

LOS SATELITES METEOROLOGICOS DE EE. UU. Y SU EVOLUCION

por William NORDBERG

Primeras series de satélites meteorológicos

La primera serie de satélites meteorológicos estuvo dedicada a la identificación y seguimiento, día a día, de fenómenos meteorológicos individualizables, tales como ciclones, sistemas frontales y corrientes en chorro, a escala mundial y sinóptica. Las observaciones consistían, al principio, en la fotografía de las masa nubosas con cámaras de televisión, durante las horas de sol, las cuales fueron suplementadas más tarde, con radiómetros infrarrojos, para hacer observaciones de nubes también durante las horas de oscuridad. Estas observaciones han sido muy útiles para las previsiones meteorológicas a breve plazo (dos a tres días). La identificación y seguimiento de los individuos meteorológicos mediante la representación a escala mundial de las masas nubosas, empezó experimentalmente con el TIROS I en 1960.

En la serie de nueve satélites lanzados, desde el TIROS I en 1960 hasta el TIROS IX en 1965, el equipo técnico a bordo de los satélites, al igual que los métodos de elaboración y transmisión de los datos fueron perfeccionándose sucesivamente, de modo que al final se obtenían diariamente fotografías de nubes —durante las horas de sol— de todo el mundo. En febrero de 1966, el lanzamiento del ESSA I inició la serie de satélites operativos TIROS (programa TOS) que empezaron a efectuar fotografías de nubes sobre toda la Tierra de modo rutinario para la ESSA (Administración de los servicios de la ciencia ambiental de EE. UU.).

Apenas iniciado el programa TIROS se hizo evidente que la instalación de elementos para la observación nocturna de nubes, como el radiómetro infrarrojo de gran definición (HRIR) así como la del equipo APT (para la «transmisión automática de fotografías») que había de enviar a tierra las fotografías de las nubes a las instalaciones locales distribuidas por el mundo, necesitaban una nave espacial mayor y más adaptable que el TIROS. Tales naves espaciales debían, además, contener aparatos no consagrados necesariamente al seguimiento de los sistemas nubosos sino al estudio de los muchos fenómenos todavía mal conocidos, que se sabe tienen una gran influencia sobre la atmósfera. Por ejemplo, la observación de la distribución sobre la Tierra del flujo neto de radiación, es decir, de la diferencia entre la energía absorbida a partir de la radiación solar incidente y la energía emitida por radiación de la superficie y de la atmósfera terrestres; tales medidas habían sido ya hechas desde el EXPLORER VII, lanzado en octubre de 1959 (Weinstein y Suomi, 1961) y con los TIROS. También desde estos últimos

NOTA: William NORDBERG es el subdirector del Laboratorio de Ciencias biológicas y atmosféricas de la N. A. S. A. (Administración nacional de la Aeronáutica y el espacio de EE. UU.).

se habían efectuado mediciones radiométricas para deducir de ellas la circulación estratosférica, la distribución general del vapor de agua en la atmósfera y la temperatura de la superficie terrestre. Para realizar todas estas medidas y tener en cuenta su desarrollo continuo y futuras ampliaciones se inició, en 1960, el estudio del proyecto de naves espaciales NIMBUS. Esta fue una decisión extremadamente importante, ya que permitió organizar adecuadamente la instalación de un sistema práctico de observaciones ba-

