

ACCION MUTUA ENTRE LOS PROCESOS DINAMICOS Y RADIATIVOS DE LA CIRCULACION GENERAL DE LA ATMOSFERA

Por K. YA. KONDRATYEV

*El hombre no tendría nada que pedir a Dios
si supiera predecir correctamente el tiempo.*

M. V. LOMONOSOV

Esta frase del gran científico ruso del siglo XVIII continúa siendo aplicable en la actualidad, pues la humanidad se encuentra todavía sometida implacablemente al tiempo (las imperfecciones de las actuales previsiones del tiempo, especialmente a largo plazo, demuestra frecuentemente tal dependencia). Numerosas pérdidas de vidas humanas y grandes daños materiales son el precio que pagamos por nuestra falta de habilidad para prever aceptablemente el curso de los elementos, aparte de nuestra incapacidad para influir sobre ellos.

Los progresos realizados en la aplicación de la teoría hidrodinámica del clima y la representación por medio de modelos numéricos de la circulación general de la atmósfera, han hecho que haya aumentado el interés por los métodos de predicción numérica del tiempo para períodos de hasta dos semanas y aún más largos. En la práctica, este problema sólo puede resolverse con ayuda de calculadoras electrónicas cuya velocidad y capacidad de memoria excedan a las de las mejores máquinas actuales, por lo menos en dos órdenes de magnitud. Los prototipos de tales máquinas están ya en vías de desarrollo.

Sin embargo, un problema más serio es el que plantea la obtención de los datos meteorológicos básicos iniciales necesarios, de todo el planeta. Este problema podrá resolverse si se alcanzan los objetivos de la Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM) junto con los del Programa de Investigación Global de la Atmósfera (GARP) a ella asociado. De hecho parece que el sistema global de observaciones meteorológicas no podrá implantarse antes de mediados el decenio 1971-80, y eso gracias al avance conseguido en los sondeos atmosféricos de temperatura y al éxito inicial en la determinación de perfiles verticales de humedad (Kondratyev y Timofeev, 1970)*.

El tercero y más serio problema de la predicción numérica del tiempo a largo plazo se presenta por lo insuficiente de nuestro actual conocimiento de los procesos físicos que ocurren en la atmósfera que determinan las variaciones del tiempo y del clima (Kondratyev, 1968). Esto es particularmente

Nota del editor: Este artículo es un resumen de la segunda conferencia de la OMI a pronunciar por el profesor Kondratyev (de la Universidad de Leningrado) en el Sexto Congreso de la OMM, Ginebra, 1971.

(*) Véanse las referencias al final del artículo.

cierto por lo que se refiere a la energética y al flujo calorífico, de excepcional importancia ambos cuando se consideran procesos de larga duración, que son esencialmente diabáticos.

Naturaleza del problema

El problema del flujo energético y calorífico tiene varios aspectos. En su aplicación al problema de la circulación general de la atmósfera fue analizado por completo en términos generales por el profesor E. N. Lorenz en la primera Conferencia de la OMI pronunciada durante el Quinto Congreso de la OMM y publicada después como monografía (Lorenz, 1967).



El profesor
K. Ya. Kondratyev

Considerando los problemas de la circulación general de la atmósfera, el profesor Lorenz dice: «Finalmente, yo no he intentado entrar en detalles en lo que se refiere a la radiación, la cual es responsable en último término de la existencia de la circulación general. Estoy convencido de que la acción mutua entre el campo del movimiento y el campo de la radiación es tan complicada que apenas vislumbramos su verdadera importancia». Esta afirmación proporciona un punto de partida al autor, cuya disertación pretende examinar el problema de la influencia de los factores de radiación en la circulación general de la atmósfera, llamando la atención sobre el más importante de los problemas sin resolver.

