

hacía 5 años, era un momento crítico de la guerra en el Oriente y la noticia de la distinción fue por ello más grata. También me agradó mucho cuando me concedieron el título de Knight ya que es un título que se comparte con la esposa y en mi caso ¡ella se lo merecía mucho!

H.T.— ¿Qué otros sucesos relacionados con su vida profesional aparecen destacados entre sus recuerdos?

C.W.B.N.— Es tan injusto el singularizar sucesos que si me lo permite seré un poco desprecupado. Recuerdo que poco después de llegar a la India, el cartero me entregó una carta de un convecino dirigida a “Mr. Normand, Oficina Mitológica”. Debió pensar que describía muy bien nuestra profesión.

H.T.— Vd. ha vivido en Winchester con su hijo y su nuera durante 10 años ¿mantiene algún contacto con la meteorología?

C.W.B.N.— Recibo revistas como el *Bulletin of the AMS*, *The Quarterly Journal* de la Royal Meteorological Society, pero lamentablemente tengo que decirle que me canso muy rápidamente de leer, tengo que admitir que ahora mis pasatiempos son los crucigramas y otros rompecabezas de ese estilo y ver los deportes, especialmente el rugby en televisión. Mi sordera es un impedimento.

H.T.— Mi última pregunta es siempre la misma ¿Tiene algún consejo que dar a los jóvenes que piensan en hacerse meteorólogos en la actualidad?

C.W.B.N.— Los tiempos cambian muy rápidamente hoy día. Los ancianos no deben aconsejar, tan solo modestamente, sugerir. Yo diría que un conocimiento de ciertas ramas de la física y de las matemáticas, tan completo como pueda lograrlo un joven de 21 a 22 años, formará siempre una base sólida.

H.T.— Sir Charles, la alacridad con que ha respondido a mis preguntas desmiente el hecho de que cumplirá pronto 93 años y sólo puedo felicitarle por pasar por esta agotadora prueba con tanta paciencia. En nombre de los lectores del *Boletín de la OMM*, me gustaría expresarle mi gratitud no sólo por haber accedido a ser entrevistado, sino también por las grandes contribuciones que Vd. ha hecho a nuestra ciencia durante su larga e ilustre carrera. Muchas gracias.

LA INFLUENCIA DE LOS AEROSOLES PULVERULENTOS Y DE LAS CAPAS DE NUBES EXTENSAS EN EL REGIMEN DE LA RADIACION Y EN EL CLIMA

RESULTADOS DE LAS OBSERVACIONES OBTENIDAS DURANTE LOS PERIODOS DE OBSERVACION ESPECIAL DEL EXPERIMENTO METEOROLOGICO MUNDIAL

Por K.Ja. KONDRATYEV, V.I. BINENKO, V.F. ZHVALEV, V.A. IVANOV y N.E. TER-MARKARJANTS

Introducción

Hace largo tiempo que se sabe que la atmósfera es coloidal, conteniendo gotitas de nube y niebla (o cristales de hielo) y también partículas de polvo en suspensión. Los

modelos teóricos que simulan el clima y los cambios climáticos representan normalmente la atmósfera como una mezcla de gases en la que en ocasiones hay nubes; se acepta generalmente que las nubes son un factor importante en el balance de energía de la atmósfera y el clima, pero queda mucho que conocer sobre los mecanismos específicos que determinan la influencia de la nubosidad en el clima.

El polvo es otro aspecto del problema. Aunque hemos aceptado que los desiertos son una fuente de polvo para la troposfera mundial y que las erupciones volcánicas ocasionan aumentos importantes en el contenido de aerosoles de la estratosfera, hasta ahora los modelos numéricos de la circulación general, tanto atmosféricos como climáticos, ignoran habitualmente el contenido en aerosoles pulverulentos de la atmósfera, que es muy variable. Esto es debido, sobre todo, a que no se han estudiado lo suficiente los aerosoles desde un contexto mundial – sus fuentes y circulación características, y las propiedades microfísicas y ópticas que rigen su influencia sobre el régimen de la radiación y, en consecuencia, sobre el clima.