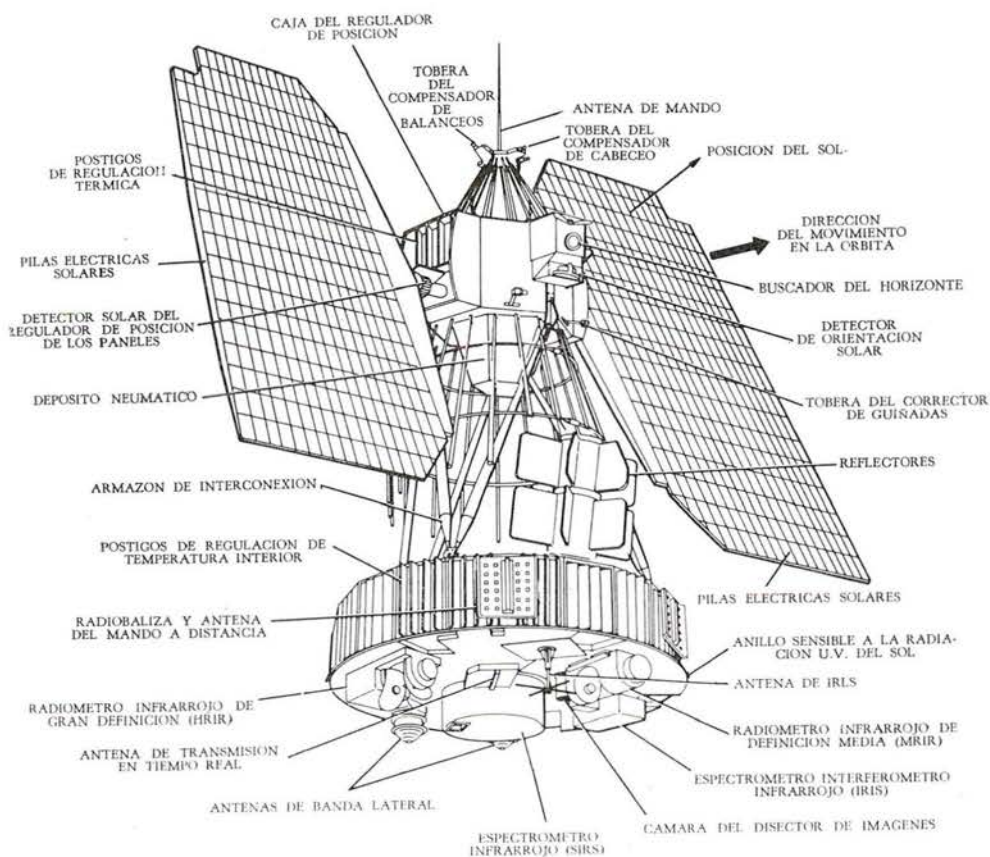


Figura 1.—La nave espacial NIMBUS III.

sado en los TIROS, mientras los NIMBUS proporcionaban las posibilidades y el espacio necesarios para realizar investigaciones científicas y perfeccionar los elementos sensibles y los métodos de trabajo, lo que podría constituir, en caso necesario, la base de una *segunda generación* del sistema de observaciones prácticas. De este modo se eliminaron las interferencias entre los métodos de obtención de fotografías de nubes, necesitadas urgentemente en los Centros de Previsión y los proyectos de desarrollo de métodos de observación más perfeccionados, para los cuales fue proyectado el NIMBUS como un observatorio meteorológico espacioso y adaptable.

Un defecto del programa TOS (satélites de operación Tiros) en la observación de nubes no podía ser remediado con el NIMBUS: el descubrimiento de fenómenos meteorológicos de poca duración, como una tormenta de cierta intensidad, exigen observaciones continuas de una región, durante varias horas consecutivas; estas observaciones son posibles solamente con naves espaciales situadas en órbitas estacionarias respecto al suelo; por ejemplo, a una altitud de unos 37.000 km aproximadamente. Desde una de estas órbitas no sólo se pueden observar de un modo continuo los fenómenos transitorios de dimensiones reducidas, sino que se pueden rastrear las formaciones nubosas a escala sinóptica muy eficazmente, de modo que en circunstancias apropiadas se pueden hacer medidas de viento. Con este propósito se instalaron fotómetros registradores de dos satélites de aplicaciones técnicas (ATS) de la NASA, de modo que cada satélite suministraba fotografías, durante las horas de sol, de la capa nubosa extendida sobre un tercio de la superficie terrestre (McQuain, 1967). El primer ATS fue lanzado en diciembre de 1966 y, centrado sobre el océano Pacífico, transmite cada veinte minutos una fotografía del *disco* terrestre. El otro, ATS III, fue lanzado en noviembre de 1967 y transmite, con ritmo análogo, fotografías en color de la región atlántica (Warnecke y Sunderlin, 1967). Al revés que los TIROS y los NIMBUS, los ATS no fueron proyectados específicamente para hacer observaciones meteorológicas y efectúan otros tipos de medidas con otros fines; sin embargo, desempeñan un papel importante en el programa de satélites meteorológicos de la NASA y sus observaciones de la capa nubosa cubren un objetivo que no podría ser alcanzado con los satélites TIROS o NIMBUS.

A continuación estudiaremos con más detalles el proyecto de los NIMBUS, a causa de la gran capacidad de estas naves espaciales para efectuar mediciones meteorológicas especiales y debido al gran efecto que las observaciones correspondientes pueden tener en el desarrollo del Programa de Investigación Global de la Atmósfera (GARP).

NIMBUS, una serie de observatorios meteorológicos mundiales

Un mismo proyecto de nave espacial, bastante evolucionado y complejo, se empleó en los seis satélites NIMBUS previstos (figura 1); dos de ellos han sido ya lanzados al espacio; otros dos están en preparación para ser botados en 1969 y 1970, respectivamente; y otros dos más están siendo estudiados para su lanzamiento después de 1971.