La teoría más coherente sobre el clima, formulada como un sistema cerrado de ecuaciones, se apoya en la hipótesis de un flujo de calor conocido procedente del exterior (radiación solar exterior a la atmósfera), la consideración de los principales tipos de flujo calorífico en las distintas capas de la atmósfera, la interacción entre la atmósfera y el suelo y la pérdida de calor por la tierra hacia el espacio, descrita a base de técnicas aproximadas, en particular

por la transferencia radiativa dentro de la atmósfera. Es, pues, necesario describir correctamente la acción mútua entre los diferentes tipos de energía. Es así como E. N. Blinova (1965) formuló la primera teoría física del clima, siendo aplicado todavía este mismo método por los autores modernos, tanto a la teoría del clima como a la investigación de modelos numéricos de la circulación general de la atmósfera (Smagorinsky (1969), Leovyand y Mintz (1969)). Para tener éxito en la consideración del efecto debido a los factores de radiación, este método exige una descripción exacta de las características físicas de la atmósfera y de la superficie subyacente, responsable del intercambio radiativo, y al mismo tiempo unos esquemas teóricos adecuados de este intercambio. Las características físicas se pueden dividir en dos categorías: 1) características relativas a las interacciones elementales entre el campo de radiación y el medio ambiente (características cuantitativas del espectro de absorción de los componentes de la atmósfera, coeficientes y funciones de difusión, parámetros ópticos y microestructura de los aerosoles sólidos y líquidos, etc.); 2) características integrales que describen el propio campo de radiación (emisión por la superficie terrestre, nubes y el sistema suelo/atmósfera, perfiles verticales de flujos radiativos en la atmósfera libre, etc.).

Las principales conclusiones que pueden sacarse del análisis del material disponible son que en la actualidad disponemos ya de suficientes datos experimentales sobre las características cuantitativas de la absorción de la radiación (tanto de onda corta como de onda larga) por los componentes gaseosos de la atmósfera, para calcular con suficiente precisión la absorción molecular atmosférica de la radiación, mientras que nuestra información sobre las características ópticas y microfísicas de los aerosoles atmosféricos (nubes y aerosoles sólidos) no es, hoy por hoy, satisfactoria (véase Kondratyev, 1968). Ni aun los datos que poseemos sobre los parámetros ópticos de las nubes, los principales reguladores de la energética atmosférica, son suficientes sobre todo respecto de las nubes medias y altas. Esta falta de datos es todavía más exagerada en el caso de los aerosoles sólidos. Y no solamente hace falta investigar las propiedades ópticas de los aerosoles, sino también la distribución vertical de su concentración y su microestructura.

En vista de las dificultades que presenta la resolución del problema de determinar las características de las interacciones elementales entre el campo de radiación y el medio ambiente, que requiere futuras investigaciones si se quiere alcanzar suficiente precisión en la descripción teórica de la transferencia radiativa, según las características conocidas de la interacción, parece aconsejable concentrarse en este estudio en la posibilidad de utilizar las características integrales. Es importante disponer de suficiente información sobre éstas para comprobar y corregir las descripciones teóricas aproximadas de la transferencia radiativa, así como para dar cierta perspectiva cuando se ensayan métodos semiempíricos de parametrización en las investigaciones de los efectos de radiación. Con respecto a ésto volvamos primero al problema de la radiación neta del sistema suelo/atmósfera. Un factor fundamental en este problema es la determinación de la constante solar.

La constante solar

Recientes investigaciones (Kondratyev, Nikolsky, 1970) han demostrado que el valor generalmente admitido hasta ahora de $2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, es demasiado alto. Las medidas efectuadas en estos últimos años en la Unión

Soviética con globos han indicado que el valor de la constante solar es de $1,94 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Esta cifra ha sido confirmada en general por los resultados obtenidos posteriormente por otros autores (Drummond, Murcray, Thekarakara (1970)). Una cosa todavía más importante es que puede existir una relación entre la constante solar y la actividad solar definida por el número de Wolf. Un valor máximo de la constante solar fue observado con números de Wolf comprendidos entre 80 y 100. Se registra una disminución de la constante solar cuando el número de Wolf aumenta (o disminuye) a partir de dicho valor. La máxima reducción observada en la constante solar es del 2 al 2,5 por 100.

Como el régimen térmico de la atmósfera es muy sensible al valor de la constante solar (Budyko (1971), Manabe y Wetherald (1967)), es evidente que variaciones del 2 al 2,5 por 100 de su valor tendrían un efecto extremadamente importante sobre el régimen climático. Por otra parte, esto podría interpretarse en el sentido de arrojar ciertas dudas sobre la existencia de tan grandes variaciones, que ciertamente necesitan de posterior confirmación. Lo que si está fuera de duda es que el valor generalmente aceptado de la constante solar debería corregirse, rebajándolo, y que habría que efectuar medidas directas y estrictamente absolutas de la constante solar desde naves espaciales situadas fuera de la atmósfera terrestre.