Para abordar el problema del efecto de los aerosoles sobre el clima, son necesarios datos de todos los principales tipos de aerosoles atmosféricos, incluidas sus características micro y macrofísicas por encima de superficies representativas durante las diferentes estaciones. Es importante que estos datos sean completos, tanto en lo que respecta a sus características de conjunto, como a las condiciones en que se forman. Son de especial interés aquellos aerosoles con una distribución mundial o regional que tienen una influencia notable sobre el régimen de la radiación de la atmósfera: son los originados en zonas áridas, en los mares, en los volcanes o por el hombre.

Dado que los datos disponibles en la actualidad no son lo suficientemente completos (en algunos casos incluso inexistentes), la fiabilidad estadística de los resultados es baja. Por ejemplo, faltan casi por completo los datos relativos a la configuración espa-

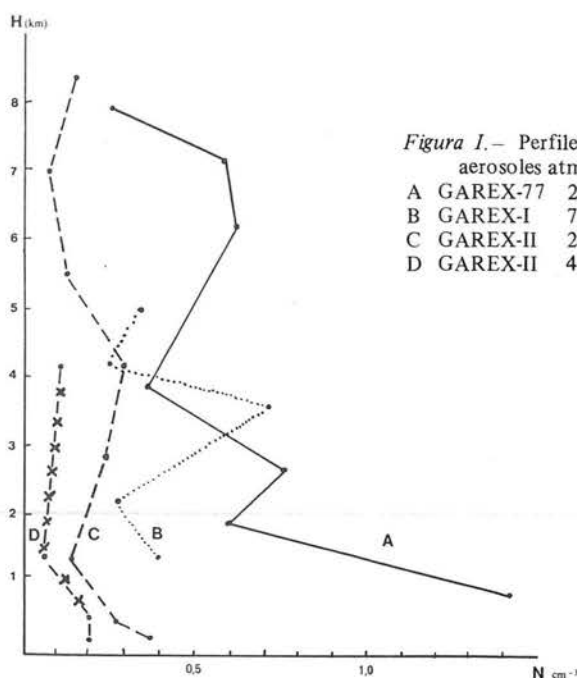


Figura I. – Perfiles de la concentración de aerosoles atmosféricos ($r \geq 0,5 \mu\text{m}$):
 A GAREX-77 24-IX-1977 (Kara-Kum)
 B GAREX-I 7-III-1979 (Kara-Kum)
 C GAREX-II 28-V-1979 (Kamachatka)
 D GAREX-II 4-VI-1979 (Mar de Bering)

cial y a las propiedades de los aerosoles atmosféricos en invierno, y es totalmente inadecuada la información sobre las propiedades de radiación de las nubes estratiformes del ártico y de los aerosoles, así como la de los mecanismos por los que puede ser modificada la capa nubosa por la variabilidad espacial de la transferencia del calor radiante en la atmósfera libre.

Por consiguiente, es necesaria una amplia gama de trabajos de investigación. En el desierto de Kara-Kum se llevó a cabo, en 1977, un primer proyecto dentro del Experimento Mundial de Aerosoles/Radiación (GAREX). Se obtuvieron muchos y completos datos sobre la composición de los aerosoles y las características radiativas y ópticas de la atmósfera de aquel lugar. Pareció que un tema para investigar eran las tormentas de polvo como factor determinante del clima de las zonas áridas (véase *Boletín de la OMM* 29 (4) pág. 286 y 30 (1) pág. 3). Se realizaron con éxito dos amplios programas durante el primero y segundo Períodos de Observación Especial (POE-1 y POE-2) del Experimento Meteorológico Mundial en 1979. El GAREX-I tuvo lugar en febrero y marzo, de nuevo en la región del desierto de Kara-Kum, mientras que el GAREX-II se centró sobre el Ártico y la región volcánica de Kamchatka en mayo y junio de 1979.

La expedición POE-1 al desierto de Kara-Kum (GAREX-I)

Es un hecho bien conocido que las zonas áridas son las fuentes naturales más importantes de aerosoles de polvo. Las partículas del suelo son levantadas hacia la atmósfera, normalmente durante las tormentas de polvo. Continuando con los resultados del experimento de 1977, el fin primordial de la expedición POE-1 era investigar la influencia de los aerosoles pulverulentos sobre el régimen de la radiación de la atmósfera en un desierto durante el invierno. El programa de observaciones incluía:

- Aerosoles (analizados con filtros e impactores, sondeos ópticos y de lidares);
- Radiación (flujo total de onda corta y larga, temperatura de radiación solar directa);
- Características ópticas (transmisividad espectral, polarización del cielo);
- Parámetros meteorológicos (temperatura, humedad, presión, vientos en superficie y altura);
- Medidas espectrales (flujo de radiación de onda corta a distintos niveles hasta cerca de los 8 km en la atmósfera).