El proyecto de base de las naves comprende un generador espacial, capaz de suministrar 200 vatios de potencia eléctrica a los diversos aparatos de medida; un armazón preparado para recibir gran número de equipos experimentales de medida, los cuales pueden ser apuntados hacia la Tierra en cualquier momento, con un error de puntería de 1 grado, aproximadamente; un ambiente cerrado a temperatura regular y estable, necesaria para el buen funcionamiento de los equipos; un sistema colector de datos, que puede recoger y almacenar de mil millones a un billón de cifras en código binario (llamadas bits, abreviatura de *binary digits*) durante cada vuelta, y de transmitir las al suelo mientras pasan sobre Alaska, pudiendo también transmitir continuamente una cantidad menor de datos. El proyecto NIMBUS exigía

también que se observasen prácticamente todos los puntos del globo terrestre al menos dos veces cada veinticuatro horas, siempre a la misma hora local, lo que se ha conseguido colocando a la nave espacial en una órbita *sincrónica con el Sol*, a unos 1.100 km de altitud, inclinando el plano de la órbita 98,7 grados respecto al Ecuador y dando a aquél un movimiento de precesión alrededor del eje de la Tierra sincronizado con la revolución de ésta alrededor del Sol; de este modo la orientación del plano de la órbita relativamente al Sol permanece esencialmente constante y el satélite cruza el ecuador siempre a mediodía y a medianoche.

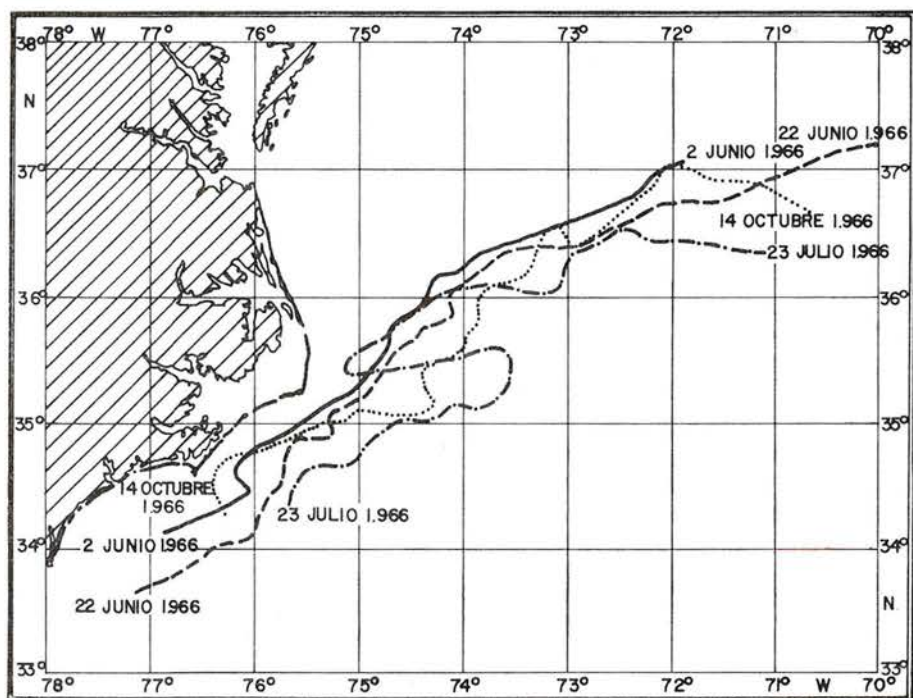


Figura 2.—Situación del límite de la corriente del Golfo, deducida de las mediciones efectuadas con el HRIR del «Nimbus II», desde junio a octubre de 1966. (Según Warnecke y otros, 1967)

Aunque el proyecto básico del NIMBUS es el mismo para las seis naves espaciales (figura 1), muchos de los equipos de instrumentos alojados en ellas se han perfeccionado de unas a otras, para dar una exactitud y fiabilidad mayores o, lo que es más importante, para poder instalar un complemento variable y siempre en aumento, de instrumentos de observación.

Las dos primeras naves, lanzadas en agosto de 1964 (NIMBUS I) y en mayo de 1966 (NIMBUS II), transportaban instrumentos que permitían:

- a. Comprobar las mejoras obtenidas al hacer observaciones diurnas de nubes con instrumentos de gran poder separador;
- b. Comprobar la posibilidad de observar las nubes con gran detalle;
- c. Transmitir imágenes de la capa nubosa al suelo, tanto de día como de noche, a radio-receptores locales;

- d. Registrar la radiación telúrica emitida, y la radiación solar reflejada, en diversas bandas espectrales.

Los elementos sensibles eran :

- a. Un conjunto de tres cámaras de televisión y un inscriptor de cinta magnética, que recibió el nombre de AVCS —sistema perfeccionado de cámaras vidicon— para la fotografía de nubes durante las horas de sol;
- b. Un radiómetro infrarrojo con gran poder separador (HRIR), para obtener un mapa de la radiación térmica (infrarroja) emitida en la banda de 3,4 a 4,2 micras, por la cima de las nubes o por la superficie de la Tierra. En el NIMBUS II estos mapas eran transmitidos también mediante el sistema APT;
- c. Una cámara tomavistas adicional de televisión para transmitir fotografías de nubes durante el día, mediante el sistema APT, a receptores sencillos, económicos y, frecuentemente, de *construcción casera*.
- d. Un radiómetro infrarrojo de cinco canales, de no muy gran definición (MRIR), para obtener mapas de la radiación térmica emitida por el vapor de agua atmosférico, o por los cirros, en la banda de 6,4 a 6,9 μ ; por el CO₂ contenido en la base de la estratosfera entre las 14 y 16 μ ; por los copetes nubosos o por la superficie terrestre en la banda de 10,5 a 11,5 μ , y por la superficie de la Tierra así como por la atmósfera, entre las 5 y las 30 μ . El quinto canal se empleaba para hacer mapas de la radiación solar reflejada en la banda comprendida entre las 0,2 y las 4,0 μ . Este instrumento fue instalado solamente a bordo del NIMBUS II.

