

## **Efecto de los aerosoles estratosféricos de la erupción de El Chichón sobre la temperatura en superficie para el Polígono Meteorológico de Camagüey**

JUAN CARLOS ANTUÑA, IOMARIS PÉREZ y DORAIDA MARÍN

*Centro Meteorológico de Camagüey, Apartado 134, Camagüey 70100, Cuba*

(Manuscrito recibido el 15 de enero de 1993; aceptado el 11 de agosto de 1993)

### RESUMEN

El análisis de las series de temperaturas medias mensuales en superficie para estaciones del Polígono Meteorológico de Camagüey (PMC), en el periodo 1980-1990, permite establecer la disminución de la temperatura media mensual, en el orden de 1°C, para el mes de mayo de 1982 como resultado de la disminución de la radiación solar causada por la nube de aerosoles estratosféricos de la erupción del volcán El Chichón (México) entre el 28 de marzo y el 4 de abril del mencionado año. Se descartan los posibles efectos de la nubosidad y las precipitaciones como resultado del análisis de las anomalías de insolación y precipitación. Se analiza la evolución de las temperaturas medias mensuales en el resto de 1982, apreciándose la tendencia a la disminución de las mismas a más largo plazo, como ha sido reportado ampliamente por la comunidad científica.

### ABSTRACT

The analysis of surface monthly mean temperatures for stations of the Meteorological Polygon of Camagüey, between 1980 and 1990, permits us to establish the decrement of the monthly mean temperature, of the order of 1°C, for May 1982 as a result of the decrease of the solar radiation produced by El Chichón stratospheric aerosols cloud that erupted between 28 March and 4 April of that year. The possible influence of clouds and precipitation is separated as a result of the analysis of sunshine and precipitation anomalies. The temporal evolution of the monthly mean temperature for the rest of 1982 was analyzed, showing a tendency to decrease in the longer term, as it has been reported by the scientific community.

### Introducción

El balance radiativo de la atmósfera está determinado por las características y cantidad de las nubes (su densidad óptica, extensión vertical y horizontal, altura y cobertura), por la concentración y distribución de gases traza y de aerosoles. Comparativamente el efecto de los aerosoles respecto a los otros dos factores es pequeño. No obstante, su influencia no puede ser despreciada, particularmente cuando ocurren fenómenos que provocan altas concentraciones de aerosoles como las nubes de polvo de los desiertos, polución ambiental y erupciones volcánicas (Tanré *et al.*, 1984).

En el caso de las erupciones volcánicas los efectos más notables y documentados se deben a los aerosoles estratosféricos (Handler, 1989) ya que su tiempo de residencia es mucho mayor que los troposféricos, provocando entre otros efectos el decrecimiento de la temperatura en la superficie terrestre, lo que ha sido ampliamente documentado a escala global (Handler, 1986; Sear *et al.*, 1987; Rampino *et al.*, 1988; Parker, 1988; Handler, 1989; Handler and Andsager, 1990). Este efecto a menor escala ha sido estudiado también, aunque no tan ampliamente.

La erupción del volcán mexicano El Chichón ( $17,3^{\circ}\text{N}$ ;  $93,2^{\circ}\text{W}$ ) entre el 28 de marzo y el 4 de abril de 1982, fue la más intensa de los primeros 90 años de este siglo, a lo que se une el hecho de haber sido la más estudiada dado el desarrollo alcanzado por la ciencia y la técnica. Sus efectos han sido reportados abundantemente (De Luisi *et al.*, 1983; Parker and Brownscombe, 1983; Handler, 1989; Rietmeijer, 1990) entre otros. Particularmente en México se han documentado los efectos de la nube de aerosoles estratosféricos sobre la temperatura (Galindo *et al.*, 1984) así como sobre la radiación global (Gay García *et al.*, 1990).

En el caso de Cuba observaciones de satélite permitieron reportar la propagación de una nube de cenizas (Mojena y García, 1984), conformada por aerosoles troposféricos, ya que la nube principal de aerosoles estratosféricos se propagó al oeste, tardando 21 días en circunvalar el planeta (Matson y Robock, 1984) y afectar (como se muestra en el presente trabajo) al Polígono Meteorológico de Camagüey (PMC).

