

Algunos parámetros de la nubosidad durante el experimento KETO-84 obtenidos con datos digitalizados de radar*

**Juan C. ANTUÑA
y **Adalberto OSUNA

RESUMEN. *Empleando el cifrador EC-9002 instalado en el radar MRL-5, se obtuvo información digitizada de una muestra de 18 días del Experimento KETO-84. Se estudia el comportamiento del área cubierta, la reflectividad máxima y los topes máximos. De los resultados se concluye que la nubosidad en el área está formada en gran medida por nubes Cúmulos (Cu) favorables a los procesos de inseminación para obtener incrementos adicionales de las precipitaciones. Una parte notable de estas nubes rebasa los 10 km de topes.*

INTRODUCCIÓN

La caracterización de la nubosidad con ayuda del radar meteorológico es de gran importancia pues brinda información aplicable a múltiples campos de la Meteorología y de otras ramas de la ciencia y la técnica. El radar es un instrumento que brinda la posibilidad de estudiar simultáneamente grandes extensiones de la atmósfera así como diversos sistemas nubosos, obteniendo volúmenes de información en rmes que sólo han podido ser utilizados en la actualidad mediante la aplicación de las modernas técnicas de cómputo (Smith *et al.*, 1974; Carpenter *et al.*, 1980; Abner *et al.*, 1981; Greene *et al.*, 1983).

En el Polígono Meteorológico de Cuba (PMC), ubicado en la provincia de Cama-

güey, se vienen desarrollando desde 1982 los experimentos complejos de nubes tropicales (KETO) auspiciados por el Laboratorio Conjunto Cubano-Soviético de Meteorología Tropical (LCCS).

Entre las facilidades instaladas en el PMC con fines de investigación se encuentran el radar dual MRL-5 (3,2 y 10,5 cm) cuyas características han sido descritas con anterioridad ampliamente (Batista y colaboradores, 1982).

*Manuscrito aprobado en junio de 1987.

**Centro Meteorológico Experimental de Camagüey.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el Observatorio Aerológico Central de la Unión Soviética (TSAO), se desarrolló el cifrador EC-9002 para grabar en banda magnética la información digitizada del radar, así como el conjunto de programas para el procesamiento de la información y obtención de los planos de altitud constante, más conocidos en la literatura como CAPPI. El CAPPI se obtiene hasta una altura de 13 km con una separación vertical de 1 km, a partir del nivel 0-1 km; horizontalmente la información posee un paso de rejilla de 2 km y abarca hasta un radio máximo de 80 km. El juego de programas está concebido para la operación del radar con un ángulo de elevación de $1,5^\circ$ a partir de $0,0^\circ$, una velocidad de la antena de 5 rev/min., en exploración circular, y una longitud de impulso de 2 u/seg.

Un prototipo de este equipo se instaló a mediados de 1983 en el radar MRL-5 y se puso en explotación en el KETO-84 que se llevó a cabo durante los meses de agosto y septiembre de 1984.

El cifrador fue operado en los horarios en que se realizarían los vuelos experimentales, tomándose la información con un intervalo de 15 min., empleando una longitud de onda de 3,2 cm.

Para el presente trabajo se tomaron en consideración tres parámetros: Área cubierta, reflectividad máxima y topes máximos.

El área cubierta se obtuvo en las impresiones del CAPPI como información anexa, en forma de porcentos, por niveles. A partir de este resultado se obtuvieron los promedios del área cubierta para cada horario a todos los niveles y para toda la muestra por niveles.

También se calculó el promedio de área cubierta por capas (de 3 km de espesor) para toda la muestra. Una evaluación burda del área cubierta por ecos fijos (nivel 0-1 km) muestra que éstos ocupan un área de 0,5%, eliminándose los mismos en el procesamiento.

Con relación al tope máximo debe tomarse en consideración que la información disponible sólo permite evaluar los topes hasta 13 km, por lo que todos los que rebasan esta altura pueden ser incluidos sólo dentro de la misma categoría.

Para cada horario fue evaluado el tope máximo existente en toda el área, calculándose su distribución frecuencial o niveles. Además se evaluaron las velocidades medias de crecimiento y decrecimiento de los mismos.

En cuanto a la reflectividad máxima (ZM) deben tenerse en consideración los siguientes aspectos:

- a) El radar MRL-5 sólo ha sido calibrado internamente.
- b) El programa de procesamiento incluye la corrección en distancia de la reflectividad, ajustándola a la de un objetivo situado a 80 km del radar.
- c) La máxima reflectividad que brindan los programas de procesamiento es de 45 dBZ corregidos en distancia.

