

## **LAS GRANDES NUBES CONVECTIVAS A SOTAVENTO DE LOS ANDES, SUS CARACTERISTICAS Y SU COMPORTAMIENTO**

MARIA ELENA SALUZZI - JOSE MIGUEL NUÑEZ - LAURA PEREZ

Programa Nacional de Lucha Antigranizo  
Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales

Se analiza la información de radio-eco obtenida por el radar FPS-18, de 10 cm de longitud de onda en sus presentaciones PPI y RHI. Se describen los programas que cumple el radar para obtener la información y asimismo las técnicas de análisis, mostrándose con ejemplos su aplicación y la información resultante. Se obtiene la "nube media máxima" representativa de los casos estudiados y se definen los parámetros que sirven a la construcción de la tabla de probabilidad granicera, mostrándose su marcha y tendencia. Finalmente, se procura caracterizar a las nubes graniceras y de lluvia a través de las diferencias en el comportamiento de la marcha de sus parámetros y de sus perfiles de reflectividad.

FPS-18 radar data from convective clouds echoes are analyzed in both PPI and RHI representations. Programs managed by the radar and the analysis methods are described, and examples of their applications as well as the related information are given.

A "Maximum mean cloud" is obtained from the studied cases and parameters used to compute the "hail-probability table" are defined, their magnitude and trend being shown.

Finally the difference between hail and rain clouds is attempted as a function of their reflectivity profiles and parameters behaviour.

## INTRODUCCION

Con la puesta en marcha del radar FPS-18, modificado de acuerdo con las especificaciones estipuladas previamente para asegurar su eficacia en la observación, la planificación de la campaña de estudio que todos los veranos se realiza en la zona norte cultivada de la Provincia de Mendoza, vinculada con el Programa Nacional de Lucha Antigranizo, tomó un cariz diferente y se colocó al nivel requerido para poder llevar adelante la experiencia.

La campaña fue planificada para hacer trabajar en forma coordinada to dos los elementos que resultan imprescindibles para lograr una observación fecunda del comportamiento convectivo.

Los Elementos intervinientes

El Radar FPS-18 cumpliendo programas de observación previamente estipulados.

Las camionetas guiadas que verifican, en tiempo real, la ocurrencia y calidad de la precipitación, simultáneamente con la información del radar.

La mesored que provee información detallada de la precipitación sólida o líquida (extensión, intensidad, duración, etc.) en tiempo diferido.

El servicio de Pronósticos de Tormentas Severas, montado por el Programa Nacional, en la Oficina de Pronósticos del Plumerillo, que formula los pronósticos cada día y cuya concreción implica la realización de tres radiosondeos diarios con la pertinente radiodetección de la fuerza y dirección del viento horizontal en la altura.

Asimismo se coordinó la observación del FPS-18 con el radar Decca T-4 sito en San Martín, en función de vigilancia y aviso de la presencia de ecos en distancia mayores o iguales a 125 km. La armonización de las observaciones obtenidas a partir de los elementos mencionadas permitió realizar el primer intento de caracterizar la actividad convectiva a sotavento de Los Andes en el Norte de Mendoza.

## LA INFORMACION OBTENIDA

La más importante, por sus características, de toda la información obtenida (sinóptica, mesometeorológica, etc.) fué sin duda la información de radio-ecos.

Durante la campaña, dentro del período de actividad del FPS-18, se observaron numerosos ecos de tormenta, los que fueron fotografiados en la pantalla repetidora. Después de un minucioso examen de las películas así obtenidas, se eligieron para su análisis las películas correspondientes a las fechas 13/12/65, 15/12/75, 18 y 19/1/76, 28/1/76, 29/1/76, 31/1/76 y 1/2/76. Cada eco de estas tormentas fue estudiado con un promedio de 10 análisis por eco, según el lapso de seguimiento.

Análisis de la Información

Los programas de observaciones aplicados al radar fueron diferentes según la distancia a que se encontraban los ecos.

Sólo se aplicó programa y se fotografió la pantalla repetidora para distancias menores de 75 km desde el asiento del radar. Para distancias mayores la observación fué solo de vigilancia y se concentró especialmente en los ecos que se acercaban a la región experimental.