El NIMBUS I envió observaciones que cubrían casi todo el Globo cada veinticuatro horas, con los dispositivos AVCS y APT y cada doce horas con el sistema HRIR. Estas observaciones cesaron cuatro semanas después del lanzamiento, a causa de que se averiaron los motores que movían los planos con las pilas solares generadoras de la energía eléctrica. Con el NIMBUS II se recibieron observaciones con el AVCS desde el 15 de mayo hasta el 31 de agosto de 1966. Las observaciones del HRIR almacenadas durante cada órbita y retransmitidas a la estación principal de recogida de datos en Alaska, así como también las transmitidas directamente a través del equipo APT a todo el mundo, duraron desde el 15 de mayo al 15 de noviembre de 1966. El MRIR suministró mapas a escala mundial de la intensidad de radiación en los cinco canales, desde el 15 de mayo hasta el 28 de julio del mismo año. En todos los casos, el cese de las observaciones fue debido a averías definitivas en los inscriptores en cinta magnética asociados a cada equipo. En cuanto a las fotografías de nubes durante las horas de sol, tomadas con la cámara de televisión del sistema APT, por ser éste independiente de cualquier inscriptor magnético, han sido transmitidas por todo el mundo a unos doscientos receptores durante casi dos años.

Las observaciones del HRIR demostraron que no solamente podían ser observadas las masas nubosas en su conjunto, durante la noche, con un poder separador de 8 km, sino también que se podía deducir la altura de las nubes a partir de las temperaturas medidas de sus cimas. De este modo, el HRIR producía por las noches mapas de nubes *en tres dimensio-*

nes, que no eran obtenibles con las cámaras de televisión. En el canal de 10,5 a 11,5 μ del MRIR también se obtuvieron mapas de capas nubosas y de altitudes, lo mismo por el día que por la noche, pero con una definición mucho menor —distancia mínima 50 km—. Basado en estos procedimientos se instalará un radiómetro explorador de gran poder separador en la banda de 11 μ en los ESSA, *segunda versión* de los TIROS (sistema TOS) para obtener mapas de la capa nubosa de día y de noche y para la transmisión continua mediante el sistema APT.

Un nuevo e importante enfoque del análisis de configuraciones sinópticas meteorológicas quedó demostrado mediante el análisis simultáneo de los resultados obtenidos con los canales 10,5/11,5 μ y 6,4/6,9 μ del MRIR (Nordberg y colab., 1966). Los contrastes de humedad y de nubosidad entre estos canales pueden interpretarse como el resultado de movimientos verticales de grandes dimensiones y de la actividad dinámica del aire. La trayectoria de las corrientes en chorro, con aire ascendente del lado ecuatorial y subsidente del lado polar del núcleo de la corriente, puede ser establecida notablemente bien.

En las regiones despejadas, el mapa de temperaturas de la superficie de la Tierra proporcionado por el HRIR tuvo una precisión suficiente para poder señalar los márgenes de las corrientes oceánicas (figura 2).

El análisis de las medidas combinadas de los canales de 5 a 30 μ y de 0,2 a 4,0 μ con el canal de 14 a 16 μ del MRIR en el NIMBUS II suministró un conocimiento muy completo y valioso de dos fenómenos atmosféricos importantes: la distribución en toda la Tierra del flujo neto de energía radiante a través del límite superior de la atmósfera (Raschke y Pasternak, 1967) y la morfología de la circulación en la zona inferior de la estratosfera (Warnecke y McCulloch, 1967). En las figuras 3 y 4 se presentan ejemplos de estos análisis.

Sondeos atmosféricos con los NIMBUS III y IV

La experimentación efectuada con los NIMBUS I y II estuvo consagrada exclusivamente a mejorar la representación sinóptica de los fenómenos meteorológicos o a realizar medidas atmosféricas de interés científico general. Por otra parte, el éxito de los modelos matemáticos de la circulación general, que se ha puesto de moda gracias a la disponibilidad de las calculadoras electrónicas ultrarrápidas de gran capacidad, presenta actualmente unas exigencias completamente distintas de las observaciones efectuables por satélites meteorológicos: se pide la descripción a escala mundial de las masas atmosféricas y de los campos de vientos a diversas alturas, ya que si se pudiese obtener esta descripción, podría ser empleada matemáticamente como el estado inicial de la atmósfera, a partir del cual sería factible obtener mediante la calculadora electrónica, su estado futuro. De este modo podrían volverse factibles previsiones meteorológicas matemáticas, posiblemente con un período de validez de hasta dos semanas.