Balance de radiación suelo/atmósfera

Hasta hace poco nuestros conocimientos sobre la distribución planetaria de la radiación neta del sistema suelo/atmósfera se basaban casi exclusivamente sobre datos obtenidos por cálculo. El trabajo más importante de recopilación de mapas elaborados a partir de cálculos de la radiación neta sobre la tierra, ha sido realizado por Budyko y sus colaboradores (1971).

Los datos actinométricos obtenidos por satélites meteorológicos han permitido por primera vez comparar los mapas climatológicos de radiación neta calculada del sistema suelo/atmósfera con las medidas experimentales. Sin embargo, en principio esta comparación sólo puede ser aproximada ya que los datos obtenidos de los satélites son promedios espacio-temporales. Tan sólo en una reciente publicación de Vonder Haar (1968) puede considerarse como suficientemente válida la información actinométrica elaborada procedente de satélites, por contener las características climatológicas tomadas sobre períodos de un año, una estación o un mes y cubrir prácticamente la superficie entera del globo.

Una comparación llevada a cabo por Dyachenko y Kondratyev (1970) de mapas anuales de radiación neta planetaria con los mapas climatológicos calculados, demuestra que hay una concordancia cualitativa satisfactoria. Por ejemplo, coinciden las zonas de máxima radiación neta en la región ecuatorial. Sin embargo, los valores calculados R_s son notablemente inferiores en valor absoluto a los valores medidos. Se observa que la radiación neta disminuye cuando la latitud aumenta y las isolíneas cero (tanto la calculada como la observada) en ambos hemisferios se encuentran hacia la latitud de 40° . En el hemisferio sur la distribución de la radiación neta es casi zonal debido a que la superficie oceánica subyacente es homogénea.

En la Tabla I se establecen los perfiles medios meridianos anuales de la radiación neta del sistema suelo/atmósfera y de sus componentes (albedo A y

radiación emergente de onda larga F_{∞}), según los cálculos de Vinnikov (1965) y según las medidas. Es de observar que los valores calculados del albedo son significativamente mayores que los observados en todos los círculos de latitud, pero sobre todo en las latitudes bajas, debido a que son estos los valores más bajos calculados de la radiación neta, como hemos dicho antes.

TABLA I

Promedios anuales de la radiación neta del sistema suelo/atmósfera y de sus componentes para distintas zonas de latitud

Latitud	Albedo (A) (%)		Radiación emergente de onda larga (F_{∞}) ($\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$)		Radiación neta calculada (R_s) ($\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$)	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
80-70° N	—	44	—	0,24	—	—0,10
70-60°	43	40	0,27	0,27	—0,09	—0,07
60-50°	40	36	0,29	0,29	—0,06	—0,05
50-40°	37	32	0,30	0,31	—0,02	—0,00
40-30°	35	27	0,32	0,34	0,01	0,00
30-20°	33	24	0,34	0,38	0,03	0,04
20-10°	32	20	0,35	0,38	0,04	0,09
10-0°	33	20	0,34	0,38	0,06	0,11
0°	33	20	0,34	0,38	0,06	0,10
0-10° S	33	20	0,34	0,37	0,05	0,10
10-20°	33	20	0,34	0,38	0,06	0,08
20-30°	33	20	0,33	0,38	0,04	0,06
30-40°	35	27	0,31	0,34	0,02	0,03
40-50°	38	32	0,29	0,31	—0,02	—0,01
50-60°	—	36	—	0,29	—0,05	—0,06
60-70°	—	70	—	0,23	—	—0,09
70-80°	—	45	—	0,27	—	—0,11
La Tierra en conjunto	35	29	0,32	0,33	—0,03	—0,04

a), calculada; b), medida.

Esta discrepancia parece proceder, en primer lugar, de la sobreestimación de la cantidad de nubes en el cálculo del albedo del sistema suelo/atmósfera y, quizá también, de la inseguridad de los valores iniciales asignados al albedo de las nubes y a la accidentada *topografía* de las nubes convectivas de las bajas latitudes. La *macro-rugosidad* de las nubes puede producir, en efecto, una sensible reducción del albedo de la tierra. De todos modos no podemos ignorar por completo las posibles causas de error que actúan sobre las medidas procedentes de satélites, como tampoco cierto grado de desajuste (climatológicamente) en la información actinométrica procedente de los satélites.