La ZM fue evaluada por niveles a cada horario, así como su ubicación respecto al radar, obteniéndose los porcentos de ocurrencia por niveles y rumbos. También se analizaron los casos en que se alcanzó el valor máximo de 45 dBZ.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Área cubierta: El comportamiento de los porcentajes promedios por niveles se muestra en la Fig. 1, donde se observa que hasta los 6 km de altura éste oscila entre 7 y 8%, decreciendo monótonamente a partir de ese nivel a razón de 0,7% (141 km²) por cada kilómetro de altura hasta alcanzar 2% en el nivel 2-3 km. El promedio para todos los niveles es de 6%. Este valor permitió calcular el volumen promedio de la nubosidad en el área de exploración (80 km de radio por 13 km de altura) que resultó ser aproximadamente $1,6 \cdot 10^4$ km³.

Un análisis de la distribución por niveles de los máximos de área cubierta en cada horario presentó dos máximos: uno en el nivel 2-3 km, y otro en el nivel 7-8 km. Los autores atribuyen el máximo a la zona próxima a la base, en que tienen lugar por una parte procesos de adentramiento y desadentramiento que provocan la existencia de un área considerable de radioe-

cos, así como el hecho de que múltiples cúmulos húmiles no rebasan los 3 km de altura. El segundo máximo se atribuyó, por los autores, a la región de aparición de los yunques y a la presencia de los alto-cúmulos. Estas hipótesis deben ser aún comprobadas.

Tanto la Fig. 1 como la Fig. 2 corroboran que en el PMC predominan las nubes de desarrollo vertical con abundantes cúmulos congestus, así como que la presencia de cúmulos nimbus es apreciable.

Debe tenerse en cuenta que 90% del área presente en el nivel 2-3 km alcanzó la isoterma de 0°C, y 71,0% la de -10°C (4-5 y 6-7 km, según Rivero (1984), lo que nos da una idea de qué porcentaje de la nubosidad alcanzó el estadio necesario para ser sometida a la influencia activa.

En forma análoga a la anterior se encontró qué porcentaje de nubosidad que alcanzó los 4-5 km (cúmulos congestus),

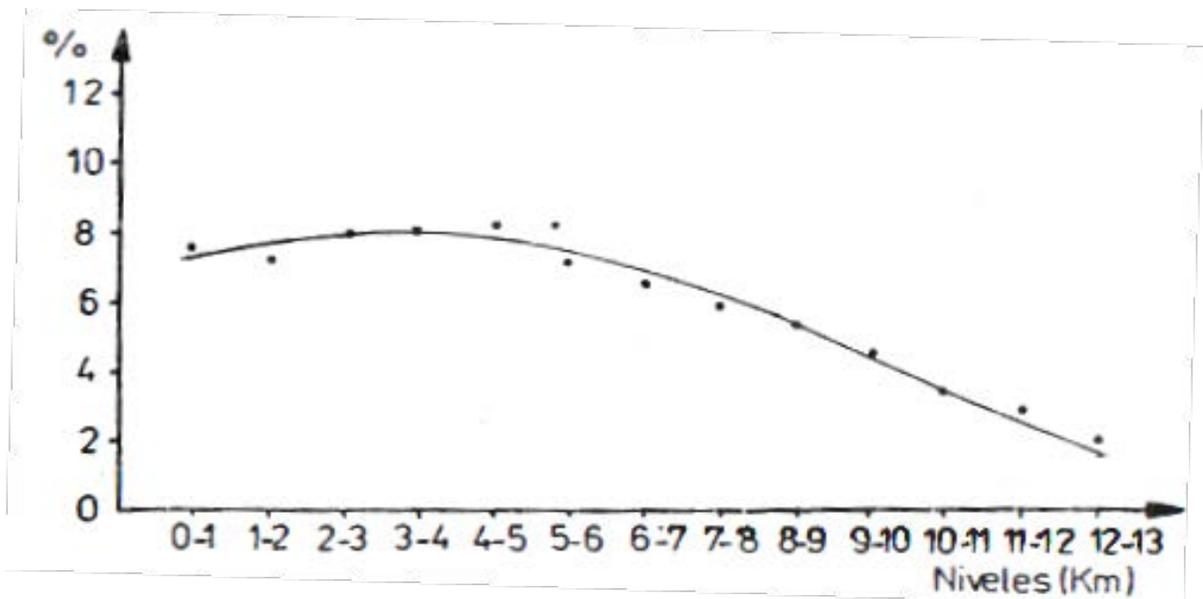


Fig. 1. Promedios por niveles del porcentaje de área.