Desgraciadamente, el único parámetro útil que se presta actualmente a ser medido desde los satélites es la variación de la temperatura con la altura, en la troposfera y estratosfera baja, y aún estas medidas pueden ser afectadas gravemente por una capa nubosa variable de punto a punto; sin

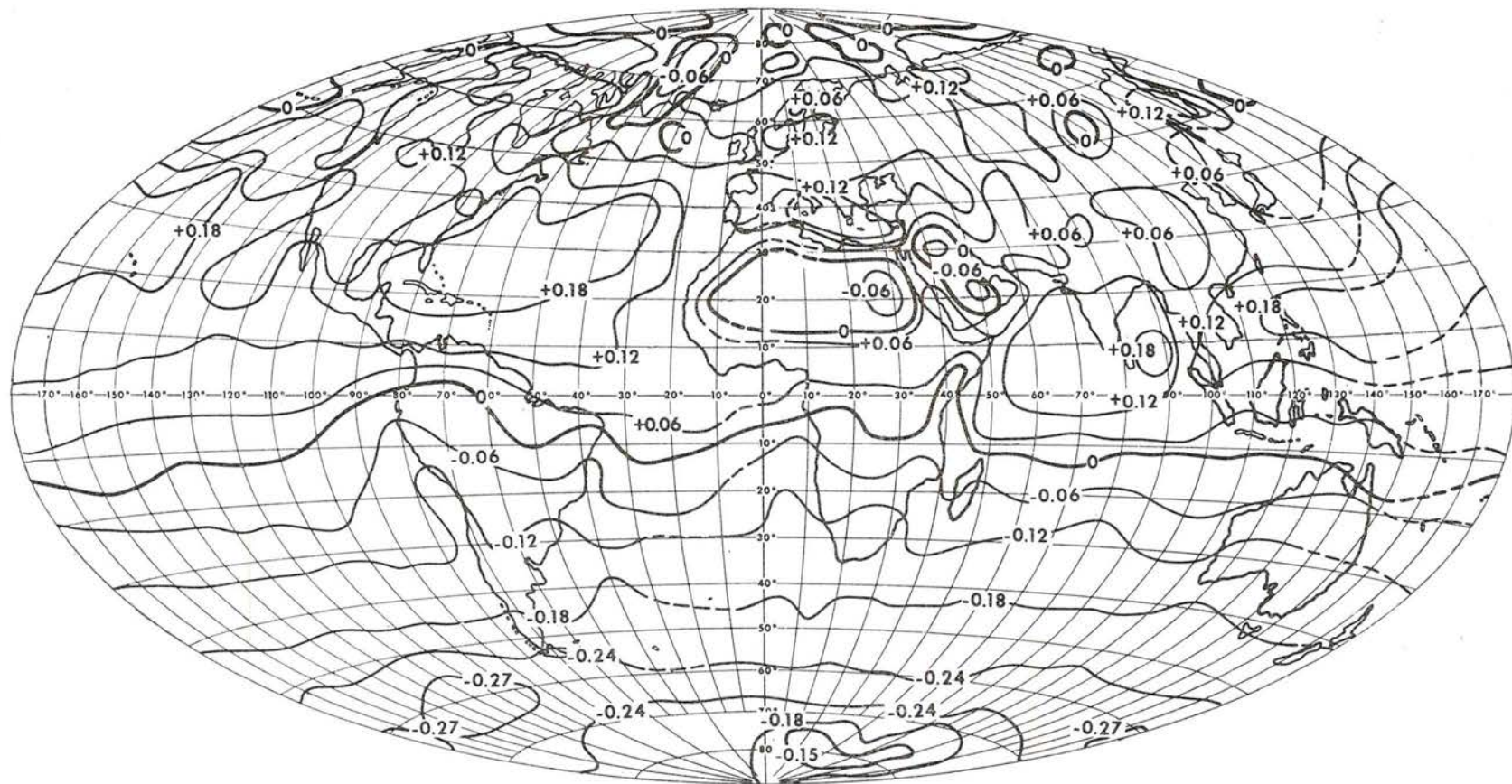


Figura 3.—Flujo neto de radiación—en $\text{cal/cm}^2 \text{ min.}$ —durante el período del 1 al 15 de julio de 1966, según las observaciones efectuadas por el MRIR del «Nimbus II».