El PMC está ubicado en la provincia de Camagüey, en la región oriental de Cuba, abarcando un área de aproximadamente  $6\ 000\ \text{km}^2$ , con sede en el Centro Meteorológico de Camagüey. En el mismo se han realizado durante más de 10 años experimentos de incremento artificial de las precipitaciones. Recientemente ha comenzado el monitoreo de aerosoles estratosféricos con lidar (Antuña, 1991).

### **Materiales y métodos**

La información empleada consistió en los valores medios mensuales de temperatura (T) en  $^{\circ}\text{C}$  y de nubosidad media mensual (N) en octavos de cielo cubierto, de las estaciones meteorológicas Camagüey, Florida, Nuevitas y Palo Seco, correspondientes al periodo 1980-1990 (ambos inclusive) de los horarios 10:00 am, 1:00 y 4:00 pm, hora local del meridiano  $75^{\circ}\text{W}$  (15:00, 18:00 y 21:00 Z). En el caso particular de la estación Camagüey se dispuso además para T de los horarios 7:00 am y 7:00 pm (12:00 y 00:00 Z).

Se emplearon además los valores medios mensuales de insolación (I) en horas luz de las cuatro estaciones y las medias mensuales de precipitación de la provincia de Camagüey (P) en mm. Toda la información fue suministrada por el Archivo del Centro Meteorológico de Camagüey, excepto P suministrada por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

Se calcularon las anomalías para cada una de las cuatro variables, definiendo anomalía como la diferencia entre el valor medio mensual y la media de la serie de 11 años. En el caso de T y N las anomalías (DT y DN) se obtuvieron para cada horario y luego por estaciones y para todo el PMC. Las anomalías de insolación (DI) se obtuvieron por estación y las de precipitación (DP) por meses a escala del PMC.

### **Resultados y discusión**

En la Figura 1 se muestra el curso anual promedio durante 1982 de DT en la estación Camagüey para los cinco horarios, destacándose su magnitud de  $-1^{\circ}\text{C}$  en el mes de mayo. Nótese que en el

resto de los meses las anomalías mensuales son positivas, o nulas (noviembre y diciembre). Se aprecia en la misma figura que la curva de tendencia de la temperatura antes de la anomalía de mayo tiene un carácter creciente mientras que a partir de junio es netamente decreciente lo que ocurre de manera similar en el resto de las estaciones, coincidiendo con lo reportado para el mismo periodo por 5 estaciones mexicanas (Galindo *et al.*, 1984). Si analizamos el periodo en cuestión a escala global encontramos que las temperaturas de mayo de 1982 en el trópico ( $26,6^{\circ}\text{N}$  -  $23,6^{\circ}\text{S}$ ) estuvieron al nivel más bajo de los años 80, aunque no se detectó ninguna anomalía notable (Hansen y Lebedev, 1988), lo que se ha demostrado que es consecuencia del efecto de los aerosoles estratosféricos de El Chichón (Handler, 1989; Handler and Andsager, 1990). El hecho de que no se detectara ninguna anomalía notable, se argumenta que el decrecimiento sobre tierra puede ser mayor ya que Hansen y Lebedev usaron el promedio zonal de temperaturas, que incluye las aguas calientes del este de la zona tropical del océano Pacífico (Handler, 1989). Por otra parte el evento El Niño 1982-1983 se caracterizó por su intensidad y comienzo tardío (junio 1982) según ha sido reportado (CSM, 1985), por lo que no es posible atribuirle influencias sobre el mes de mayo.