Pos eso, la primera comparación que hay que efectuar entre los mapas climatológicos calculados y los basados en la radiación neta del sistema suelo/atmósfera y sus componentes, demuestra la necesidad de corregir los valores calculados, especialmente el albedo. Las discrepancias reveladas por esta com-

paración no han sido hasta ahora explicadas adecuadamente y exigen nuevas investigaciones.

Un hecho muy interesante, señalado por Wonder Haar y Hanson (1969) es que el exceso de radiación solar absorbida por el sistema suelo/atmósfera en las latitudes tropicales se debe principalmente a la absorción por los océanos. Teniendo en cuenta que, como es sabido, los océanos poseen una gran inercia térmica, esta elevada absorción debe repercutir ampliamente sobre la teoría del clima y de la circulación general de la atmósfera.

Respecto a ésto es muy importante recoger más datos obtenidos con el uso de métodos fidedignos de medida. Las discrepancias entre los valores observados y los calculados implican que toda descripción del intercambio calorífico entre la tierra y el espacio exterior obtenida por cálculo, debe ser cuidadosamente contrastada con los resultados de las medidas experimentales. A la vista de los supuestos progresos de los satélites meteorológicos, hay que sacar la conclusión de que para el óptimo desarrollo de los métodos numéricos de predicción del tiempo a largo plazo, en cuanto a los factores de radiación se refiere, deben utilizarse los componentes de la radiación neta en forma de datos actinométricos procedentes de satélites, en vez de intentar representar la atmósfera como un sistema completamente autodeterminado.

Radiación incidente

Volviendo al problema del flujo calorífico radiativo en una atmósfera libre, hay que destacar que no existe aquí base alguna que apoye la extendida creencia de que no queda ningún problema importante por resolver en este campo. Tal conclusión es prematura.

El análisis de las medidas de radiación neta y de sus componentes, efectuadas por medio de globos durante las horas diurnas hasta 30 km. de altura, demuestra que los factores significativos para la determinación del flujo calorífico radiativo son: la absorción, por los aerosoles, de radiación de onda corta; la notable influencia de la radiación difusa y un notable efecto de compensación recíproca entre la absorción de flujo radiativo, debida a la radiación de onda corta, y la radiación de onda larga. Estos factores no suelen tenerse completamente en cuenta en las representaciones del flujo radiativo incidente utilizados en la formulación de modelos de la circulación general de la atmósfera.

Dentro de este orden de ideas Kondratyev, Vulis y Nikolsky (1969) intentaron realizar una comprobación experimental del método teórico sugerido por Manabe y Strickler (1964) para el cálculo de los flujos de radiación de onda corta a incorporar al modelo numérico de la circulación general de la atmósfera. Al mismo tiempo fue aplicado el método de Shifrin-Avaste (1960) para calcular la absorción de la radiación solar. Se obtuvo una buena concordancia entre los valores calculados por estos dos métodos, concordancia que puede atribuirse al uso, en ambos, de los mismos coeficientes de absorción para el vapor de agua y el anhídrico carbónico.

En cambio, se encuentran desviaciones claramente significativas en los flujos calculados de la radiación solar *directa* cuando se comparan con los medidos en la troposfera inferior. Tales desviaciones pueden llegar realmente al 100 por 100 en la troposfera inferior, siendo mucho mayores en verano

que en otoño. Son debidas probablemente al efecto atenuante del aerosol, que no suele tomarse en cuenta debidamente en las representaciones teóricas. De hecho se ha encontrado una correlación entre la componente de la atenuación de la radiación solar atribuible al aerosol y la humedad relativa.

Efecto de los aerosoles

La comparación entre los valores calculados y los observados respecto a los flujos de la radiación *reflejada*, demuestra que en este caso la desviación es del orden del 10 por 100 y no excede del 20 por 100 en otoño, aunque aumenta apreciablemente en verano. Los valores de la radiación neta de onda corta calculados difieren de los observados, por término medio, en un 20 por 100, con un máximo del 40 por 100.

Aunque los dos últimos valores numéricos pueden parecer a primera vista poco importantes, en realidad son muy perturbadores. El problema está en que, si se considera la absorción molecular, la comparación entre los valores observados y los calculados de la radiación de onda corta, absorbida por capas atmosféricas separadas, se encuentran discrepancias tan grandes como que los valores observados llegan a ser aproximadamente el doble de los calculados. Esto sólo puede explicarse suponiendo que la absorción por los aerosoles es tan activa como por el vapor de agua. Como la distribución y propiedades de los aerosoles son tan extraordinariamente variables y poco conocidas la aplicación del factor de absorción debido al aerosol haciendo tales comparaciones, suscitará un problema extremadamente complejo.