El saldo positivo de energía—flujo neto hacia abajo—, entre la energía solar incidente y la radiación de onda larga emitida, se encuentra en las regiones al norte de los 10° S . Los máximos de superávit se encuentran en las comarcas septentrionales de los océanos subtropicales, casi desprovistos de nubes; por el contrario, los grandes desiertos de África del Norte y de Arabia muestran un déficit—flujo neto hacia arriba—debido al gran albedo de la superficie—del 30 al 40 por 100—y a su temperatura elevada. Hay también un déficit de energía sobre las tierras árticas y los campos de hielo. Al sur de los 10° S . hay un déficit de energía uniforme. (Según Raschke y Pasternak, 1967.)

embargo teniendo en cuenta los elementos sensibles de los aparatos y el equipo científico de las naves espaciales, ésta es la medida más prometedora entre las que son posibles. La temperatura como función de la altitud en la



Figura 4.—Radiación emitida en la banda de 14 a 16μ y medida por el MRIR del «Nimbus II» en el hemisferio austral el 21 de mayo, el 10 de junio, el 11 y el 24 de julio de 1966. La intensidad de la radiación emitida viene dada en grados Kelvin del cuerpo negro que emitiría la misma cantidad de energía en esta banda espectral. La radiación medida ha sido emitida fundamentalmente por la parte baja de la estratosfera y, en esta región, es un buen indicador de la circulación general y del campo horizontal relativo de temperaturas.

El 21 de mayo de 1966 el vórtice polar meridional (*arriba a la izquierda*) estaba perfectamente formado y se localizaba sobre el Polo Sur, aunque era asimétrico. Veinte días después, el 10 de junio (*arriba a la derecha*) la asimetría térmica estaba casi invertida y el centro de aire frío se había enfriado 5° K.

El 11 de julio (*abajo a la izquierda*) la temperatura sobre el Polo Sur había disminuido otros tres grados. Finalmente, el 24 de julio (*abajo a la derecha*), la distribución de temperaturas se había vuelto simétrica alrededor del Polo. (*según Warnecke y McCulloch, 1967.*)

atmósfera puede ser deducida midiendo la intensidad de la radiación emitida por un gas como el CO_2 que está mezclado uniformemente con el aire. Las medidas deberán hacerse espectralmente, es decir, en diversas longitu-

des de onda, dentro de la banda de absorción/emisión del gas. El cálculo de la temperatura se basa en el hecho de que la intensidad de radiación espectral (que está relacionada con la temperatura del gas) observada por el satélite a diversas longitudes de onda, corresponde a diversos niveles de altitud, según la transparencia del gas a cada longitud de onda. Estas teorías se ilustran en la figura 5, en donde la intensidad espectral de radiación me-

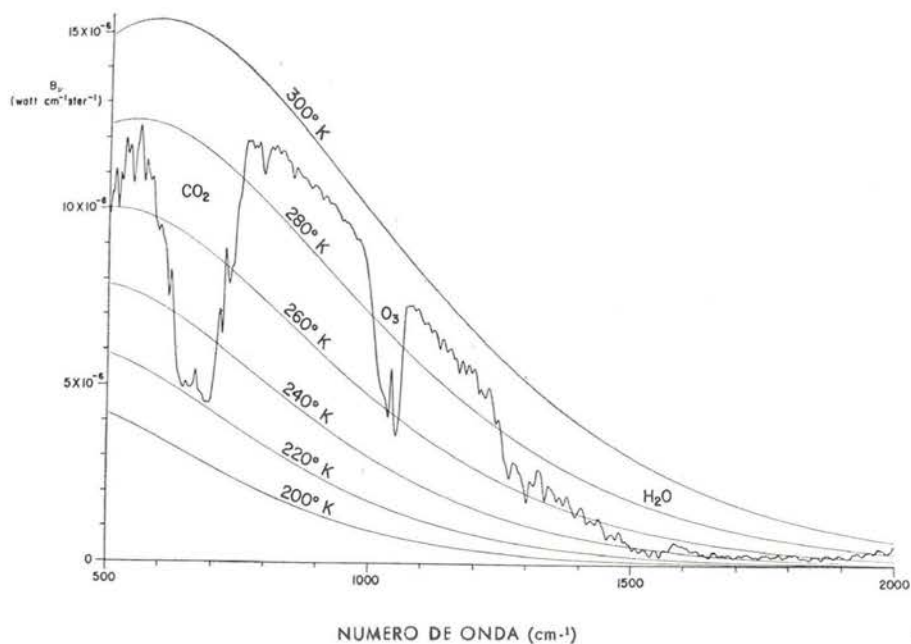


Figura 5.—Espectro de la atmósfera obtenido con un IRIS elevado en un globo a 31 km de altitud sobre Tejas, en mayo de 1966. La medida fue obtenida por R. A. Hanel, del Centro de Vuelo Espacial Goddard, y L. Chaney, de la Universidad de Michigan.

dida cerca del margen de la banda del CO_2 , indicando una temperatura de unos 290°K (para el número de onda de 800 por cm) corresponde a una temperatura cercana al suelo, en tanto que la temperatura de 230°K , en el centro de la banda de absorción, cerca del número de onda 670 por cm, para la cual el anhídrico carbónico es muy opaco, corresponde a la altura máxima, de varios kilómetros por encima de la tropopausa. En el espectro se observa claramente la inversión de temperatura de la tropopausa, para los números de ondas 620 y 700 por cm. El campo isalopínico de la atmósfera, o de las variaciones de densidad del aire con la latitud, la longitud y la altitud puede ser calculado a partir de los perfiles de temperatura obtenidos, con tal de que se conozca la presión a algún nivel dado, preferiblemente en la superficie de la Tierra; la presión en la superficie podría ser medida con barómetros automáticos, distribuidos por todo el globo terrestre y que transmitirían sus datos al satélite.