El uso de un avión de investigación Ilyushin-18 y las observaciones desde tierra permitieron la obtención de perfiles verticales de aerosoles, radiación y parámetros meteorológicos hasta unos 8 km de altura. El espaciado medio horizontal osciló entre 100 y 150 km.

Los resultados de este experimento —por sí mismos y aparte de su valor científico— al añadirse a los de los primeros experimentos de los programas CENEX* y GAREX, permiten esbozar algunas conclusiones generales respecto a las relaciones existentes entre los aerosoles y la radiación en condiciones desérticas. Al analizar las medidas de los aerosoles es importante considerar la distribución de los mismos en función de su tamaño. Con una distribución estable del tamaño de los aerosoles, puede observarse una importante variación en la concentración de las partículas.

La Tabla 1 muestra los valores extremos de la concentración de partículas de aerosoles de acuerdo con las medidas realizadas en un punto de la superficie.

* Complete Energetics Experiment (Experimento Energético Completo) (véase *Boletín de la OMM* 19 (4) pág. 265 y 25 (4) pág. 281).

Tabla 1 — Valores extremos de la concentración de aerosoles

Radio de las partículas (μm)	Concentración mínima (cm^{-3})	Concentración máxima (cm^{-3})	Concentración en tormentas de polvo (cm^{-3})
0,13 — 0,18	21	276	979
0,9 — 1,15	0,6	27	246
9 — 12	0,05	1,4	20,9

Bajo condiciones desérticas, el campo de viento está entre los parámetros más importantes que rigen a los aerosoles en la capa más baja de la atmósfera. El análisis de las relaciones existentes entre la concentración de aerosoles y la velocidad del viento muestra una clara correlación, sólo cuando las velocidades son superiores a 6 ms^{-1} (la concentración de aerosoles aumenta con la velocidad del viento). Esto es cierto tanto para partículas submicroscópicas como grandes.

Los primeros experimentos habían mostrado resultados diferentes de medida cuando se utilizaron distintos métodos ópticos. Por esta razón, se hicieron medidas simultáneas en un punto utilizando durante el POE-1 todos los instrumentos de aerosoles disponibles; una comparación de los resultados aclarará las causas de las discrepancias observadas.

Gracias a las medidas simultáneas desde aviones y en superficie, ha sido posible construir perfiles verticales de concentración de aerosoles bajo diferentes condiciones atmosféricas y encontrar cómo dichos perfiles están relacionados con los perfiles de los componentes del balance radiativo. Los análisis de las medidas, desde aviones y en el suelo, de la distribución de los tamaños de las partículas en función de la altura muestran una distribución bimodal, correspondiendo el segundo máximo al intervalo de tamaños comprendido entre 8 y $10 \mu\text{m}$.

También se realizaron observaciones de la composición química de los aerosoles. La Tabla 2 ofrece la distribución por elementos de las muestras del impactor para el día 7 de marzo de 1979. Estos datos hacen posible tener en cuenta las diferentes propiedades ópticas de las partículas de distintos tamaños al modelar los efectos radiativos de los aerosoles originados en una zona árida.

El conjunto completo de los datos de radiación y otros parámetros atmosféricos obtenidos durante la expedición POE-1, permite un análisis detallado de las características del régimen de radiación como consecuencia de la variabilidad espacial de las propiedades de los aerosoles.

En la *Figura 1* se presentan los perfiles típicos de la concentración de aerosoles de radio igual a $0,5 \mu\text{m}$ o mayor obtenidos durante diversas fases del GAREX. La cantidad relativamente alta de aerosoles observada en las capas bajas, en septiembre de 1977, es casi con certeza debida a las frecuentes tormentas de polvo de esta época del año en Kara-Kum, y contrasta con la bajísima cantidad encontrada en marzo de 1979, que es la estación de lluvias máximas.