En esas condiciones los ecos se seleccionan de acuerdo a sus valores de reflectividad Z, eligiendo los de mayor valor a partir de los que tie-

nen por lo menos 10 db., tratando, dentro de lo posible, de seguir la vida natural de la nube durante el mayor lapso. Eligiendo el o los ecos (no se siguen más de 3 zonas simultáneamente y el recorrido se hace en orden cíclico), comienza el programa.

Trabajo en PPI: Sin atenuación, se levanta la antena buscando la zona de mayor reflectividad de la nube, verificando la  $Z_{\text{máx}}$ . en la presentación A/R.

Situada la zona, se la fija y comienza el programa de fotografía atenuando de 10 db en 10 db hasta la desaparición del eco. Se anota el  $Z_{\text{máx}}$ . leído en la presentación A/R. Se fija su azimut y por el mismo se pasa al plano RHI.

Trabajo en RHI: Se fotografía, también atenuando de 10 en 10 db, hasta la desaparición del eco. El valor del  $Z_{\text{máx}}$ . se lee en la presentación A/R. Si hubiera más ecos que cumplieran las condiciones requeridas, se pasa al siguiente en orden cíclico; caso contrario se reinicia el ciclo con el primer eco.

El rango del radar se reajusta siempre para la distancia a que se encuentre el eco.

Para distancias entre 20 y 5 km, el programa es análogo pero el detalle de las observaciones mayor. En efecto, la observación en PPI se comienza con un ángulo de elevación de antena de  $8^\circ$  y se repite el ciclo cada  $8^\circ$  de elevación hasta haber seccionado toda la nube. Por el azimut del último nivel obtenido se pasa al plano RHI, procediéndose como en el caso anterior.

Se determina la ubicación de la  $Z_{\text{máx}}$ , y se realiza un segundo RHI. Las diferencias en el tratamiento de los ecos, según se encuentren o no próximos al radar, se deben precisamente a la diferencia de calidad y confiabilidad que brinda la información. De las nubes más cercanas es posible extraer más observación y mucho más confiable y lograr así un buen conocimiento de la estructura de las grandes nubes convectivas.

En Figura 1 se muestra un caso de un eco observado en la presentación PPI, cuya distancia al radar fue de más de 20 km, con los detalles de los datos que se calculan en el análisis.

Se define como zona de "grandes gotas" a la zona cuya reflectividad tenga (en función de la distancia y de la calibración del radar) un valor

$$Z \geq 10^3 \text{ mm}^6 \bar{m}^3$$

Para el cálculo del volumen de dicha zona se toma al espesor  $H = \text{altura tope} - \text{altura base}$  (NCA en el radiosondeo); para el cálculo del volumen del foco se toma al espesor  $H$ , medido en el plano RHI, de la zona de reflectividad

$$Z \geq 10^3 \text{ mm}^6 \bar{m}^3$$

y para el cálculo del volumen de la zona fría, se toma al espesor  $H = \text{altura tope} - \text{altura isoterma de } 0^\circ\text{C}$ .

La Figura 2 muestra la observación RHI de un eco y su análisis, a partir del cual se obtiene el perfil de reflectividad del eco (Figura 3), sobre el cual se calculan varios parámetros representativos.

#### EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

Se confeccionaron tablas resumen de toda la información obtenida y

ECO. G

FECHA: 29-1-76 RANGO: 15:15  
 HORA: 15:32 ELEVACION: 8°

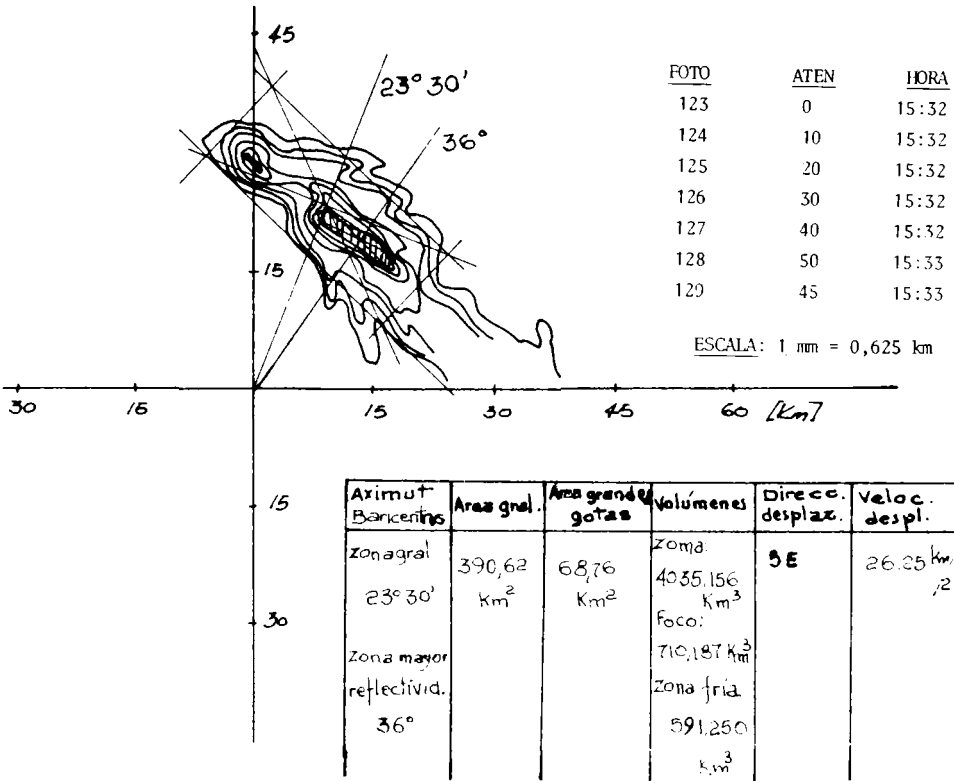


Figura 1: análisis de la presentación en PPI de un eco precipitante de lluvia. Se observan dos zonas de mayor reflectividad, de las cuales la más intensa es la precipitante, los datos numéricos le corresponden.