La observación de los vientos desde los satélites es muy difícil y sólo se ha logrado en condiciones muy especiales, deduciéndolos de las observaciones de nubes con los satélites ATS. Los vientos podrían ser obser-

vados desde satélites a menores alturas, mediante el seguimiento de globos libres equilibrados a diversas altitudes. Posiblemente los sistemas prácticos del futuro combinarán ambos métodos, para lograr una descripción satisfactoria del campo general de vientos.

Sobre la base de estas estimaciones y teniendo en cuenta los requisitos mencionados, se seleccionaron dos equipos espectrométricos capaces de medir la estructura del campo vertical de temperaturas y un equipo capaz de recoger las medidas efectuadas por las estaciones automáticas y de seguir el movimiento de los globos, para colocarlos en el NIMBUS III. Uno de los espectrómetros es un interferómetro Michelson infrarrojo (IRIS) ajustado a la banda de las 6 a las 20 μ , con un poder separador espectral relativo de 1 a 200. En esta banda de longitudes de onda están la banda de absorción del vapor de agua —centrada en las 6,3 μ —, la banda del ozono, de 9,6 μ y la banda de las 15 micras, del CO₂. De aquí será factible obtener información sobre el vapor de agua atmosférico y el ozono, así como de la estructura vertical de temperaturas. El segundo espectrómetro infrarrojo de satélite (SIRS) es un espectrómetro de red Fastie-Ebert modificado, con ocho canales: se mide la energía de radiación en siete intervalos espectrales de la banda de 15 μ del CO₂, cada uno con una amplitud de 5/cm; el octavo canal mide la radiación en la «ventana atmosférica» centrada en 11,1 μ .

El equipo para recepción de datos y seguimiento de globos, llamado Sistema de interrogación, registro y localización (IRLS) está formado por un emisor transportado por el satélite, un receptor y un calculador, el cual, al comunicar con una determinada estación automática en el terreno, puede fijar su situación con un error de 2 km e interrogar a un conjunto de elementos sensibles, tales com el termistor, contenidos en la estación.

Otros cuatro equipos más fueron seleccionados para su instalación en el NIMBUS III: Tres de ellos continuarán las observaciones cartográficas de los NIMBUS I y II: el HRIR, el MRIR y el IDCS (Sistema de cámara disectora de imágenes) que es una cámara tomavistas de televisión perfeccionada. El cuarto equipo (MUSE), detector de la energía ultravioleta del Sol, ampliará las posibilidades del NIMBUS para efectuar investigaciones científicas referentes a la meteorología. El equipo MUSE medirá la radiación solar en cinco intervalos espectrales, de 100 UÅ de amplitud, entre las 1.200 y las 2.600 UÅ; las variaciones de intensidad de esta radiación deben tener una gran influencia sobre la cantidad de energía recibida por la estratosfera.

El lanzamiento del NIMBUS III se intentó el 18 de mayo de 1968, pero fracasó, a causa del fallo de los cohetes de lanzamiento. Un segundo NIMBUS III será lanzado en 1969.

Un complemento de nueve equipos embarcados en el NIMBUS IV continuará la persecución de los tres importantísimos objetivos siguientes: medidas de la estructura atmosférica para los modelos matemáticos de previsión; investigaciones científicas fundamentales, y la representación cartográfica de campos horizontales, en este orden de prioridad. La importancia del primer objetivo se demuestra por el hecho de que cuatro de los equipos podrán hacer sondeos de temperatura y tres de ellos medirán también la distribución vertical del vapor de agua: el IRIS con una sensibilidad ampliada desde 8 hasta 40 μ ; el SIRS con la adición de otros seis interva-

los espectrales, principalmente en la banda de rotación del vapor de agua, de 18 a 30 μ y un espectrómetro con filtro de cuña (FWS) en la banda de 1,2 a 6,4 μ . La cuarta «sonda térmica» es un radiómetro cortador selectivo (SRC) sintonizado en la banda de 15 μ del CO_2 ; se espera obtener un poder separador espectral grandísimo mediante el filtrado de la radiación por células de absorción de CO_2 . El equipo IRLS será ampliado, de modo que pueda interrogar a centenares de estaciones en lugar de las veinte asignadas al instalado en el NIMBUS III. También se efectuará un lanzamiento de globos equilibrados para medir el campo de vientos al menos a un nivel sobre una gran superficie elegida, como los trópicos; con el NIMBUS III solamente se efectuará una prueba técnica del método, con menos de seis globos lanzados sobre los Estados Unidos.