Efecto de las nubes

Los valores de la temperatura de radiación muestran marcadas diferencias según hayan sido obtenidas por observación o por cálculo. Es significativo que los datos procedentes de la observación revelan un perfil vertical más complejo de las variaciones de la temperatura de radiación que los obtenidos por cálculo. Esto significa que estamos todavía muy lejos de poder dar una representación teórica correcta de la transferencia de la radiación dentro de la atmósfera, incluso en ausencia de nubes y mucho más en el caso más complejo (y sin duda más importante) bajo las condiciones reales, es decir, en presencia de nubes.

La presencia de nubes cambia radicalmente el campo de radiación y, por consiguiente, la imagen de la distribución espacio-temporal del flujo calorífico radiativo. Feigel'son (1970) y también Dmitrieva-Arrago (1968) han calculado el intercambio de radiación calorífica de onda larga y han demostrado que las capas de nubes bajas y medias contribuyen sustancialmente al enfriamiento de la atmósfera por radiación, sobre todo en verano. Así resulta de los cálculos realizados por Manabe y Strickler (1964). Por lo que se refiere al efecto de las nubes altas, los mismos autores demuestran que una capa de nubes puede calentar el suelo si su altura excede de 9 km, y si absorbe más del 50 por 100 de la radiación incidente de onda larga.

Las medidas efectuadas de día en avión por Goisa (1968) demuestran que bajo condiciones de cielo cubierto por una capa de nubes, el enfriamiento de éstas por radiación de onda larga excede notablemente su calentamiento por

absorción de la radiación solar. El enfriamiento radiativo de stratus y strato-cúmulos en las zonas templadas, alcanza durante el invierno, valores de 10° a 12° C por día.

Conclusión

La sensibilidad de la circulación general de la atmósfera a las variaciones de los factores de la radiación ha sido ignorada en demasía por los autores que se han ocupado de la teoría del clima y de la formulación de modelos numéricos de la circulación general. Sin embargo, uno de los problemas centrales de la meteorología moderna consiste en tener en cuenta la influencia de los factores diabáticos sobre la circulación general de la atmósfera, y este problema, por lo menos en lo que se refiere a la radiación, sólo puede resolverse por ahora, aplicando teorías semiempíricas y la parametrización estadística basada en el empleo de todos los datos de observación disponibles.

Teniendo en cuenta que estos datos son escasos, tiene más importancia organizar programas de observación, como parte del GARP, de un tipo análogo al Experimento Energético complejo (CENEX), que ha sido el primer intento de estudiar todos los aspectos de la energética atmosférica y de la interacción de energía entre la atmósfera y el suelo (Kondratyev y otros, 1970). El objetivo general del CENEX es estudiar la transferencia de todos los tipos de energía y de todos los tipos de divergencia del flujo calorífico en la atmósfera, analizar los factores que determinan estos procesos de transferencia y, a partir de ésto, recomendar nuevos estudios sobre los factores energéticos que actúan sobre el régimen térmico y la dinámica de la atmósfera.

Volviendo al pasaje de la obra del profesor Lorenz, ya citado antes (véase pág. 3), el autor está de acuerdo y desea afirmar que el problema de la interacción entre los campos del movimiento y de la radiación continúa siendo el más importante y el más complicado. Ahora estamos dando sólo los primeros pasos en el estudio de este problema, siendo de esperar que el CENEX aportará una importante contribución en este sentido. De todos modos existe un apremiante necesidad de experimentos numéricos especializados, que nos ayudarían a comprender y a representar cuantitativamente los procesos de la tantas veces citada interacción entre los campos del movimiento y de la radiación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BLINOVA, B. N. (1965): *Hydrometeorological long-range weather forecasting in the U. S. S. R.* (Predicción hidrometeorológica a largo plazo en la URSS). Nota Técnica de la OMM, N.º 66 (Simposio OMM/UIGG sobre investigación y aspectos del desarrollo de la predicción a largo plazo). Págs. 73-75.
- BUDYKO, M. I. (1971): *Klimat i Zizn'* (Clima y vida). Gidrometeoizdat, Leningrado.
- DMITRIEVA-ARRAGO, L. R. (1968): *Rascet potokov i pritokov dlimovolnovoj radiacii v oblacnyh usloviyah.* (Cálculo de los flujos y afluencias de la radiación de onda larga en condiciones nubosas). Trans. Main. Geophys. Obs. N.º 197.
- DRUMMOND, A. J. (Ed.) (1970): *Precision radiometry.* (Radiometría de precisión). Advances in Geophysics, Vol. 14. Acad. Press, Nueva York y Londres.
- DYACHENKO, L. N. y KONDRATYEV, K. Ya. (1970): *Sravnenie eksperimental' nyh i raschetnyh klimatologiceskih kart srednego godovogo radiacionnogo balansa Zemli i*

