

# PRIMERA VALORACIÓN DE ALGORITMOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE GRANIZO

Ismael San Ambrosio Beirán

Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción. INM

## RESUMEN

Con objeto de completar la aplicación radar de análisis de células convectivas, nos parece fundamental desarrollar un módulo avanzado de diagnóstico de granizo implementando diferentes algoritmos basados, principalmente, en la experiencia estadounidense. A lo largo de la campaña primavera-verano de 2001 se ha recogido información sobre la ocurrencia de granizadas y con esta información se ha llevado a cabo un primer estudio de valoración de dichos algoritmos, para comparar el comportamiento de cada uno de ellos. Esto, a su vez, nos permitirá en el futuro ajustar los que parecen más adecuados, para optimizar su comportamiento a las condiciones específicas de la Península Ibérica y Baleares.

### 1. Introducción

Durante las campañas del 2000 y 2001 las aplicaciones 2D y 3D de identificación, seguimiento y extrapolación de células radar han utilizado para el diagnóstico de granizo criterios simples basados en umbrales de reflectividad máxima, ECHOTOP, VIL (Vertically Integrated Liquid) y/o densidad de VIL (Martín y Carretero, 2001). Parece necesario mejorar este diagnóstico con la introducción de un módulo avanzado de granizo, para ello se han implementado los siguientes algoritmos para granizo severo (diámetro superior a 19 mm, según la bibliografía americana) basados en la experiencia del SPC (*Storm Prediction Center*) y del NSSL (*National Severe Storms Laboratory*): algoritmo de VIL del día, el de densidad de VIL, y el HDA (*Hail Detection Algorithm*) que incluye el criterio de Waldvogel para granizo de cualquier tamaño.

Como señalan Martín, Elizaga y otros (2001), la predicción y detección del granizo es una tarea difícil desde el punto de vista operativo. Para empezar las teorías de formación de este fenómeno no están completamente desarrolladas, y las herramientas de que dispone el predictor no están orientadas específicamente para este fin. Además, sólo algunas nubes convectivas que generan granizo en altura encontrarán entornos favorables para que éste alcance el suelo. Otro problema añadido es que no se dispone de datos precisos de retorno por lo que es muy difícil llevar a cabo estudios y verificaciones.

### 2. Metodología y datos utilizados

A lo largo de la campaña primavera-verano de 2001 se ha recogido la mayor información posible sobre la ocurrencia de granizadas (hora y lugar de los eventos, así como tamaño del granizo), y se han seleccionado seis situaciones en que se ha producido granizo severo. Las situaciones seleccionadas son las siguientes:

- Bielsa (Huesca), noche del 4 de julio, granizo del tamaño de pelotas de béisbol.
- Morella (Castellón), tarde del 8 de julio, granizo del tamaño de pelotas de béisbol.
- Morella (Castellón), tarde del 9 de julio, granizo del tamaño de pelotas de golf.
- Ínes (Soria), tarde del 28 de julio, granizo del tamaño de huevos de codorniz.
- Peñafiel (Valladolid), tarde del 28 de julio, granizo del tamaño de pelotas de golf.
- Elche (Alicante), noche del 10 de octubre, granizo del tamaño de pelotas de béisbol.

Para estas situaciones se han aplicado los distintos algoritmos de diagnóstico de granizo con el fin de valorar el comportamiento de cada uno de ellos.

En primer lugar vamos a describir sucintamente los algoritmos de diagnóstico utilizados. Todos estos algoritmos usan las salidas generadas por el procedimiento 3D de identificación de células radar (Martín y Carretero, 2001), que para cada célula nos proporciona la siguiente información: altura de la base y del tope de la célula, altura del Echotop, altura máxima de 45 dBZ, VIL grid, VIL celular y la reflectividad

máxima en cada CAPPI. Por otro lado, se busca la salida del HIRLAM más próxima a la hora de la exploración radar que se está analizando y se genera una serie de campos de variables de entorno que se van a usar para interpolar a la posición de los centroides de cada célula identificada.

## 2.1 Algoritmo de VIL del día

El VIL es una estimación a partir de las reflectividades radar del contenido potencial de agua líquida por  $m^2$  dentro de una nube (Greene y Clark, 1972). El valor de VIL se puede calcular de dos formas. Una es el VIL-grid, que se obtiene a partir de los valores de reflectividad en los 12 CAPPIs en la vertical de un centroide 3D; y otra es el VIL-Zmax, o VIL celular, que incluye sólo las reflectividades máximas en cada CAPPI donde se ha detectado una célula convectiva 3D, (Martín y Carretero, 2001). Para los algoritmos de granizo utilizaremos el mayor de estos dos valores de VIL.