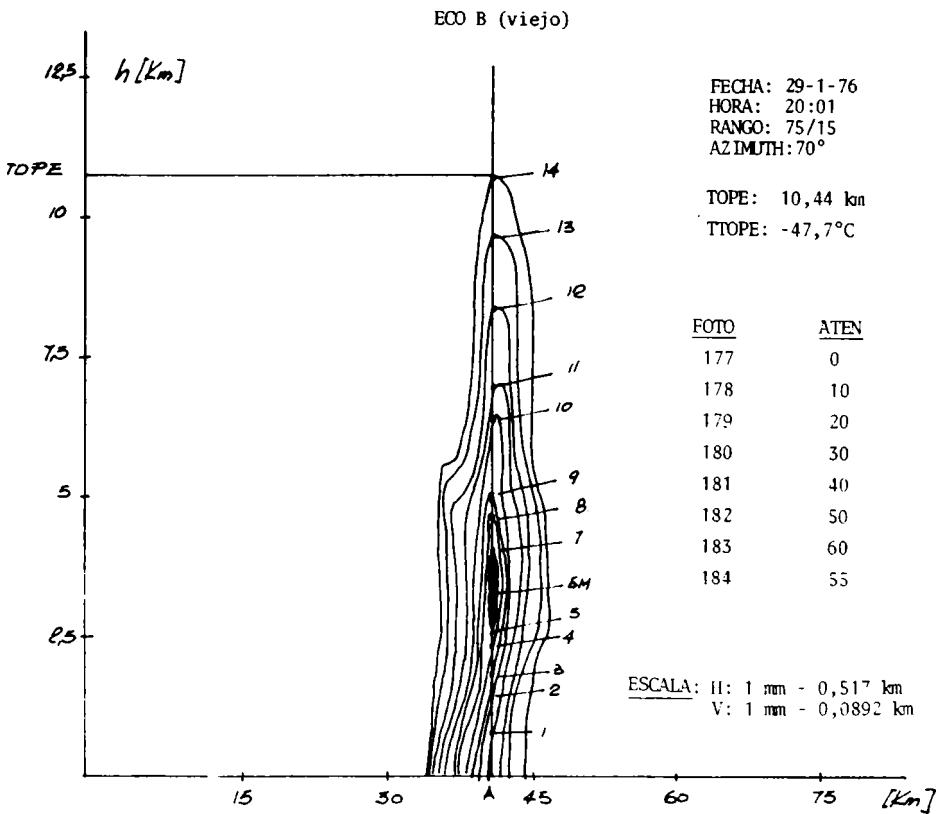


Figura 2: Análisis de la presentación RHI de un eco, minutos antes de que la precipitación sólida alcance el suelo.

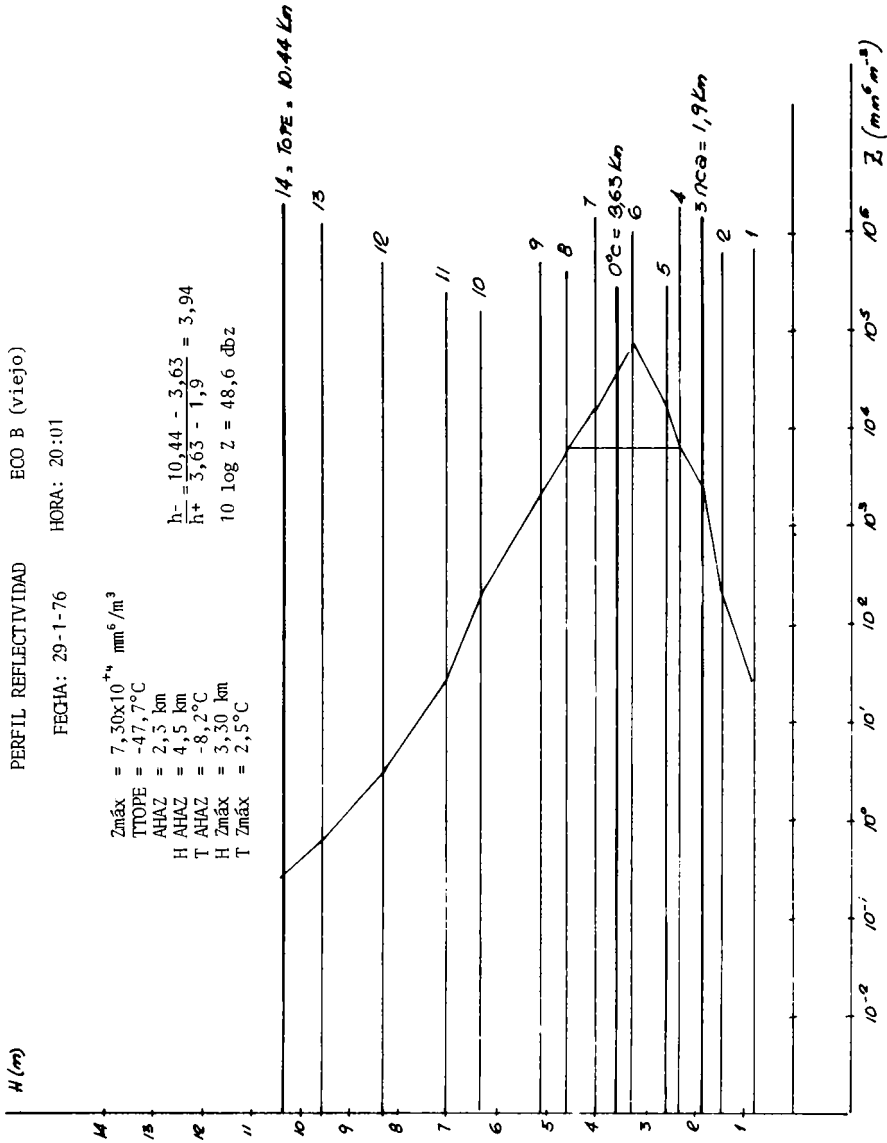


Figura 3: Perfil de reflectividad correspondiente a Figura 2. Muestra la concentración de alta reflectividad que se corresponde con la masa de hidrometeoros sólidos, los que posteriormente formarán cortina hasta el suelo.

procesada, preparatorias de la "tabla de probabilidad granicera" definitiva a la que se arribará incrementando el número de informaciones obtenidas hasta conformar una población representativa.