Los perfiles del 28 de mayo al 4 de junio de 1979 fueron obtenidos en la región del volcán Cheburachek en la zona norte del Océano Pacífico. Están caracterizados por

una baja concentración de aerosoles y menor evidencia de una estructura en capas (la alta concentración del 28 de mayo entre 285 y 4200 m puede explicarse por el hecho de haberse tomado las muestras en la proximidad de una de erupción volcánica. El perfil del 4 de junio, se observó sobre el mar de Bering lejos de las fuentes de contaminación industrial, y la concentración de aerosoles puede considerarse aproximadamente como el valor de fondo.

Tabla 2 — Elementos contenidos en aerosoles ($\mu\text{g m}^{-3}$) deducidos de las muestras del impactor tomadas en condiciones áridas a 2 m sobre la superficie, el día 7 de marzo de 1979.

Intervalos de tamaños de las partículas (μm)	Elementos químicos					
	Fe	Zn	Cr	Ag	Sr	Ba
> 10	0,10	—	—	$3,5 \times 10^{-4}$	—	$1,6 \times 10^{-2}$
10–5	0,16	$2,5 \times 10^{-2}$	—	$2,5 \times 10^{-4}$	—	$1,2 \times 10^{-2}$
5–3	—	$4,2 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$8,5 \times 10^{-3}$
3–2	0,10	$5,3 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-4}$	$4,5 \times 10^{-3}$	—
2–0,5	0,09	$5,3 \times 10^{-2}$	$4,0 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-2}$	—
< 0,5	2,30	$5,8 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-2}$	—	—	—

Al evaluar los datos de la distribución vertical del flujo radiante, es posible distinguir diversos tipos de perfil. En tiempo soleado con vientos débiles, los perfiles verticales de flujo radiante muestran valores máximos en los 500 m más bajos de la atmósfera (Figura 2). Existe un calentamiento radiativo debido tanto a las componentes de onda corta como a las de onda larga del flujo neto. La absorción de la radiación de onda larga, debida a la alta temperatura de la superficie del desierto durante el día, predomina sobre el enfriamiento, debido a la emisión por la propia atmósfera. Las capas de la atmósfera entre 3 y 4 km están caracterizadas por un enfriamiento radiativo general. Cuando existe polvo en la atmósfera por encima de 1000 - 1500 m, hay un enfriamiento radiativo neto debido al menor calentamiento producido por la absorción de la radiación de onda corta y a un enfriamiento por la emisión de onda larga. Las capas por encima de este nivel se encuentran en un estado próximo al equilibrio radiativo.

Cuando la atmósfera está bastante turbia y no hay una reducción neta del contenido de polvo, existen a menudo capas con un calentamiento creciente debido a la absorción de la radiación de onda corta y un enfriamiento causado por la emisión de onda larga. Las capas de calentamiento creciente muestran buena correlación con el aumento de concentración de las partículas de polvo, y esto se demuestra en los perfiles verticales de los componentes de onda corta del flujo radiante.

Tras su elaboración final, los datos del GAREX-I se utilizarán en cálculos teóricos de la transferencia de radiación de onda corta en una atmósfera pulverulenta con el fin de desarrollar un método para parametrizar los efectos radiativos de los aerosoles. Los resultados de la expedición son de considerable importancia para realizar una representación suficientemente fiable de la atmósfera como sistema coloidal en los modelos de la circulación general y en la teoría del clima.

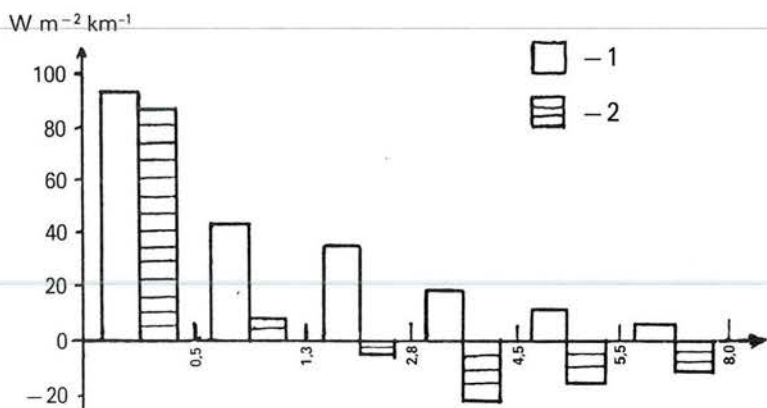


Figura 2. – Perfiles verticales del flujo radiante calorífico sobre una región desértica en condiciones de calma y cielo despejado. 1 = radiación de onda corta; 2 = radiación de onda larga.