Hace falta considerar un umbral diario para granizo severo (Lenning, Fuelberg y otros, 1998) llamado "VIL del día". En el algoritmo desarrollado se calculan dos umbrales usando dos relaciones empíricas diferentes sacadas de la experiencia norteamericana; la primera calcula un valor, VOD1, en función de la temperatura en 500 hPa (Lewis III), y el otro, VOD2, lo hace en función de las temperaturas en 500 y en 400 hPa (Lenning, Fuelberg y otros, 1998). Para la estimación del tamaño del granizo utilizaremos los gráficos desarrollados en el National Weather Service de Little Rock (Lewis III).

## 2.2 Algoritmo de la Densidad de VIL

La densidad de VIL supone normalizar el VIL con relación al espesor de la célula convectiva, de manera que valores altos ponen de manifiesto tormentas con reflectividades elevadas respecto a su altura, generalmente estas tormentas tienen núcleos con granizo, (Amburn y Wolf, 1997). En el presente trabajo se calcula la densidad de VIL de dos maneras para contrastar el comportamiento de cada una de ellas:

$$DVILG = 1000 * VILGRID / ECHOTOP$$

$$DVILZ = 1000 * VILZMAX / (HTOP - HBAS)$$

Donde las densidades de VIL-grid y VIL-Zmax se obtienen en  $g m^{-3}$ , el VIL-grid y el VIL-Zmax están en  $kg m^{-2}$ , y el Echotop y la diferencia entre el tope (HTOP) y la base (HBAS) de la célula están en m.

## 2.3 Criterio de Waldvogel

Este criterio, incluido en el *Hail Detection Algorithm* (HDA), se usa para la detección de granizo de cualquier tamaño, y se basa en que la presencia de fuertes corrientes ascendentes tendrán como consecuencia una mayor altura de los ecos de 45 dBZ (HT45) sobre la altura de la isocero (ISOC). A partir de los estudios de Waldvogel, Federer y otros (1979) una relación simple con esta diferencia de altura nos permite obtener la probabilidad de granizo de cualquier tamaño (POH).

## 2.4 Algoritmo de Detección de Granizo (HDA)

Para diagnosticar el granizo severo el HDA estima su probabilidad de ocurrencia y el tamaño máximo del mismo para cada célula convectiva identificada. Para todo ello el HDA utiliza un nuevo parámetro el *Severe Hail Index* (SHI), que es una integración vertical de las reflectividades en cada célula ponderadas en función de la temperatura, (Witt, Eilts y otros, 1998). Las unidades del SHI son  $J m^{-1} s^{-1}$ . Para el cálculo de la probabilidad de granizo severo se utiliza además otro parámetro, el *Warning Threshold* (WT), que depende de las condiciones ambientales en que se desarrolla la convección y se calcula por una relación empírica simple:

$$WT = 57,5 * H_0 - 121$$

Donde WT viene en  $J m^{-1} s^{-1}$ , y  $H_0$  (altura de la isocero) viene en km. A partir de estos parámetros, SHI y WT, se ajusta la siguiente relación empírica para calcular la probabilidad de granizo severo (POSH):

$$POSH = 29 * \ln\left(\frac{SHI}{WT}\right) + 50$$

Para el cálculo del máximo tamaño en mm del granizo que puede aparecer en cada célula (MEHS) también ha sido desarrollada una relación bastante simple:

$$MEHS = 2,54 * (SHI)^{0,5}$$

Los primeros estudios de evaluación del HDA en los Estados Unidos, parecen indicar un comportamiento aceptablemente bueno, aunque hay variaciones regionales importantes, lo cual sugiere la necesidad de adaptaciones de las funciones empíricas del POSH y del MEHS, e incluso una mejora en el cálculo del WT encontrando una mejor correlación con otras variables de entorno, como la media entre 1000 y 700 hPa de la temperatura del termómetro húmedo (Lenning, Fuelberg y otros, 1998).