En PPI: Se anotaron los parámetros, ordenando la información eco por eco y descartando la de aquellos que en ningún momento de su desarrollo alcanzaron una reflectividad mayor o igual a  $10^3 \text{ mm}^6 \text{ m}^{-3}$ . De cada eco se consideraron todos los PPI tomados con el menor ángulo de elevación de la antena (menor  $11^\circ$ ).

En RHI: La información se completó con los parámetros especiales  $TZ_{\text{máx}}$  y  $TAHAZ$ , que combinan los valores de la temperatura del aire libre, obtenidos del radiosondeo más próximo anterior a la hora de la observación, con los niveles leídos en la pantalla del radar, siendo:  $TZ_{\text{máx}}$  = temperatura del aire en el nivel del  $Z_{\text{máx}}$ ;  $TAHAZ$  = temperatura del aire claro en el nivel superior del espesor  $AHAZ$ .

Además, como último parámetro a considerar se calculó la relación:

$$\frac{h_-}{h_+} = \frac{\text{nivel Tope} - \text{nivel } 0^\circ\text{C}}{\text{nivel } 0^\circ\text{C} - \text{NCA}}$$

Los valores de algunos parámetros fueron promediados para todos los ecos. Se obtuvo así una "nube media máxima", con los siguientes valores de sus parámetros.

ANCHO: 26,94 km. LARGO: 36,11 km. AREA GENERAL: 812,09  $\text{km}^2$ .  
 ALTURA TOPE MAXIMO: 12,170 km. VOLUMEN MEDIO MAXIMO: 7801,580  $\text{km}^3$ .  
 AREA MAXIMA DE LA SUPERFICIE DE GRANDES GOTAS: 26,60  $\text{km}^2$ .  
 VOLUMEN MAXIMO DEL FOCO: 94,07  $\text{km}^3$ .  
 VOLUMEN MAXIMO DE LA ZONA FRIA: 439,26  $\text{km}^3$ .  
 $Z_{\text{máx}}$ . en PPI =  $23604 \text{ mm}^6 \text{ m}^{-3} = 43,729 \text{ dbz}$ .  
 Ira visión más frecuente: III cuadrante  
 última " " " II cuadrante

Esta "nube media máxima", sin sentido físico, nos ofrece, no obstante, los valores de algunos parámetros que serán de interés en la futura acción defensiva, así como un camino preferido de la convección en la zona y la magnitud de los volúmenes de masa nubosa sobre los que habría que actuar.

#### EL ESTUDIO PARTICULARIZADO DE LOS ECOS

Para intentar clarificar al máximo la conducta de los ecos, se eligieron algunos pertenecientes a las tormentas de los días 18 y 29 de enero de 1976, los que se estudiaron individualmente.

ECOS DE LA TORMENTA DEL 29/1/76: Fue una tormenta de lluvia y granizo en la cual pudieron seguirse, en su historia, 5 ecos, de los cuales se muestra el comportamiento del más interesante: el eco B. Sin embargo es necesario puntualizar que se conoce el comportamiento detallado de todos los demás ecos de la tormenta y existe una buena correlación horaria entre los valores de sus correspondientes parámetros y la precipitación ocurrida.

El eco B de la tormenta del 29/1/76, es posiblemente el eco más interesante de todos los que el radar FPS-18 consiguió estudiar durante la campaña. Su interés radica en el comportamiento del eco, que es realmente complejo, y en la calidad del seguimiento que permitió conocer prácticamente toda su evolución.

El eco B aparece al NW del radar, en zonas donde no hay red, y su seguimiento se realiza mientras sigue su evolución hasta que entra en zonas cubiertas por la red de observaciones. Aparece como 2 grandes zonas, una sola de las cuales (la que tiene valores de Z mayores de 35 db) se sigue.