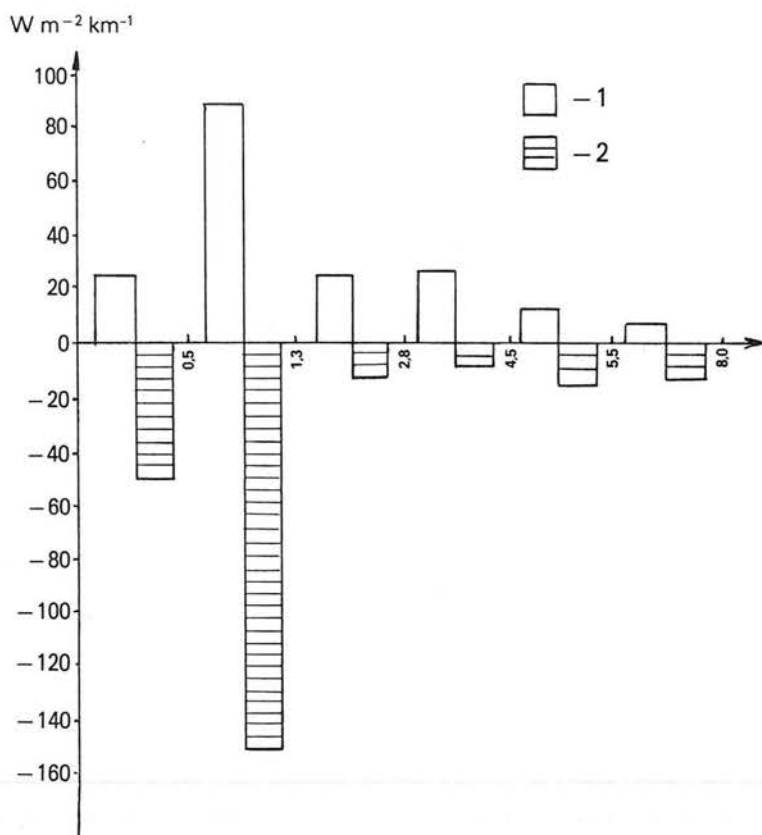


Figura 3. – Perfiles verticales del flujo radiante calorífico sobre una región desértica cuando hay polvareda. 1 = radiación de onda corta; 2 = radiación de onda larga.

En este proyecto, las observaciones se realizaron en la estación flotante *Severnij Polyus - 22* en el Artico, en Kamchatka y en las Islas Kuriles. Las observaciones combinadas de superficie, aviones y satélites se llevaron a cabo sobre superficies de agua o de hielo y en una región de actividad volcánica. El fin primordial era el estudio de los procesos implicados en la formación, durante el verano ártico, de extensas capas de nubes, y de las propiedades radiativas de las erupciones volcánicas.

Durante los preparativos en diciembre de 1978, se hicieron medidas sobre la ciudad de Zaporozh'ye utilizando aviones de investigación Illyushin-18 y -14 con el fin de estudiar la influencia de los aerosoles antropogénicos en las propiedades radiativas de las nubes estratiformes debajo de inversiones. Estos resultados, unidos a los datos de las investigaciones hechas en Kamchatka sobre el papel de los aerosoles antropogénicos y volcánicos, permitió sacar importantes conclusiones acerca de la influencia de dichos aerosoles sobre las propiedades radiativas de las nubes.