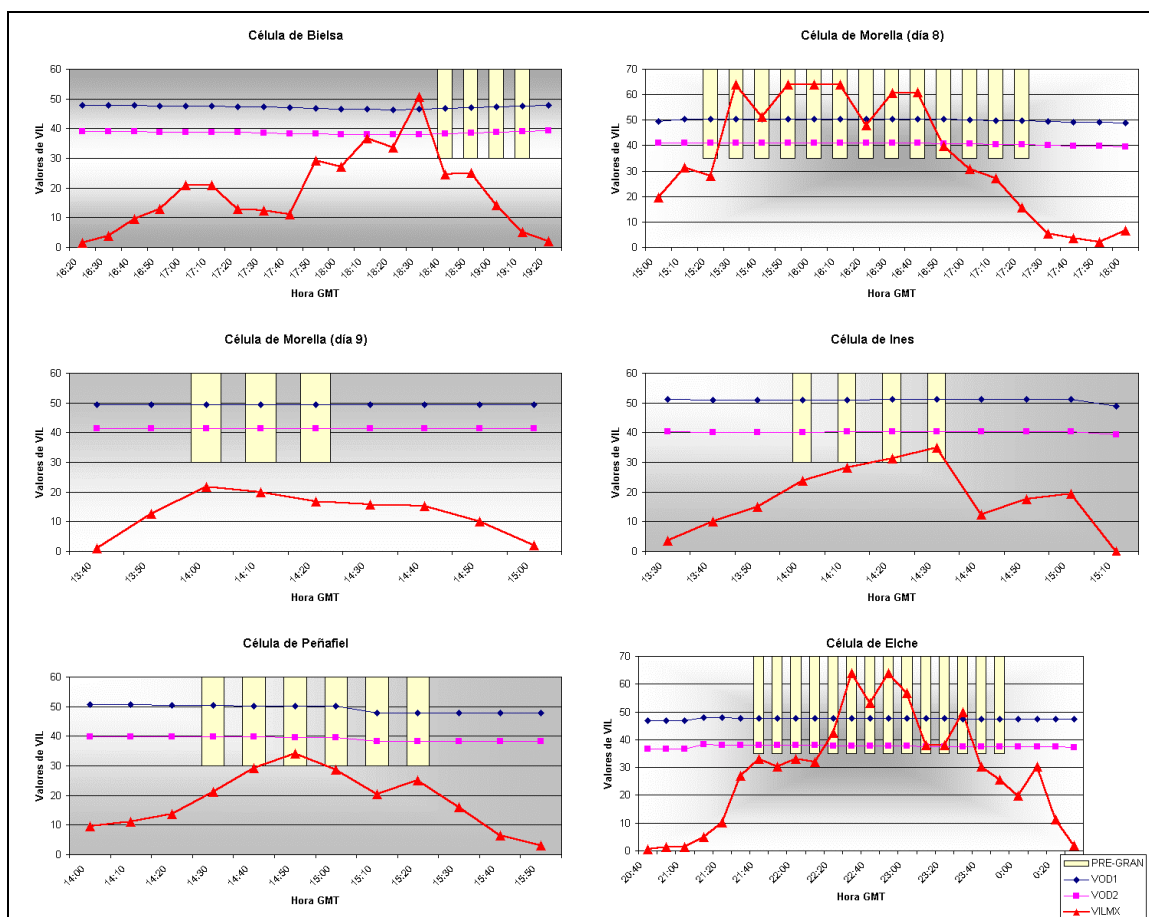


Figura 1: Evolución del VIL máximo, valores de VOD1 y VOD2, y precipitación con granizo.

### 3. Análisis de las granizadas

Se han obtenido los siguientes resultados, que se presentan en las figuras 1, 2 y 3. En estas figuras con las barras verticales (PRE-GRAN) se indica el intervalo de tiempo del que se tiene constancia que hubo precipitaciones con granizo, sin poderse precisar la cuantía de la precipitación ni el momento exacto de las granizadas, ya que no se dispone de estos datos.

#### 3.1 Algoritmo de VIL del día

En la figura 1 se puede apreciar como evolucionan los valores de VIL máximo y los dos umbrales calculados (VOD1 y VOD2) a lo largo de la vida de cada una de las células estudiadas. A la vista de estos resultados el algoritmo de VIL del día no parece suficientemente discriminatorio de células con granizo severo para ninguno de los dos umbrales utilizados (VOD1 y VOD2). Sólo en dos de las granizadas analizadas el VIL máximo supera claramente estos dos umbrales, en la célula de Bielsa los supera ligeramente, y en los otros tres casos se queda con valores claramente inferiores al VOD2.

### 3.2 Algoritmo de Densidad de VIL

La evolución de los dos valores de Densidad de VIL calculados (DVIL-grid y DVIL-zmax) para cada célula aparece en la figura 2. Se aprecia que la densidad de VIL da mejores resultados, en especial la densidad de VIL-zmax que siempre presenta valores por encima o próximos a los umbrales que se extraen de la bibliografía americana, (Amburn y Wolf, 1997; Lewis III), con subidas constantes o significativas.

