QC
987
.C92
I5
no.52

ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA

INFORME CIENTIFICO-TECNICO

No. 52

LA COALESCENCIA EN NUBES CUMULOS SUPERENFRIADAS

INSTITUTO DE METEOROLOGÍA DE LA ACC

SILVER SPRING
AUG

MARIO VALDÉS, ABELARDO MIRANDA
y JESÚS GARCÍA

Instituto de Meteorología
Academia de Ciencias de Cuba

DIRECCIÓN DE PUBLICACIONES DE LA ACC
La Habana, marzo de 1978

National Oceanic and Atmospheric Administration

Climate Database Modernization Program

ERRATA NOTICE

One or more conditions of the original document may affect the quality of the image, such as:

Discolored pages
Faded or light ink
Binding intrudes into the text

This document has been imaged through the NOAA Climate Database Modernization Program. To view the original document, please contact the NOAA Central Library in Silver Spring, MD at (301) 713-2607 x124 or www.reference@nodc.noaa.gov.

LASON
Imaging Subcontractor
12200 Kiln Court
Beltsville, MD 20704-1387
March 28, 2002

Blank page retained for pagination

LA COALESCENCIA EN NUBES CUMULOS SUPERENFRIADAS

MARIO VALDES, ABELARDO MIRANDA y JESUS GARCIA

RESUMEN. La altura alcanzada por la población de las nubes en la región de trabajo, parece ser un factor determinante en la selección del método de trabajo que se siga para la siembra de las nubes a fin de obtener su modificación. Los resultados del estudio de las nubes con radar, indican condiciones favorables para la aplicación del método de cristalización, pero ecos obtenidos a bajos niveles, muestran la existencia de elementos de precipitación mucho antes de que la nube alcance la altura requerida para la cristalización de las gotas. Los resultados del estudio de radioecos corroboran el desarrollo de los mismos mediante una función cuadrática, de la cual se utiliza uno de sus coeficientes, C (km/min^2), infiriéndose que, tanto en nubes calientes como superenfriadas, el mecanismo predominante pudiera ser el de la coalescencia, lo que implica que hay que tener en cuenta este factor para el diseño de experimentos de lluvia provocada en zonas tropicales.

ABSTRACT. Results of cloud studies by radar indicate favourable conditions for the aplication of cristalization method. Heights attained by cloud population in working regions to be a determining criteria for the selection of this method, but the echoes obtained at lower levels show the presence of precipitation elements before the cloud arrives the required and necessary height for drop crystalization. The study of those radar echoes corroborate their development by means a quadratic function, of which its coefficient C (km-min^{-2}) is used to infer that coalescence is the predominant mechanism in both hot and supercooled clouds. This implies that this factor may be taken in account in the desing of precipitation experiment to be performed in tropical zones.

1. INTRODUCCION

El diseño de un experimento para la modificación de las nubes necesita, previamente, de la información sobre las condiciones naturales en que se desarrolla la nubosidad en la zona de operación, pues según el tipo de mecanismo de precipitación por el cual se supone que se formen las lluvias, se decide sobre la aplicación de una determinada metodología de trabajo.

Puede establecerse un criterio al respecto de acuerdo con el estudio de la altura que alcanzan los cúmulos. Tomando como referencia la isoterma cero grado centígrado, las nubes que alcanzan alturas mayores se supone que son más propicias a la formación de gotas de precipitación por el mecanismo de cristalización (condensación-sublimación). Mientras que las nubes por debajo de la isoterma, forman sus elementos por el mecanismo de la coalescencia (condensación-coalescencia).

Utilizando los datos de las investigaciones realizadas en 1971 con un radar meteorológico sobre la región occidental de Cuba (Valdés y Lobodin, 1975), se puede confeccionar un gráfico con las alturas máximas alcanzadas por los radioecos, el cual se presenta en la Fig. 1. Las curvas

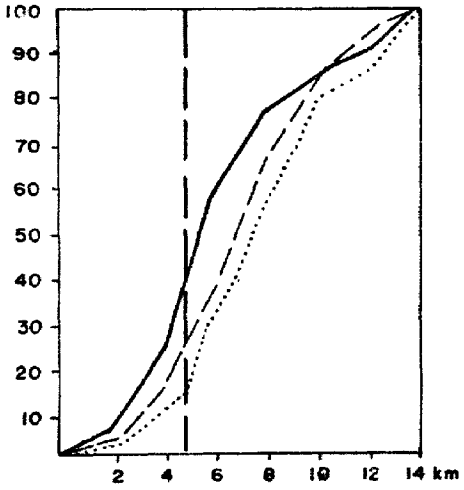

Fig. 1. Porcentaje acumulativo de las alturas de los radioecos. Altura de la isoterma 4,5 km. Mes de mayo ——— junio — — — julio . . . .

determinan el por ciento de ecos que existe por debajo de una determinada altura, correspondiendo cada una de ellas a los meses de mayo, junio y julio de 1971. La línea vertical que separa el gráfico en dos partes corresponde a la altura más frecuente de la isoterma cero grado centígrado de 4,5 km, que se obtuvo del análisis de los sondeos aerológicos. Solamente entre el 20 al 30 por ciento de los radioecos estaban a temperaturas superiores a los cero grados centígrados. Los restantes alcanzaban alturas que permitían la presencia de agua superenfriada y cristales de hielo, con temperaturas de hasta —40°C según lo reportado por Valdés y Lobodin (1975).