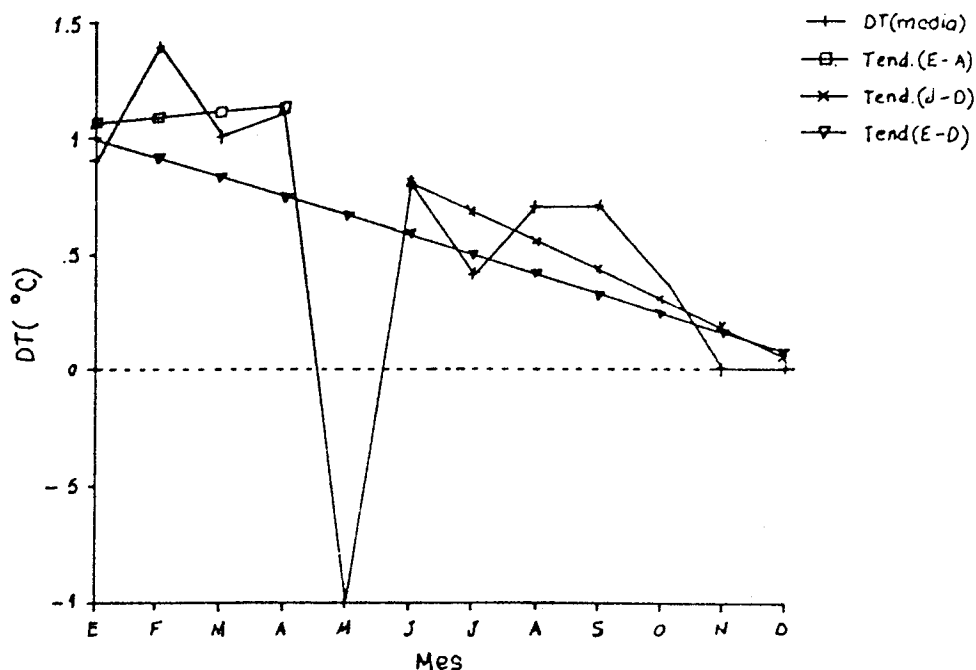


Fig. 1. Curso anual promedio de las anomalías de temperatura (DT) para el año 1982 en la estación Camagüey para los 5 horarios.

En la propia Figura 1 la evolución de DT con posterioridad a mayo muestra una tendencia decreciente, típica del efecto de los AE, que se explica por el desgarramiento que va sufriendo la nube de aerosoles estratosféricos como consecuencia de la interacción de los diferentes sistemas de vientos que encuentra en su desplazamiento en torno al planeta y a los cambios estacionales de la circulación general.

En la Figura 2 se muestran los valores de DT correspondientes al mes de mayo de 1982 para los diferentes horarios de todas las estaciones. Nótese que las anomalías están presentes a todos los horarios y en contrafase con el ciclo de calentamiento diurno, ocurriendo la mayor anomalía a la 1:00 pm prácticamente en todas las estaciones, con la excepción de Florida, donde la anomalía máxima se registró a las 4:00 pm. Si observamos la Tabla 1 podremos apreciar que los valores

de DN para mayo de 1982 presentan un comportamiento irregular en las diferentes estaciones, con casos como Florida donde no se manifiesta anomalía en la nubosidad, además de notarse a la 1:00 pm un incremento del área cubierta por nubes. Lo anterior permite establecer que si bien existió cierto incremento de la nubosidad respecto al resto del periodo, la manifestación inhomogénea de este fenómeno no permite explicar totalmente la disminución homogénea de la temperatura media mensual registrada en todo el PMC.