### 3.3 Hail Detection Algorithm (HDA)

En la figura 3 se presenta la evolución durante la vida de las células analizadas de la POH (criterio de Waldvogel), y de la POSH, se puede apreciar que el HDA nos ofrece unos resultados realmente interesantes. Por un lado, en todos los casos la POH tiene valores superiores al 80 %, y además presenta un aumento brusco en los momentos previos a las granizadas. Por otro lado la POSH tiene un comportamiento similar, alcanzando valores generalmente superiores al 30 ó 40 % pero siempre inferiores a los de la POH, aunque no suele presentar unos aumentos tan bruscos como éste.

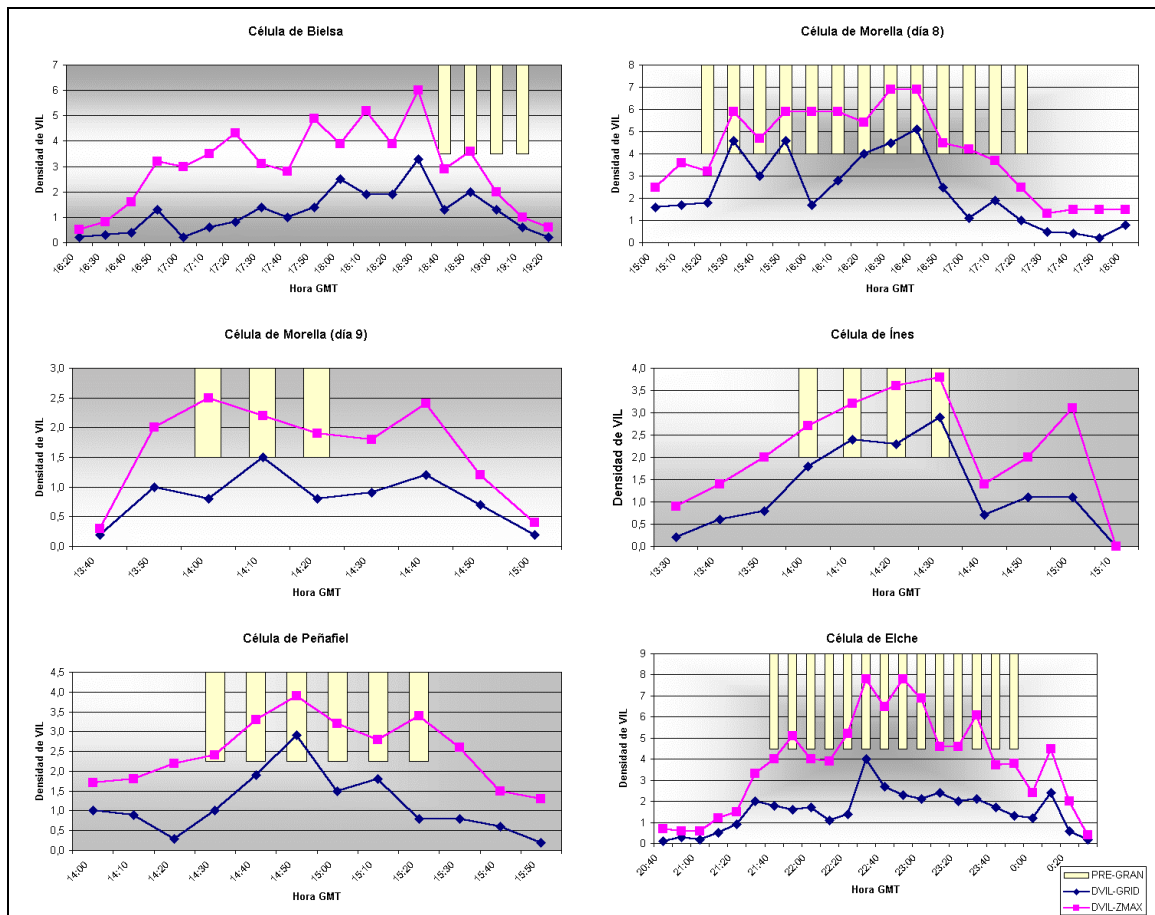


Figura 2: Evolución de las Densidades de VIL, DVIL-grid y DVIL-zmax, y precipitación con granizo.

