueron clasificados como *inservibles*. El 69 por 100 de las fotografías de nubes captadas por la cámara exploradora fueron consideradas como *excelentes* o *buenas* y sólo un 6 por 100 fueron clasificadas como *inadecuadas* para su uso. Estos primeros cálculos fueron hechos por las estaciones participantes, de las cuales más del 70 por 100 tenían un ángulo de elevación de la antena receptora menor de 30°. Resulta también alentador comprobar que estas estadísticas de recepción fueron calculadas en estaciones que sufrieron interferencias locales al menos durante el 50 por 100 del período de recepción y chocaron con problemas derivados de la relación señal + ruido al menos durante el 20 por 100 de las recepciones. Los comentarios de los usuarios indicaron que durante el primer mes de trabajo regular el experimento WEFAX fue muy satisfactorio.

En el mes de febrero prosiguió por las estaciones participantes la recepción de mapas y fotografías excelentes o utilizables. Durante el mes sólo fueron clasificados 1837 mapas, pero el número de fotografías elaboradas fué más del doble de las del mes anterior, con 2.407 fotografías recibidas y clasificadas.

Se hicieron ensayos de transmisión de fotografías de nubes por medio del vehículo espacial usando una señal video registrada sobre banda magnética obtenida de datos numéricos. Aún en estos ensayos preliminares, este sistema dio pruebas de ser muy superior al método explorador de facsímil. El 16 de febrero de 1967 se añadieron al programa WEFAX fotografías de nubes del satélite ESSA 3 y las reacciones de las estaciones indican que tales transmisiones deberían continuar.

Durante el mes de marzo, y a pesar de que interferencias de ruido debidas a la señal de modulación por efecto de la rotación del satélite, empezaron a afectar a las recepciones WEFAX, se recibieron por las estaciones participantes, fotografías de satélites y mapas meteorológicos buenos y utilizables. Más del 70 por 100 de los 3.416 mapas y fotografías presentados por 22 estaciones participantes fueron clasificados como excelentes o buenos, y menos del 5 por 100 fueron clasificados como inservibles. Ensayos de transmisiones adicionales de fotografías elaboradas por procesos numéricos de la cámara exploradora ATS-1 mostraron que este método es muy superior al de transmisión de imágenes elaboradas fotográficamente. Se están tomando las medidas para afinar más los métodos numéricos. Se han recibido muchos comentarios favorables acerca de la transmisión de fotografías captadas por el ESSA 3 AVCS de la zona del Pacífico y elaboradas numéricamente.

Los resultados de la transmisión WEFAX para abril y mayo de 1967 fueron muy similares a los de meses precedentes. La recepción continuó siendo muy buena, con menos del 5 por 100 de las fotografías y de los mapas clasificados como inservibles y más del 70 por 100 como excelentes o buenas.

#### *Conclusiones.*

La buena calidad de recepción en todas las estaciones participantes demuestra la posibilidad de transmitir mapas meteorológicos desde un centro meteorológico a través de un satélite sincronizado con la tierra a estaciones receptoras muy diseminadas, y aún a aquellas provistas de antenas con ángulos de elevación tan pequeños como 3°; puede asegurarse una recepción útil en más del 90 por 100 de los casos. Más del 70 por 100 de las recepciones tendrán al menos el 90 por 100 de los datos originales y menos del 30 por 100 serán imperfectas usando el equipo actual APT de estaciones terrestres. Por eso es obvio, que un sistema así podría ser incorporado en el futuro a la Vigilancia meteorológica mundial.

## **PREDICCIÓN HIDROLÓGICA**

### **SIMPOSIO EN AUSTRALIA**

El inmenso valor económico de la predicción hidrológica, cuando se aplica por ejemplo al caudal de un río, y la necesidad de emplear diferentes técnicas de predicción, de acuerdo con las distintas condiciones climatológicas e hidrológicas, hizo pensar en la necesidad de organizar coloquios sobre la predicción hidrológica en varias partes del mundo y durante el transcurso del Decenio hidrológico internacional. Otro factor que guiaba este propósito fue el