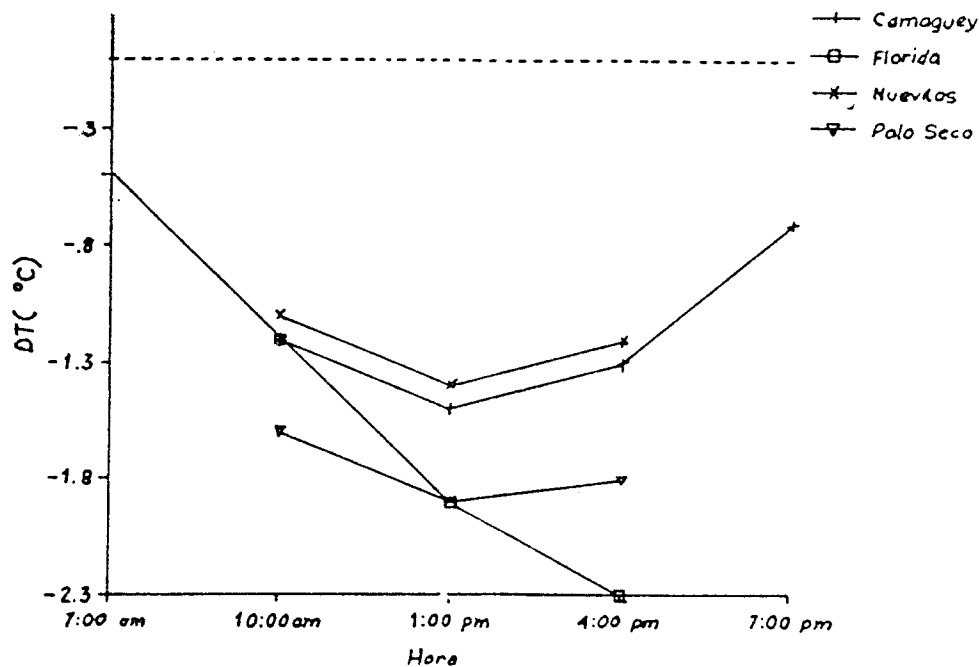


Fig. 2. Curso diario de las anomalías de temperatura (DT) correspondientes al mes de mayo de 1982 para los diferentes horarios en las estaciones del PMC.

Tabla 1. Anomalías de la nubosidad media mensual (DN) para diferentes horarios del mes de mayo de 1982 en cuatro estaciones del PMC.

Hora (z)	Camaguey	Nuevitas	Florida	Palo Seco
15:00	+ 1	+ 1	0	+ 1
18:00	0	+ 1	0	0
21:00	0	+ 1	0	+ 1

La Figura 3 muestra el curso multianual medio de DT para las cuatro estaciones, así como DP para los meses de mayo del periodo analizado, reafirmando la magnitud de la anomalía de mayo de 1982, así como que tuvo lugar al menos en la escala del PMC. Si observamos el comportamiento de DI para todo el año 1982, que muestra la Tabla 2, notaremos en el mes de mayo una anomalía negativa considerable para las cuatro estaciones, particularmente notable para la estación de Nuevitas, en la que casi duplica al resto, lo que concuerda con los resultados mostrados en la Tabla 1 en que se aprecia el incremento de la nubosidad a todos los horarios

en dicha estación. En la propia Tabla 2 se nota un comportamiento de la insolación similar al mostrado en la Figura 1, con altos valores positivos en general antes de mayo y valores pequeños, muchos de ellos negativos después de dicho mes.

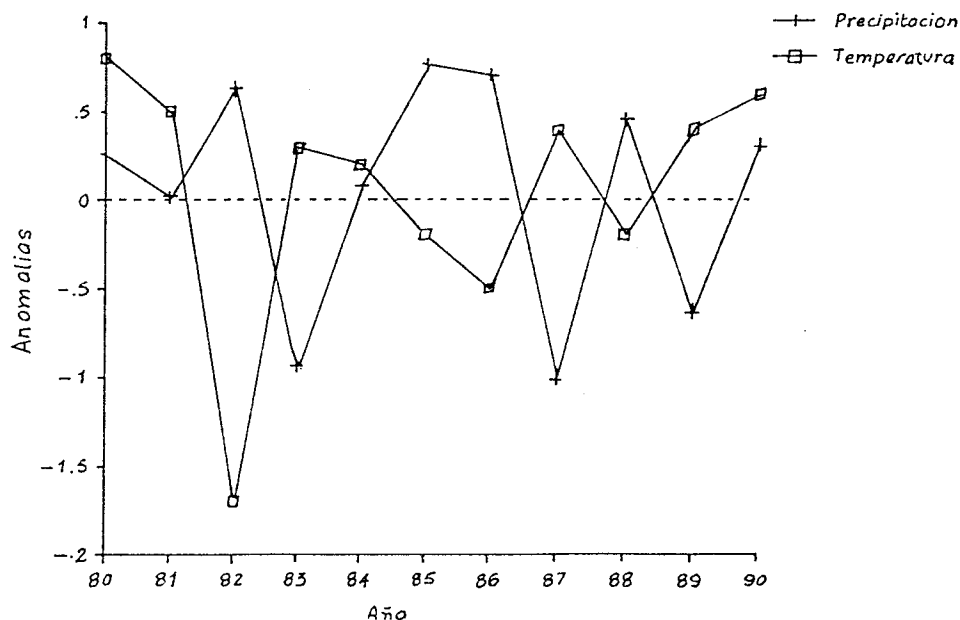


Fig. 3. Cursos multianuales correspondientes a los meses de mayo del periodo 1980-1990 de las anomalías de temperatura (DT) a las 18:00 Z y de precipitación (DP).

Tabla 2. Anomalías de la insolación media mensual (DI) para el año 1982 en cuatro estaciones del PMC.