Las medidas sobre Zaporozh'ye proporcionaron información de las características radiativas de la atmósfera sobre una ciudad cubierta por una capa nubosa, situada debajo de una inversión, sobre la composición química del agua de la nube, la microestructura nubosa, los núcleos de condensación y los aerosoles contenidos en las nubes por encima de la ciudad y en zonas circundantes. Las medidas confirmaron la existencia de aerosoles ópticamente activos (primordialmente partículas de hollín que repelen al agua), cuyos efectos fueron reducir el albedo de la capa de nube y aerosol sobre la ciudad en comparación con el de las mismas nubes sobre zonas rurales. El enfriamiento radiativo de la capa total nubosa que cubre zonas rurales puede reemplazarse por un débil calentamiento sobre la ciudad, alterando de este modo el "efecto invernadero".

El nivel de contaminación y componentes orgánicos en las nubes sobre la ciudad fue de dos a tres veces superior al de los alrededores. Es necesario hacer un modelo numérico del régimen de radiación de una atmósfera nubosa sobre una ciudad, teniendo en cuenta el papel de la radiación y de la turbulencia. A pesar de su carácter local, los datos obtenidos pueden utilizarse al elaborar modelos de la variabilidad de los climas urbanos, así como del impacto de las ciudades sobre el medio ambiente.

En el Artico, se hicieron cinco sondeos de la atmósfera desde la SP-22, dos de ellos coincidieron con el paso de un satélite. Se realizó un vuelo con un avión para estudiar el contraste de la radiación hielo-agua, y, en otros vuelos, se investigaron las nubes convectivas y las fumarolas volcánicas del Cheburachek y el Alaid, tanto en presencia de nubes estratiformes como con cielo despejado. Se obtuvieron las características total y espectral de una atmósfera con o sin nubes, tanto sobre superficies de agua como de hielo. El valor de la absorción de los aerosoles residuales cerca de la costa continental resultó estar entre el 0,2 y el 2 por cien, mientras que sobre la SP-22 predominaba la absorción molecular, alcanzando un valor entre el 12-14 por cien en la troposfera. Sin embargo, una comparación entre los datos de transparencia espectral y total sobre la SP-22 y Severnaya Zemlya indica la posible existencia de un aerosol ópticamente activo procedente de los incendios forestales de Siberia.

Baándonos en los estudios experimentales del GAREX-II, es posible deducir las siguientes conclusiones:

- En presencia de aerosoles líquidos o de partículas sólidas, el albedo de la capa inferior del

sistema superficie y atmósfera aumenta sobre una superficie débilmente reflectante (agua) y decrece sobre una superficie altamente reflectante (nieve, hielo);

- El albedo del hielo de concentración y tipo variables oscila entre 0,4 y 0,8 de acuerdo con las observaciones realizadas desde una altitud de 200 m, con un máximo en la zona visible del espectro;
- El albedo de las nubes sobre el Artico es notablemente superior al de las nubes similares sobre una ciudad, sobre suelo seco o sobre superficies de agua en la parte europea de la URSS, y depende del albedo de la superficie subyacente, así como de las características a microescala y macroescala de las nubes;
- La presencia de sustancias higroscópicas de volcanes aumenta el albedo de las nubes en una atmósfera nubosa, pero su influencia sobre la radiación es pequeña comparada con la de los aerosoles antropogénicos que repelen el agua (fundamentalmente hollín);
- El flujo total radiante es máximo en la capa de los primeros 500 m, sobre todo si hay nubes bajas. Decrece con la altura, con un enfriamiento neto en las capas altas de la atmósfera;
- La emisividad de las nubes (incluso las nubes bajas) en el Artico es menor que la unidad, debido al predominio de los cristales de hielo. Esto se confirma por una notable diferencia en el coeficiente de difusión hacia atrás comparado con el índice de atenuación en las nubes;
- En el Artico, las superficies subyacentes tienen, normalmente, una reflexión anisótropa grande.

El Artico y el Antártico se encuentran entre las regiones menos sujetas a la influencia antropogénica, pero cuando son transportados hasta allí aerosoles ópticamente activos, su influencia puede conducir a una fusión más rápida de la nieve y el hielo, produciendo un calentamiento más importante.

Conclusiones

Los resultados de los amplios proyectos descritos, unidos a otros datos obtenidos durante el Experimento Meteorológico Mundial, han contribuido a una evaluación fiable del papel que desempeñan la radiación y otros factores en los cambios climáticos que el mundo está experimentando en la actualidad.