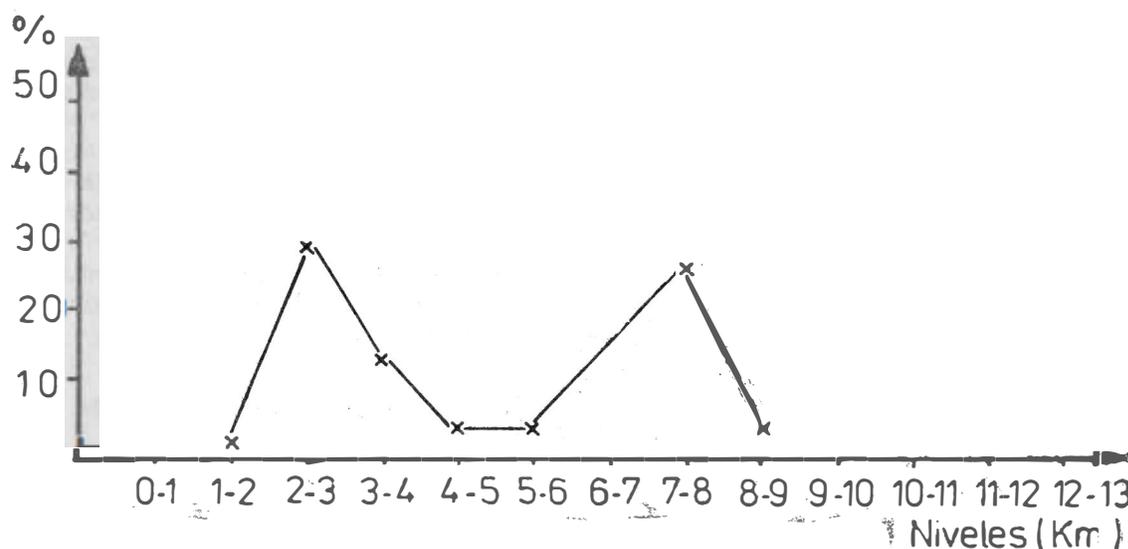


Fig. 2. Distribución porcentual de los máximos de área cubierta a todos los niveles.

alcanza los 8-9 km (cúmulos nimbos). Este resultó ser 61,5%, confirmando lo planteado por Batista (1979).

El máximo porcentaje de área cubierta a todos los niveles ocurrió el 28 de agosto a las 4:40 pm (hora normal) pudiendo ser apreciadas en la Tabla 1. El promedio de todos los niveles es de 20,5% permitiendo evaluar el volumen de la nubosidad, que resultó ser $5,4 \cdot 10^4$ km³. Es de notar que este día el PMC se hallaba bajo los efectos de una onda tropical. Este día el volumen total de las precipitaciones sobre el PMC fue de 612,2 mm, que si bien no es el máximo volumen de precipitación ocurrido en los días que componen la muestra, no existe información de radar en el mismo horario para aquellos días que los superan en volumen de precipitación total. Además, debe tomarse en cuenta que la red pluviométrica no está uniformemente distribuida, así como tampoco presenta la densidad adecuada, no siendo totalmente representativa del PMC.

TABLA 1. Porcientos de área cubierta por niveles el 28 de agosto a las 4:40 pm.

Nivel	%
0-1	20,9
1-2	21,7
2-3	24,3
3-4	24,6
4-5	26,9
5-6	27,7
6-7	27,7
7-8	26,5
8-9	23,8
9-10	19,0
10-11	12,3
11-12	6,8
12-13	3,9

Reflectividad máxima

La evaluación de la reflectividad máxima por niveles, arrojó que en 77% de los casos ésta se produjo en los niveles comprendidos entre 0 y 5 km concordando

con reportes para zonas tropicales.

El mayor valor de reflectividad (reflectividad máxima absoluta) que registran los programas de procesamiento (45 dBZ con corrección en distancia), fue registrado los días 19 de agosto (12:45 pm), 16 y 18 de septiembre (12:45 pm y 2:00 pm, respectivamente).