Mes	Camagüey	Nuevitas	Florida	Palo Seco
Enero	0.3	- 0.1	0.1	0.0
Febrero	1.7	1.7	1.4	1.3
Marzo	0.4	1.1	- 0.3	0.6
Abril	0.9	0.8	0.1	1.0
Mayo	- 1.4	- 2.4	- 1.4	- 1.7
Junio	- 0.5	- 0.3	- 1.0	- 0.3
Julio	0.0	0.3	- 1.0	- 0.7
Agosto	0.3	0.5	0.4	0.1
Septiembre	- 0.2	- 0.2	- 0.8	- 0.7
Octubre	0.1	- 0.2	- 0.4	- 0.2
Noviembre	0.5	- 0.1	0.2	0.1
Diciembre	0.3	0.3	0.1	0.4

Los resultados expuestos permiten establecer que durante el mes de mayo de 1982 se registraron a escala del PMC anomalías negativas de la insolación y la temperatura medias mensuales, fenómeno que estuvo acompañado por el incremento de la nubosidad a algunos horarios en 3 de las estaciones, mientras que la cuarta (Florida) no presentó anomalías en la nubosidad. Otro hecho de suma importancia es que si bien el valor máximo de DT a escala del PMC se registró a la 1:00 pm (horario de máximo calentamiento diurno de todos los analizados), los valores de DN son cero en tres de las estaciones y sólo es +1 en la Nuevitas para ese mismo horario.

El caso de Nuevitas merece particular atención ya que se registran anomalías de nubosidad en todos los horarios estudiados, todos los diurnos y DI es prácticamente el doble de la registrada por las demás estaciones, sin embargo DT está prácticamente al mismo nivel que el registrado en Camagüey y es inferior en 0,5 °C a los registrados en Palo Seco y Florida. Luego el efecto del incremento de la nubosidad no se manifiesta en una disminución de la temperatura media mensual en Nuevitas mayor que en el resto de las estaciones. Ello permite descartar al aumento de la nubosidad como la causa de la disminución de la temperatura media mensual a escala del PMC en mayo de 1982.

En la propia Figura 3 notamos que los valores de DP para mayo presentan máximos de valores positivos en 1982, 1985 y 1988, todos de aproximadamente la misma magnitud, coincidiendo casi totalmente con máximos de los valores negativos de DT (excepto en 1985, donde el máximo de DT aparece en 1986). Este resultado confirma la influencia de la precipitación en la regulación del régimen de temperaturas en superficie, pero no permite explicar el valor de DT en mayo de 1982.

Hasta aquí hemos descartado los efectos de la nubosidad y las precipitaciones como responsables de la ocurrencia de DT para mayo de 1982. El único fenómeno capaz de explicarlo es la llegada de la nube de aerosoles estratosféricos al Caribe, que se propagó durante todo este tiempo sin sufrir desgarramientos apreciables y manteniéndose muy densa (Matson and Robock, 1984) y que en el Observatorio de Mauna Loa (19.5°N – 130.5°W) provocó una reducción de la radiación solar neta del 7,7% (De Luisi *et al.*, 1983).

Todo ello nos conduce a considerar que el mecanismo de influencia de los aerosoles estratosféricos sobre el PMC fue el de apantallamiento de la radiación solar, cuya manifestación es la disminución en 1.7 horas como promedio de la insolación en todas la estaciones del PMC.

Merece la pena detenernos en el hecho de que a pesar de haber ocurrido la erupción de El Chichón en abril su manifestación en el PMC tiene lugar en mayo. Como puede apreciarse en la propia Figura 1 el valor de DT es positivo en abril, a pesar de que se documentó el paso de la nube de aerosoles troposféricos sobre Cuba y muy particularmente sobre el PMC (Mojena y García, 1984), sin embargo, es en el mes de mayo que la nube de aerosoles estratosféricos alcanza el Caribe (Matson and Robock, 1984), manifestándose la disminución considerable de la temperatura media de dicho mes en todas la estaciones del PMC en el mismo orden de magnitud (1°C), en todos los horarios analizados. Ello pone de relieve una vez más el papel que juegan los aerosoles estratosféricos en la regulación del clima, no sólo a escala global, sino también a menor escala.