En el término de 10 minutos ha desaparecido la zona de menor reflectividad, mientras que una nueva zona de hasta 40 db aparece más al NE. Ambas zonas se fusionan dando una gran nube compleja, al NW, con un máximo relativo de reflectividad de 43,5 db a las 18:03 hs.

Hasta aquí el proceso ha durado del orden de una hora. Posteriormente, el eco sigue desplazándose hacia el E y luego SE, sufre una leve declinación en su intensidad y luego, situado ya al NE del radar, comienza una reactivación que marca a las 19:23HL otro máximo relativo de reflectividad, con 43:5 db. Los registros de la red de observación indican precipitación de lluvia y granizo a las 19:23HL.

Inmediatamente después el eco declina nuevamente y los valores de Z alcanzan los más bajos niveles de su historia (37,1 dbz), precipitando lluvia solamente. En la evolución posterior, aparece una nueva zona de reflectividad que se individualiza (es decir se conduce como un nuevo eco) y se separa rápidamente. Mientras tanto vuelve a reactivarse la zona antigua (Figuras 2 y 3) que precipita granizo a partir de las 20:20 horas con 70db de reflectividad en la pantalla y un valor medido de 55,5 dbz.

La tabla siguiente resume los parámetros correspondientes a la evolución descrita.

Eco B 0°C = 4480 snm  
29/1/76 NCA = 2750 snm

Hora	Zmáx	HZmáx	TZmáx	AHAZ	HAHAZ	TAHAZ	h- h+	
	dbz	km	°C	km	km	°C		
19:23	43,5	3,20	2,2	4,20	5,3	-13,5	4,76	Lluvia y granizo
19:54	37,1	2,58	3,6	5,2	5,200	-12,8	3,88	Lluvia
20:23	55,5	1,80	9,9°C	4,6	5,10	-11,5	5,59	Granizo

ECOS EN LA TORMENTA DEL 18/1/76: La tormenta del 18/1/76, fue la mayor de las tormentas seguidas por el radar. Precipitó lluvia y granizo conformando una extensa manga que alcanzó en algunas zonas daños del 100%. Asimismo fue dable observar la presencia de un eco (D) con características interesantes, ya que su comportamiento configuró uno de los casos que se consideran típicos para presumir la posibilidad de granizo. En esta ocasión la regla resultó confirmada. En efecto, correlacionado con los datos de la meso red, el eco D está dando una intensa precipitación líquida (45 mm) a las 20:20HL.

Se tiene observación coincidente a las 20:50HL cuando ya aparecía en la misma nube una segunda zona reflectante. Los parámetros pertenecientes a la primer zona, considerada eco madre, fueron:

Eco D 0°C = 5650m snm  
18/1/76 NCA = 2850m snm

Hora	Zmáx	HZmáx	TZmáx	AHAZ	HAHAZ	TAHAZ	h- h+	
	dbz	km	°C	km	km	°C		
20:50	33,62	4,31	3,0	5,40	7,60	-26,0	2,25	Lluvia

Esta zona comienza a declinar y la segunda zona reflectante se separa, bifurcándose la masa nubosa en dos núcleos bien diferenciados: el nuevo eco D 1 de gran actividad y el restante -D 2- que continúa la historia del