El 19 de agosto, la reflectividad máxima absoluta (ZM) se produjo en un área de ecos situada 78 km al E del radar apareciendo en el nivel 1-2 km y continuamente desde 3-8 km, o sea, estaban presentes dos núcleos de Z_{max} ; el área y volumen del núcleo mayor fue de 8 km² y 28 km³, respectivamente, encontrándose la primera en el nivel 4-5 km. El tope de los ecos de la línea era superior a 13 km.

El 16 de septiembre se produjeron 4 núcleos con el valor de ZM, asociados a dos líneas de ecos situadas al NE y SW de la estación, extendidas ambas del NW al SE y ubicadas a una distancia aproximada de 20 km del radar. En la línea situada al NE se registraron 3 núcleos; uno de ellos situado en el nivel 0-1 con un área de 4 km², otro se extendía desde el nivel 0-1 continuamente hasta el nivel 3-4 con un área máxima de 8 km² en los niveles 1-2 y 2-3, y un volumen máximo de 24 km³; el restante se extiende entre 1 y 5 km, con un área máxima de 12 km² en el nivel 3-4 y un volumen máximo de 24 km³. En esta línea los núcleos estaban separados, aproximadamente, de 20 a 30 km entre sí.

El núcleo situado en la línea del SW se produjo en el nivel 3-4 con un área de 4 km². En ambas líneas el tope era superior a los 13 km.

Mientras, el 18 de septiembre el núcleo de ZM se registró en un eco aislado, situado 35 km al SW del radar, con 7 km de tope, estando la ZM en el nivel 3-4 km con un área de 8 km².

De estos casos se puede apreciar que la ZM se produce tanto para sistemas nubo-

sos como nubes aisladas, preferentemente en los niveles entre 0 y 5 km (aunque se dio el caso de 8 km de altura el día 19 de agosto) no registrándose en dos períodos consecutivos de observaciones (uno del otro 15 min.), por lo que se les puede atribuir un tiempo de vida menor de 15 min.

La Tabla 2 muestra la distribución espacial (en porcentos) de la ZM para todos los niveles, a todos los horarios.

TABLA 2. Distribución espacial de la Z_{max}

Rumbo	NW	NE	SW	SE
%	18	21	31	30

Topografía

La distribución frecuencial de los topes máximos (Fig. 3) para toda la muestra, permite apreciar que, aproximadamente, 50% de los topes máximos rebasaron los 13 km de altura y más de 70% los 11 km. Esto confirma ideas expuestas anteriormente por Batista (1979) de que la ocurrencia de los cúmulos nimbo es un fenómeno corriente en nuestra región, al igual que para otras zonas del País según demostraron Valdés y Lobodin (1975).

Los valores medios de las velocidades de crecimiento y decrecimiento de los topes máximos fueron de 2,9 y 2,5 m/seg respectivamente, estando dentro del rango de valores obtenidos por Pérez (1983) que oscila entre 3,1 y 10,4 para las velocidades de crecimiento, y entre 1,2 y 10,1 para las de decrecimiento.

Asumiendo el comportamiento del área cubierta con la altura como lineal, a partir de 6 km, podemos llegar a la conclusión de la extrapolación de esta parte de la curva en la Fig. 1, de que como promedio

los topes máximos alcanzan la altura de 16 km. Este valor es muy próximo al hallado por Pérez (1983) para una muestra de 5 días durante el Experimento KETO-83

donde obtuvo, como promedio de los topes máximos, la altura de 15,5 km, así como que concuerda con los valores obtenidos por Batista (1979).