BIBLIOGRAFIA

- KONDRATYEV, K. Ja. (1975): Kompleksnyj Energeticheskij Eksperiment (KENEKS): Obzor (Complete Energetics Experiment (CENEX): A review). All-Union Research Institute on Hydrological and Meteorological Information, Obninsk.
- VASILYEV, O.B. y IVLEV, L.S. (1976): Global'nyj Aerazol'no-Radiacionnyj Eksperiment (GAREKS) (Global Aerosol-Radiation Experiment (GAREX)). All-Union Research Institute on Hydrological and Meteorological Information, Obninsk.
- TER-MARKARJANTS, N.E. (Editores) (1976): Polnyj Radiacionnyj Eksperiment (Complete Radiation Experiment), Gidrometeoizdat, Leningrado.
- (1977): Sovremennye izmenenija klimata i opredeljahushchie ih faktory (Present day climate changes and the factors which determine them). *Itogi nauki i tehniki-Meteorologija i Klimatologija*, Vol. 4 All-Union Institute for Scientific and Technological Information, Moscú.
- (1980): Radiacionnye faktory soviemennyh izmenenij global'nogo Klimate (Radiation

factors, in present day global climate changes). Gidrometeoizdat, Leningrado.

— *et al.* (1980): Global'nyj Aerosol'no-Radiacionnyj Eksperiment (Global Aerosol-Radiation Experiment). *Meteorologija i Gidrologija* N^o. 9, Moscú.

— *et al.* (1980): Global'nyj Aerosol'no-Radiacionnyj Eksperiment-1977 (Predvaritel'nye rezultaty pervoj ekspedicii po programme GARREKS) (Global Aerosol-Radiation Experiment-1977 (Preliminary results of the first expedition under the GAREX programme)). Trudy GGO. vyp. 434, Leningrado.

— BINENKO, V.I. ZHVALEV, V.F. *et al.* (1980): *Aerosol'i Klimat* (Aerosols and climate). All-Union Research Institute on Hydrological and Meteorological Information, vyp. 1, Obninsk.

CENTROS REGIONALES DE FORMACION PROFESIONAL METEOROLOGICA: Buenos Aires

(Presentado por el Representante Permanente de Argentina ante la OMM)

Antecedentes

En 1934, el Servicio Meteorológico de Argentina creó la *Escuela de Observadores meteorológicos* con el propósito de formar profesionalmente al personal encargado de las estaciones meteorológicas de la red nacional. Posteriormente, el Gobierno argentino promulgó un decreto por el cual se creaba la *Escuela superior de Meteorología de la Nación* con el fin de realizar la formación profesional de meteorólogos a nivel universitario. Entre otras cosas el decreto abogaba por “una colaboración amplia con otros países de habla hispana, para contribuir así a una formación profesional meteorológica superior”. Esta escuela impartió el primer curso de meteorología a nivel de licenciatura.

Más adelante, en 1950 la escuela citada en primer lugar añadió a su programa de estudios nuevos cursos de meteorología especializada transformándose en la *Escuela de subprofesionales de Meteorología*. Las materias que ahora se imparten incluyen observaciones de superficie y aerológicas, observaciones geofísicas e hidrológicas, tecnología de instrumentos y, hasta 1963, pronósticos meteorológicos para la Aeronáutica.

En 1951, el presidente del Consejo Técnico para la Meteorología propuso que la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires debería de introducir un curso para ingenieros de meteorología. Dicha propuesta estaba basada en los siguientes hechos: (a) la creciente demanda de actividades meteorológicas nacionales precisaba de un Servicio Meteorológico ampliado y bien organizado capaz de hacer frente a todas sus responsabilidades, y (b) que por aquel entonces los Servicios Meteorológicos tenían que ser considerados como unas organizaciones científicas y técnicas complejas, cuyo desarrollo requería un personal altamente calificado para poder abordar todos los problemas inherentes a las actividades meteorológicas nacionales. Fue el 31 de diciembre de 1952 cuando finalmente se aprobó la introducción de cursos de meteorología en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales para la licenciatura y doctorado. Los primeros profesores de este curso pertenecían al personal docente de la Escuela superior de Meteorología de la Nación.

En 1957, la Escuela recibió sus primeros alumnos procedentes de otros países de