- ego sostavljajuscih.* (Comparación entre los mapas climatológicos de radiación neta media anual —y sus componentes— de la Tierra, trazados con datos experimentales y con valores calculados). Trans. Main. Geophys. Obs. N.º 235.
- FEIGEL'SON, E. M. (1970): *Lucistyj teploobmen i oblaka.* (Intercambio radiativo de calor y nubosidad). Gidrometeoizdat, Leningrado.
- GOISA, N. I. (1968): *O vlipanii moscnosti i vodnosti cloistoobraznyh oblakov na otrazenie, propuskanie i pogloscenie korotkovolnovoj radiacii.* (Influencia del espesor y del contenido de agua de las nubes del tipo stratus en la reflexión, transmisión y absorción de la radiación de onda corta). Trans. Ukr. Hydromet. Inst. N.º 70.
- KONDRATYEV, K. Ya. (1968): *Programma planetarnyh issledovanij atmosfery y radiacionnye faktory pogody y klimata.* (El GARP y los factores de radiación de tiempo y clima). Meteor. y gidro. N.º 6, págs. 11-20.
- KONDRATYEV, K. Ya., VULIS, I. L. y NIKOLSKY, G. A. (1969): *Ob ucete radiacionnyh faktorov pri modelirovanii processov obscej cirkulacii atmosfery.* (Consideración de los factores de radiación en los procesos de representación, por medio de modelos, de la circulación general de la atmósfera). Meteor. y gidro. N.º 7, págs. 10-16.
- KONDRATYEV, K. Ya. (1969): *Radiation in the Atmosphere.* (Radiación en la atmósfera). Int. Geophys. Series. Vol. 12. Acad. Press. Londres y Nueva York
- KONDRATYEV, K. Ya. (Ed.) (1969): *Radiacionnye harakteristiki atmosfery i podstila-juscej poverhnosti.* (Características de la radiación de la atmósfera y de la superficie subyacente). Gidrometeoizdat, Leningrado.
- KONDRATYEV, K. Ya. y NIKOLSKY, G. A. (1970): *Variacii solnečnoj postojannoj po aerostatnym issledovanijam v 1962-68 gg.* (Variaciones de la constante solar deducidas de los sondeos realizados con globos piloto en 1962-1968). Bol. Acad. Sci. U. R. R. S., Ser. Física de la Atmósfera y Océano, 6. N.º 3.
- KONDRATYEV, K. Ya. y TIMOFEEV, Ju. M. (1970): *Termiveskoe zondirovanie atmosfery so sputnikov.* (Sondeos térmicos de la atmósfera por medio de satélites). Gidrometeoizdat, Leningrado.
- KONDRATYEV, K. Ya., ORLENKO, L. R., RABINOVICH, Yu. I., TERMARKARYANZ, N. E. y SHLYAKOV, V. I. (1970): *Kompleksnij energeticeskij eksperiment (KENEKS).* (Experimento energético complejo (CENEX)). Meteor. y gidro. N.º 11.
- LEOVY, C. y MINTZ, Y. (1969): *Numerical simulation of the atmospheric circulation of Mars.* (Simulación numérica de la circulación atmosférica de Marte). J. Atmos. Sci. 26, págs. 1167-1190.
- LORENZ, E. N. (1967): *The Nature and Theory of General Circulation of the Atmosphere.* (La naturaleza y teoría de la circulación general de la atmósfera). Publ. de la OMM, N.º 218, Ginebra.
- MANABE, S. y STRICKLER, R. (1964): *Thermal equilibrium of the atmosphere with a convective adjustment.* (Equilibrio térmico de la atmósfera con una regulación convectiva). J. Atmos. Sci. 21, N.º 4, págs. 361-385.
- MANABE, S. y WETHERALD, R. (1967): *Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity.* (Equilibrio térmico de la atmósfera con una distribución conocida de la humedad relativa). J. Atmos. Sci. 24, N.º 3, págs. 241-259.
- SHIFRIN, K. S. y AVASTE, O. A. (1960): *Potoki korotkovolnovoj radiacii v besoblacnoj atmosfere.* (Flujos de radiación de onda corta en atmósfera sin nubes). Proc. Inst. of Phys. y Astron., Tartu, N.º 2.
- SMAGORINSKY, J. (1969): *Problems and promises of deterministic extended-range forecasting.* (Problemas y perspectivas prometedoras de la predicción determinista a largo plazo). Bull. Am. Meteor. Soc. 50, N.º 5, págs. 286-311.
- VINNIKOV, K. Ya. (1965): *Uhodjascee izlucenie sistemy Zemljaatmosfera.* (Radiación emergente en el sistema tierra-atmósfera). Trans. Main. Geophys. Obs. N.º 168.