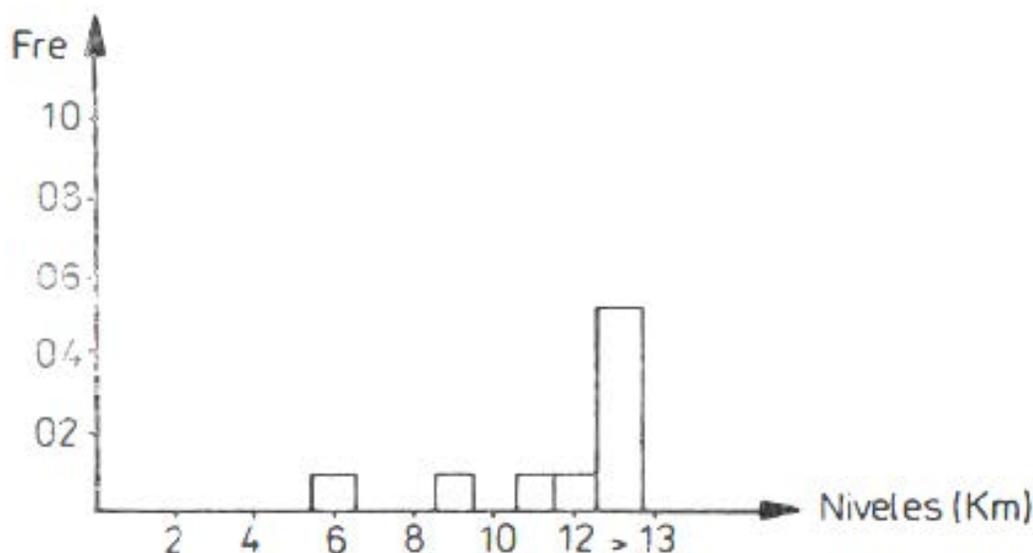


Fig. 3. Distribución frecuencial de los topes máximos.

CONCLUSIONES

Se ha obtenido, por primera vez para el PMC, información sobre el comportamiento del área cubierta, las reflectividades máximas de los radioecos y los topes máximos que, de una forma muy general, permiten reafirmar los criterios preexistentes sobre la nubosidad, entre ellos la abundancia de nubes de desarrollo vertical (cúmulos húmilis, congestus y nimbus), así como reafirmar que no es un fenómeno

extraño que los cúmulos nimbus en nuestra región alcancen 14,0 o más km de tope.

Se ha corroborado que la ocurrencia de valores máximos de la reflectividad puede estar asociado tanto a líneas como áreas de ecos o incluso ecos aislados, reafirmando el papel que desempeñan los fenómenos de mesoescala en nuestra región.

Se ha determinado además (al menos provisionalmente), valores máximos para los parámetros estudiados.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Lic. Roger Rivero Vega por la revisión crítica del manuscrito y sus valiosas sugerencias; al Lic. Luis Batista Ta-

mayo por habernos facilitado diversos materiales, así como también su análisis crítico del mismo y sugerencias.

REFERENCIAS

- Ahner, P. R., R. D. Greene, y M. D. Hudlow (1981): RAD-COMP, a real time radar data communications and processing system. *Fourth Conf. on Hydrometeorology*, AMS, pp. 111-120.
- Batista, L. (1979): "Comportamiento de las características de la nubosidad en la región del PMC durante el verano" [inédito], Informe Científico-Técnico al Grupo Nacional de Lluvia Provocada.
- Batista, L., E. Amador, R. Tichina, y G. A. Medvedev (1982): Mediciones de radares de los chubascos de verano en la región de Camagüey. En *Simposio Internacional por el 5to. Aniversario del LCCS de Meteorología Tropical y Huracanes*, Ciudad de la Habana.
- Carpenter, K. M. (1980): An interactive display system for radar data. *Met. ORRL, Research Report*, 29:1-10.
- Greene, D. R., J. D. Nilsen, R. E. Saffle, D. W. Holmes, M. Hudlow, y P. R. Ahner (1983): RADAP II, an interim radar data processor. En *21st. Conf. Radar Met.*, AMS, pp. 19-23.
- Pérez, I. (1983): "Estudio preliminar de los topes en el PMC" [inédito], Tesis de grado.
- Rivero, R. E. (1984): "Condiciones meteorológicas benignas durante el experimento KETO-84" [inédito], Informe Científico-Técnico del Tema 42505, Camagüey.
- Smith, P. L., H. R. Hardy, y K. H. Glover (1974): Application of radar to meteorological research. *Proceedings of the IEEE*, pp. 724-725.
- Valdés, M. y V. M. Lobodin (1975): Characteristics of radio-localization of tropical convective clouds in the Island of Cuba region and possibility of active influence over them. En *Artificial Weather Modification Symposium*, Grenoble, Francia.

Ciencias de la Tierra y del Espacio, 17, 1990

SOME PARAMETERS OF THE CLOUDINESS DURING THE KETO-84 EXPERIMENT, OBTAINED WITH RADAR DIGITIZED DATA

Juan C. ANTUÑA
and Adalberto OSUNA

ABSTRACT. *Using the EC-9002 digitizer, aboard the MRL-5 radar, was obtained digitized information of 18 days of the KETO-84 Experiment. The evolution of the convert area, maximum reflectivity and heights are studied. It is concluded that the cloudiness is composed by cumulus, favourable to the seeded activities to obtain additional increments of the precipitations. Important part of the clouds are bigger than 10 km.*