Con estos resultados puede emitirse el criterio, a priori, de que un experimento para la modificación de las nubes puede estar orientado hacia el uso de métodos de activación con reactivos que aceleren el proceso de la cristalización.

Sin embargo, la mayoría (87%) de los radioecos estudiados, presentan sus alturas iniciales por debajo de la isoterma 0°C. Esto indica la existencia de elementos de precipitación mucho antes de que la nube alcance alturas en que se pueda presumir que dichos elementos hayan sido formados por el mecanismo de la cristalización. Lo cual implica el hecho de que los cúmulos superenfriados en su base inicial formen gotas de precipitación por el mecanismo de la coalescencia.

Esta situación motivó que se continuara con el estudio de los cúmulos individuales, con el propósito de esclarecer en algo el papel de estos mecanismos de precipitación y mejorar los criterios establecidos para la zona de trabajo.

2. EVALUACION DE LOS DATOS

Los resultados obtenidos en los trabajos del año 1971 sobre los radioecos de nubes convectivas, brindaron información sobre las características naturales de los cúmulos. Los datos utilizados en este trabajo corresponden a las mediciones realizadas a más de 500 nubes en los meses de mayo, junio, julio y agosto, en los años 1972 y 1973, con el radar centimetrado MRL-2 y con la misma metodología usada en 1971.

El análisis de estas mediciones arrojó como resultado que en el 94% de las nubes estudiadas en estos dos años, los perfiles del crecimiento de los radioecos presentaban un buen ajuste a una función cuadrática, con coeficientes de correlación igual o mayor a 0,90. Dado el hecho de que en estos datos se había realizado una selección más rigurosa de los radioecos de nubes convectivas y el muestreo era completamente aleatorio, quedaba justificada la utilización de los coeficientes de la ecuación empírica como elementos cuantitativos del desarrollo. La ecuación parabólica del perfil del radioeco tiene la forma siguiente:

$$H = -CT^2 + BT + H_0 \qquad (1)$$

donde H es la altura del radioeco (km); T el tiempo (min); H_0 la altura inicial del perfil (km); y los coeficientes C (km/min^2) y B (km/min).

Como el ajuste de esta ecuación era significativamente bueno, tanto para las nubes calientes, como para las superenfriadas, la comparación de los coeficientes podría arrojar diferencias entre los mecanismos de precipitación.

Las investigaciones se centraron fundamentalmente en el coeficiente C (km/min^2). El coeficiente B (km/min) depende en gran medida del momento en que el operador de radar seleccione al azar el eco de la nube. Su valor no afecta la forma del perfil. La altura H_0 presenta otras características que no son analizadas en este trabajo (Valdés, *et al.*, 1977) y puede eliminarse sin temor de que afecte los resultados que se persiguen.

Bajo estas consideraciones, podemos hacer un traslado de ejes, de manera que la ecuación (1) quede de la siguiente forma:

$$H = -C\,T^2 \qquad (2)$$

Seleccionando adecuadamente los valores de C para los dos tipos de nubes estudiadas (calientes y superenfriadas), nos encontramos que las pruebas estadísticas efectuadas para correlacionar estos valores, bajo diferentes condiciones sinópticas y geográficas no son significativas. Igualmente ocurrió con las alturas máximas de los radioecos.

Sin embargo, se encontró una gran correlación con el tiempo total del desarrollo, pudiéndose ajustar a una ecuación potencial de la forma:

$$C = K\,t^{-b} \qquad (3)$$

donde t es el tiempo total del perfil (min); K y b son coeficientes.

La Tabla 1 muestra los valores de K y b para los dos tipos de nubes. El análisis estadístico señala que no existen diferencias entre las regiones para nubes calientes y las regresiones para las superenfriadas, es decir, el valor b, para cada año. No así para las medias representadas por el valor K. Los valores de la Tabla, representados en un gráfico log-log, muestran rectas paralelas para los dos tipos de nubes, en un mismo año.