VONDER HAAR, T. H. (1968): *Variations of the Earth's radiation budget* (from *Meteorological Satellite Instrumentation and Data Processing*. (Variaciones del balance de radiación de la Tierra (deducidas de observaciones realizadas con instrumentos instalados en satélites meteorológicos y por medio de tratamiento de datos). Univ. de Wisconsin, Dept. de Met. Contract NASW-65.

VONDER HAAR, T. H. y HANSON, K. J. (1969): *Absorption of solar radiation in tropical regions*. (Absorción de la radiación solar en las regiones tropicales). *Atmos. Sci.* 26, N.º 4, págs. 652-655.

CICLONES TROPICALES - NUEVAS RESPONSABILIDADES DE LA OMM

Los desastres producidos en Paquistán Oriental por el ciclón tropical de noviembre de 1970 y la serie de tifones que azotó a Filipinas durante los últimos meses del año pasado, han redoblado el sentido de urgencia de las actividades de la OMM encaminadas a reducir los daños ocasionados por las tempestades tropicales. La terrible pérdida de vidas humanas, junto con los enormes perjuicios materiales, no valorados aún completamente, hacen del ciclón de Paquistán una de las peores catástrofes naturales de la historia.

Estos trágicos sucesos promovieron una preocupación mundial y suscitaron una demanda inmediata de adopción de nuevas y mejores medidas para combatir contra este antiguo enemigo de la humanidad. La Asamblea General de las Naciones Unidas reaccionó rápidamente a esta llamada adoptando una resolución por la que se encarga a la OMM que tome medidas adecuadas para la movilización de recursos y de hombres de ciencia, encaminados al descubrimiento de medios eficaces con los que aminorar los perjudiciales efectos de tales meteoros y eliminar o reducir al mínimo su poder destructor. También acordó invitar a los Estados Miembros a que apliquen sus esfuerzos a la ejecución total del plan de la Vigilancia Meteorológica Mundial.

La Resolución 2733 (XXV) de la Asamblea General, fue tomada a finales del año 1970 y recogida inmediatamente por la OMM. Los lectores asiduos del *Boletín* recordarán que la OMM, en estrecha colaboración con la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Asia y Lejano Oriente, inició hace algunos años un programa destinado a mitigar los daños provocados por los tifones en el sureste asiático. Estas actividades llevaron al Comité Ejecutivo a encomendar al Secretario General el estudio de la posibilidad de iniciar proyectos análogos en otros lugares del mundo afectados por tempestades tropicales. Estos estudios han tenido varias consecuencias, una de las cuales fue la reunión sobre ciclones tropicales en el golfo de Bengala y mar Árabe, reseñada más adelante en el presente artículo.

Otro resultado ha sido la constitución de un grupo de trabajo en la Asociación Regional I. El informe y recomendaciones de dicho grupo han sido recibidos recientemente y están resumidos en otro lugar de este número del *Boletín* (véase pág. 000). Además, la Asociación Regional V designó, en su quinta reunión de 1970, un ponente encargado de reunir información sobre la mitigación de los daños producidos por ciclones tropicales.

La resolución de la Asamblea General no exigió, pues, de la OMM que emprendiera una acción totalmente nueva, sino más bien, que ampliase y diese preferencia a ciertas actividades que ya estaban en marcha. ¿Cómo