TORRENTA DEL 18-1-76

ECO D

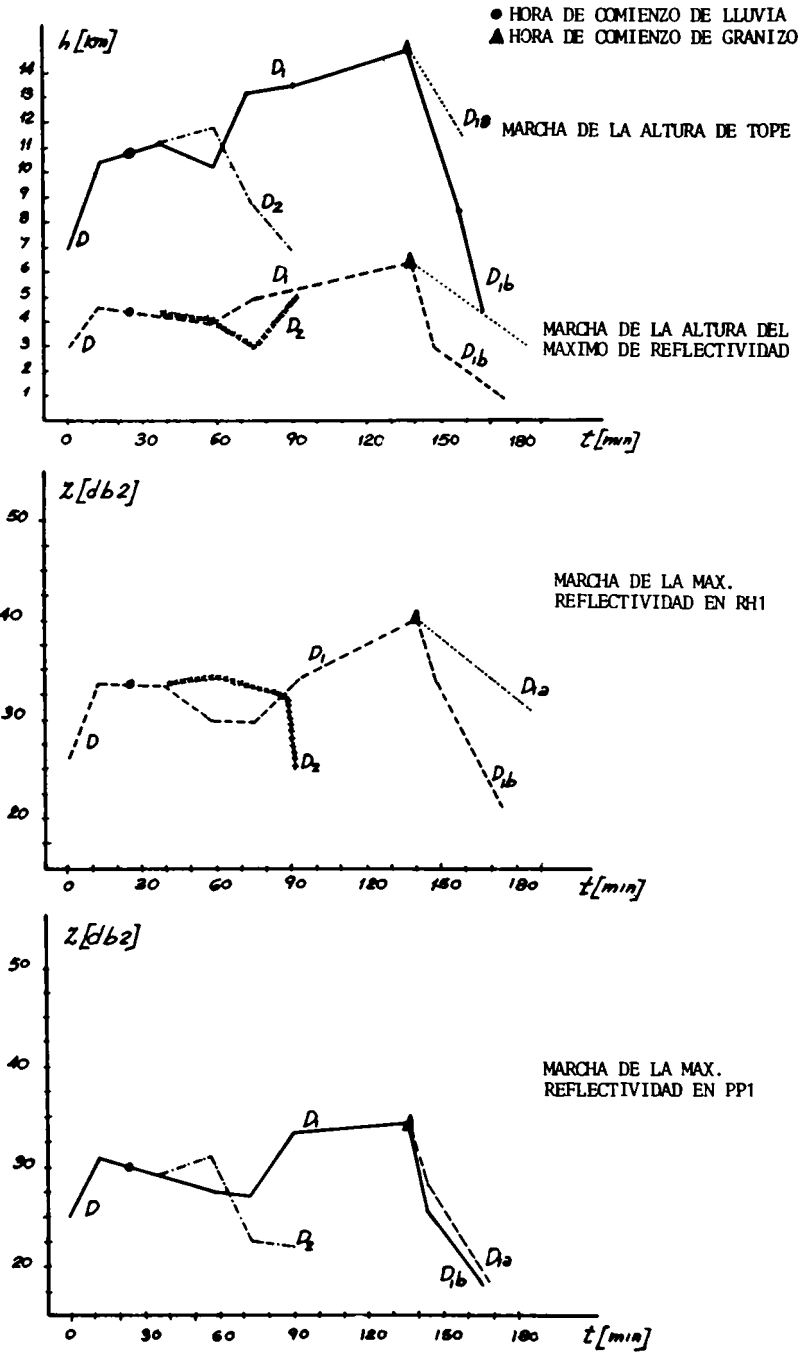


Figura 4: A través de la marcha temporal de varios parámetros, se muestra la compleja historia de un eco que se bifurca y da granizo en el momento previo a una segunda bifurcación.

antiguo eco D, siguiendo la declinación de su intensidad.

La segunda zona reflectante que había aparecido en la masa nubosa (eco D 1) al separarse adquiere gran actividad. A 22.00HL se tiene un registro aislado de granizo en la red de estaciones de observación pero a 22.07 HL éstos registros comienzan a aglomerarse en la red, conformando una intensa manga de granizo. Las observaciones coincidentes del radar permiten conocer el valor de los parámetros en el momento.

Eco D 1

Hora	Zm <sub>máx</sub>	HZm <sub>máx</sub>	TZm <sub>máx</sub>	AHAZ	HAHAZ	TAHAZ	$\frac{h-}{h+}$
	dbz	km	°C	km	km	°C	
22:03	40,11	6,35	-14,5	5,80	8,60	-33,5	3,70 Granizo

Después de este momento de máxima actividad, comienza la declinación del eco D<sub>1</sub>, el que se bifurca a su vez en los ecos D<sub>1a</sub> y D<sub>1b</sub>. El D<sub>1b</sub> continúa la historia del D 1, y aparece como nueva zona activa del D<sub>1a</sub>, aunque en ninguno de los dos parámetros representativos alcanzan el nivel que tuvieron los del eco D 1 (Figura 4).