Particular atención reclama el hecho de que las anomalías en estaciones mexicanas ubicadas en latitudes vecinas al PMC (Galindo, 1984) no fueran tan notables como en este último. En opinión de los autores las diferentes condiciones físico-geográficas de ambas regiones influyen sobre los procesos de transferencia radiativa y conducción térmica que tienen lugar entre la zona afectada por la disminución de radiación solar debido a la nube de aerosoles estratosféricos y las regiones vecinas, sobre todo las ubicadas al norte y sur de las mismas. En el caso de México, ambas regiones son masas terrestres, mientras que para el PMC son masas de agua. De todo lo anterior se puede inferir la alta sensibilidad de nuestro territorio a fenómenos de esta índole respecto a regiones vecinas, por lo que reviste gran importancia para nuestro país el monitoreo de las erupciones volcánicas en la zona tropical y subtropical, tanto con información de satélite como con lidar.

## Conclusiones

Se ha determinado el efecto de la nube de aerosoles estratosféricos del volcán El Chichón sobre la insolación y la temperatura en superficie para el PMC, proponiéndose como principal mecanismo

del mismo el apantallamiento de la radiación solar. Se descartan los efectos de la nubosidad y las precipitaciones sobre la temperatura en superficie como los causantes de la anomalía de temperatura a escala del PMC en mayo de 1982. También se documentó la alta sensibilidad de nuestro territorio respecto a regiones vecinas ante fenómenos de esta índole, que recomiendan una mayor atención a los mismos.

## REFERENCIAS

- Antuña, J. C., 1991. Aerosoles estratosféricos en Cuba entre 1987 y 1989. (Remitido a la Revista Cubana de Meteorología).
- CSM, 1985. A critical review of the Climate System during 1982-1984. WMO Report. 52 pp.
- De Luisi, J. J., E. G. Dutton, K. L. Coulson, T. E. De Foor and B. G. Mendonca, 1983. On some radiative features of the El Chichón volcanic stratospheric dust cloud and a cloud of unknown origin observed at Mauna Loa. *J. Geophys Res.*, **88**, 6769-6772.
- Galindo, I., J. A. Otaola y G. Zenteno, 1984. Atmospheric impact of the volcanic eruptions of El Chichón over Mexico. *Geof. Int.*, **23**, 373-383.
- Gay García, C. and C. Conde Alvarez, 1990. Global and diffuse radiation at the surface (1978-1985). Evidence of El Niño and El Chichón. *Atmósfera*, **3**, No. 4, 281-290.
- Handler, P., 1986. Possible association between the climatic effects of stratospheric aerosols and sea surface temperatures in the eastern tropical Pacific Ocean. *J. of Climatol.*, **6**, 31-41.
- Handler, P., 1989. The climatic effects of volcanic aerosols on global climate. *J. of Volcanol. and Geotherm. Res.*, **37**, 233-249.
- Handler, P. and K. Andsager, 1990. Volcanic aerosols, El Niño and the Southern Oscillation. *Int. J. of Climatol.*, **10**, 413-424.
- Hansen, J. and S. Lebedev, 1988. Global surface air temperatures: update through 1987. *Geophys. Res. Lett.* **15**, 323-326.
- Matson, M. and A. Robock, 1984. Satellite detection of the 1982 El Chichón eruptions and stratospheric dust cloud. *Geofis. Int.*, **23**, 117-127.
- Mojena, E. y O. García, 1984. Propagación sobre Cuba de la nube de ceniza de las erupciones del volcán El Chichón, marzo-abril, 1982. *Geofis. Int.*, **23**, 143-153.
- Parker, D. E., 1988. Stratospheric aerosols and sea surface temperatures. *J. of Climatol.*, **8**, 87-90.
- Parker, D. E. and J. L. Brownscombe, 1983. Stratospheric warming following the El Chichón volcanic eruption. *Nature*, **381**, 3 February, 406-407.
- Rampino, M. R., S. Self and R. B. Stothers, 1988. Volcanic winters. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, **16**, 73-99.
- Rietmeijer, F. J. M., 1990. El Chichón dust: a persistent problem. *Nature*, **344**, No. 6262, 114-115.
- Sear, C. B., P. M. Kely, P. D. Jones and C. M. Goodess, 1987. Global surface-temperature responses to major volcanic eruptions. *Nature*, **330**, 365-367.
- Tanre, D., J. F. Geleyn and J. Slingo, 1984. Aerosols and their effects. *A. Deepak Publ.*, Hampton VA.