TABLA 1. Valores K y b de la relación (3) para los tres años y los dos tipos de nubes

Año	Tipo	K	b
1971	calientes	1962,8	1,77
	superenfriadas	4283,5	1,83
1972	calientes	644,7	1,43
	superenfriadas	689,7	1,33
1973	calientes	202,0	1,20
	superenfriadas	392,8	1,20

3. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Partiendo del hecho de que consideramos que el perfil del radioeco sigue un desarrollo parabólico, podríamos plantear que la ecuación diferencial del crecimiento del eco es del tipo:

$$\frac{d^2H}{dT^2} = -2C \qquad (4)$$

que representa un movimiento uniformemente acelerado, donde el múltiplo de C es la aceleración del sistema. Las fuerzas que producen esta aceleración constante no tienen una interpretación directa como en el caso de la ecuación diferencial de las torres de cúmulo [(Levine, 1959); Simpson, *et al.*, (1965); Simpson y Wiggert (1971)], la cual tiene características no lineales. La ecuación (4) está asociada a las interacciones de los distintos procesos que se efectúan en la nube y cuyo aspecto más energético es captado en los radioecos, y pudiera revelar un mecanismo gravitatorio. Si comparamos esto con el fenómeno de la coalescencia, la cual surge de la colisión de las gotas en sus movimientos de ascenso y descenso dentro de la nube, y cuyo modelo, Bowen (1950), es también un movimiento gravitatorio, expresado por:

$$dh/dT = u - (gpGfS/9n)T \qquad (5)$$

donde h es la altura de una gota de radio r que se mueve en una población de gotas con radios r′, u es la velocidad de las corrientes ascendentes, g la aceleración de la gravedad, p la densidad del agua, n la viscosidad, S la sobresaturación del medio y Gf un valor de $1{,}0 \times 10^{-6}$ a 10°C y 800 mb.

Los gráficos de h vs. T del movimiento de la gota dan también un perfil parabólico igual al de los radioecos, estos últimos para la altura H del tope y el tiempo T. Bajo la consideración de que el eco representa la parte más activa de la nube y que su detección y desarrollo se deben al crecimiento de las gotas por el mecanismo de precipitación, esta similitud puede estar fundamentada en el hecho de que ese mecanismo es precisamente el de coalescencia.

Podemos ver esta suposición desde otro punto de vista, si recurrimos a la relación (3). En las pruebas realizadas con C se dijo que no se obtuvieron niveles de significación aceptables para relacionar C con fenómenos de mesoescala o bajo diferentes situaciones geográficas (Tierra, mar y otras). Esto pudiera significar que C es producto de los procesos físicos internos de la nube, lo que coincide con lo planteado anteriormente con relación a la ecuación (4). Bajo el criterio de que C puede ser representativo de la microestructura de la nube, los resultados obtenidos por (3) y cuantificados en la Tabla, asocian a C con el mecanismo de la coalescencia para las nubes calientes. Mientras que las superenfriadas, regidas por otro mecanismo deberían apartarse de los resultados obtenidos en el otro tipo de nube. Sin embargo, solamente encontramos una traslación paralela de las superenfriadas a la recta de las calientes. Lo que bien puede significar que el mecanismo de la coalescencia es más activo en estas regiones que el de la cristalización, siendo el más importante en la formación de la precipitación en ambos tipos de nubes.

4. CONCLUSIONES

a) Se ha corroborado el hecho de que los radioecos de nubes cúmulos individuales siguen un desarrollo parabólico según se expresa en la ecuación (1).

b) Es posible que ese desarrollo pueda resolverse por una ecuación diferencial como (4). Que es un movimiento uniformemente acelerado, muy similar al que se plantea para la coalescencia. De manera que la coalescencia podría ser el factor determinante en la formación de gotas de precipitación en los dos tipos de nubes.

c) La relación (3) presenta la dependencia de C con el tiempo de duración del radioeco y muestra también que no existen diferencias sustanciales entre los procesos de precipitación de las dos nubes. Esto no niega la existencia de mecanismos de cristalización en las superenfriadas, sino que pudiera estar solapado por el de la coalescencia.

d) Estos resultados permitirían establecer criterios más adecuados sobre los métodos para la modificación de las nubes, ya que pueden orientarse los mismos hacia la aceleración del mecanismo de la coalescencia con reactivos adecuados. Y en el caso de las nubes superenfriadas, utilizar combinadamente los reactivos para acelerar ambos mecanismos.

e) Se sugiere realizar mediciones simultáneas con el radar y con instrumentos en aviones-laboratorio, para comparar los resultados de la ecuación (5) con el coeficiente C, y justificar la gran similitud obtenida en las funciones parabólicas de los radioecos y las gotas del mecanismo de coalescencia.

BIBLIOGRAFIA

BOWEN, E. G. (1950): The formation of rain by coalescence. *Aust. J. Scient. Res. A3, 198.*

LEVINE, J. (1959): Spherical vortex theory of bubble-like motion in cumulus clouds. *J. Meteorol. 16.*

SIMPSON, J., SIMPSON, R., ANDREWS, D., EATON, M. (1965): Experimental Cumulus Dynamics. *Rev. of Geof. Vol. 3 Nro. 3.*

SIMPSON, J. and WIGGERT, V. (1971): 1968 Florida Cumulus Seeding Experiment: Numerical Model Results. *Mon. Wes. Rev. Vol. 99, Num. 2.*

VALDES, M. y LOBODIN, V. (1975): Characteristics of Radiolocalization of tropical convective clouds in Cuba and the possibility of active influence over them. *Artificial Weather Modification Symposium,* Grenoble, Francia.

VALDES, M., GARCIA, J. y MIRANDA, A. Ecuación Empírica de los radioecos de nubes cúmulos tropicales. (Resumen no publicado) 1977.