#### CONCLUSIONES

Sin duda no se está aún en posesión del número suficiente de observaciones como para construir la tabla de probabilidad granicera. Sin embargo se ha estudiado el comportamiento de la marcha de los parámetros medidos y la conformación y características de los perfiles de reflectividad en los casos de nubes de lluvia y granizo, resultando evidente, a la luz de todos los casos estudiados, la mayor y más rápida organicidad de la nube granicera en contraste con la fluctuación e imprecisión de la nube de lluvia.

También han podido delimitarse, para nuestra zona y nuestro radar, los valores de reflectividad máxima que resultaron indicadores de la presencia de hidrometeoros sólidos y líquidos, o líquidos solamente, en las nubes precipitantes.

En efecto, ninguna nube precipitando lluvia solamente alcanzó los 45 dbz de reflectividad y, además, fueron bastante fluctuantes. Hay un caso de precipitación líquida con 27 dbz de reflectividad pero la correspondencia horaria no es totalmente convincente. En estas condiciones se ha adoptado el valor de 30 dbz como indicador de la presencia de LLUVIA cayendo en la nube y el valor de 25 dbz como indicador presuntivo de la ocurrencia de precipitación líquida. La mayor intensidad de la lluvia puede llevar los valores de reflectividad hasta más de 40 dbz, pero no se observó ningún caso que alcanzara los 45 dbz.

Las nubes graniceras mostraron siempre valores de reflectividad mayores, sin embargo hay un caso de poco más de 40 dbz con denuncias de granizo. En estas condiciones se ha adoptado el valor de 45 dbz como indicador de la presencia de PIEDRA cayendo en la nube y el valor de 35 dbz como indicador presuntivo de la posible ocurrencia de granizo.

Evidentemente, en el intervalo 35 dbz - 45 dbz se da la posibilidad de que la nube evolucione de una u otra manera. Siguiendo la marcha de esa evolución (en función de su rapidez y regularidad) se tendrá un posible indicador presuntivo del resultado de esa evolución. Sin embargo, estas evidencias de la conducta natural de las grandes nubes correctivas deben ser

confirmadas o rectificadas cuando aumente la población de nuestras observaciones.

Asimismo pudieron corroborarse dos diferentes modos de comportamiento, ya conocidos en la literatura: la alta probabilidad granicera de los ecos que se bifurcan (caso del eco D del 18/1/76, especialmente del eco cuya aparición se registra en segundo término); y la alta probabilidad granicera de los ecos que son el resultado del ensamblamiento de dos ecos previamente diferentes (caso del eco B del 29/1/76, que además evidencia ambos procesos manteniendo su carácter de eco granicero).

En resumen: el granizo, aparece como el natural resultado de un proceso termodinámico dotado de un alto grado de organicidad y un apreciable y continuo ritmo de evolución. Si pudiéramos marcar objetivamente las pautas temporales de ese proceso y, asimismo, cuantificar los valores de diversos parámetros termodinámicos (Humedad superficial, valores de la corriente ascendente, perfil de la cortante, etc.) a partir de los cuales es posible un proceso de tales características, pensamos que estaríamos en condiciones de modelar de modo más real y, a través de los resultados de la modelación, comprender el proceso en profundidad. Trataremos de hacerlo.

#### B I B L I O G R A F I A

- ATLAS, D., 1964: *Advances in radar Meteorology. Advances in Geophysics Vol. 10*, pp. 317-478.
- BROWNING, K.A. 1975: *The structure and mechanism of hailstorms-National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado VII a. 1 - 106.*
- ENGLISH, M. 1973: *Alberta hailstorms, Part II: Growth of large hail in the storm. Meteor. Monograph, 14 (36)*, pp. 37-98.
- MARWITZ, J.D. 1972 a, b y c: *The structure and motion of severe hailstorms. Part I, II and III, Journal Applied Meteor. pp. 11, 166-179, 180-188, 189-201.*
- SULAKVELIDZE, G.K. BIBI LASHVILI H. SH., LAPCHERA V.P. 1967: *Formation of precipitation and modification of hail processes. Translated by Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, pp. 209.*