Las investigaciones científicas serán ampliadas con el NIMBUS IV. Un espectrómetro de radiación ultravioleta difundida (BUV) medirá la intensidad de la radiación solar reflejada por la atmósfera en la banda espectral de 2.500 a 3.400 UÅ, mediante 14 intervalos de medida de 10 UÅ de amplitud cada uno; de estas medidas podrá deducirse la distribución vertical del ozono sobre la Tierra, entre las altitudes de 15 y de 50 km. El equipo MUSE será conservado y su valor será reforzado el combinarlo con las medidas del BUV.

La medida de los campos horizontales de vapor de agua y de nubes será muy mejorada con un radiómetro explorador infrarrojo de temperatura y humedad (THIR) funcionando en la onda de 6,3 μ del vapor de agua y en la de 11 μ de la ventana atmosférica con una definición espacial análoga a la del HRIR. El equipo IDCS continuará proporcionando fotografías televisadas, como elemento de referencia.

Se espera que el NIMBUS IV, de cuyos equipos instrumentales se tienen ya modelos de ensayo, será lanzado al espacio en 1970.

Se está estudiando en la actualidad la construcción de dos naves espaciales más, del tipo NIMBUS, para ser lanzadas después de 1971. Deberán extender los primitivos experimentos de medida de los sondeos verticales de la atmósfera y de la representación en mapas de los campos horizontales, empleando el espectrómetro de microondas. El mismo principio que para el infrarrojo vale para sondear y cartografiar con longitudes de onda más larga, excepto que la emisión en microondas de las nubes procede casi únicamente de las nubes espesas cargadas de agua. Así, los sondeos verticales de temperatura en el espectro de microondas experimentarán interferencias considerablemente menores a causa de los cirros y estratos y de la calima, que en el infrarrojo. El oxígeno, a longitudes de onda alrededor de 0,5 cm sirve como un emisor análogo al CO_2 en las 15 μ ; el vapor de agua puede ser observado en la longitud de onda de 1,35 cm y las nubes densas de agua, o la lluvia, pueden ser cartografiadas con longitudes de onda de 1,5 a 1,8 cm. Las naves espaciales consideradas transportarán equipos de aparatos para ampliar las investigaciones científicas estudiando especialmente, la tenue capa situada entre la superficie de los océanos y la atmósfera y las influencias mutuas entre diversos niveles atmosféricos.

Perspectiva

Los resultados obtenidos con los equipos de los NIMBUS y de los ATS serán aplicados a la creación de una *segunda generación* de satélites operativos meteorológicos en los Estados Unidos. También, gracias a la experiencia obtenida con los proyectos NIMBUS y ATS, será posible preparar observaciones desde satélites para aplicarlas al Programa de Investigación Global de la Atmósfera (GARP) y a la Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM). El problema es el de establecer las observaciones más adecuadas para estos programas y dirigir la operación coste/eficacia. Esto deberá ser realizado en el futuro mediante la cooperación de las organizaciones internacionales adecuadas. Los medios técnicos necesarios están disponibles ciertamente. Por ejemplo, un simple satélite meteorológico (mucho más sencillo que los actuales ATS) a altitudes geosincrónicas, podría realizar un proyecto regional (tropical) del GARP, observando la capa nubosa de un modo continuo y retransmitiendo datos de la superficie y de plataformas aerotransportadas.

Una más amplia campaña mundial de observaciones podría ser efectuada por una serie de estos satélites geosincrónicos más una nave espacial en una órbita mucho más baja y con su plano muy inclinado respecto al ecuador, menos compleja que los NIMBUS pero apta para efectuar sondeos verticales.

BIBLIOGRAFIA

- MCQUAIN, R. H. (1967). *ATS-1 camera experiment successful*. Bull. Am. Meteor. Soc., 48, págs. 74-79.
- NORDBERG, W., McCULLOCH, A. W., FOSHEE, L. L. and BANDEEN, W. R. (1966), *Preliminary results from NIMBUS II*. Bull. Am. Meteor. Soc., 47, páginas 857-872.
- RASCHKE, E. and PASTERNAK, M. (1967). *The global radiation balance of the Earth-atmosphere system obtained from radiation data of meteorological satellite NIMBUS II*. Space Research VIII, págs. 1033-1043, North-Holland Publishing Co., Amsterdam.
- WARNECKE, G., ALLISON, L. and FOSHEE, L. (1967). *Observations of sea surface temperatures and ocean currents from NIMBUS II*. Space Research VIII, págs. 1016-1023, North-Holland Publishing Co., Amsterdam.
- WARNECKE, G. and McCULLOCH, A. (1967). *Stratospheric temperature patterns derived from NIMBUS II measurements*. Space Research VIII, págs. 1012-1015, North-Holland Publishing Co., Amsterdam.
- WARNECKE, G. and SUNDERLIN, W. S. (1968). *The first color picture of the Earth taken from the ATS-3 satellite*, Bull. Am. Meteor. Soc., 49, págs. 75-83.
- WEINSTEIN, M. and SUOMI, V. E. (1961). *Analysis of satellite infra-red radiation measurements on a synoptic scale*. Monthly Weather Rev., 89, pág. 11, Nov. 1961.