### 3.4 Predicción del tamaño del granizo

En la tabla 1 se ven los resultados globales de este estudio. En concreto los resultados obtenidos en la estimación del tamaño de granizo son más difíciles de evaluar que la ocurrencia del mismo. En tres de los casos el que mejor se ajusta al tamaño observado es el algoritmo de VIL del día, en uno de estos días también resulta acertada la predicción de tamaño MEHS, en otros dos se ajustan bien los algoritmos de Densidad de VIL (uno la DVIL-Zmax, y el otro la DVIL-grid), y en el tercero ninguno es capaz de predecir el tamaño del granizo.

En todos los casos se puede observar que, sin ser la mejor predicción de tamaño, el MEHS obtenido del HDA es siempre al menos la segunda estimación mejor de las efectuadas, quedando siempre ligeramente por debajo del tamaño real observado.

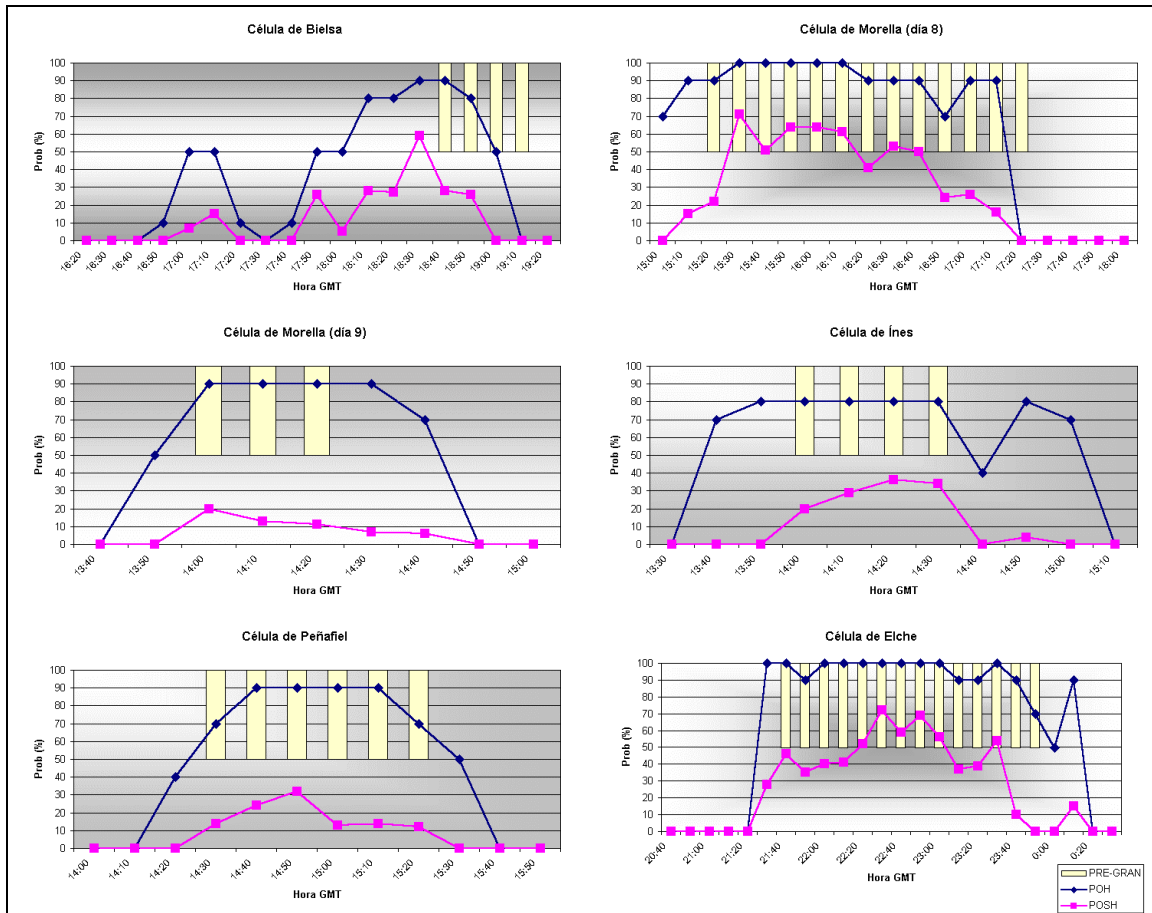


Figura 3: Evolución de la POH, de la POSH y precipitación con granizo.

#### 4. Conclusiones

La utilización operativa del algoritmo de VIL del día parece en principio poco adecuada y requeriría el desarrollo de ecuaciones mucho más efectivas para el cálculo de un umbral eficaz de dicho valor.

El uso operativo del algoritmo de la Densidad de VIL, a priori sería adecuado si se usa la Densidad de VIL-Zmax, siendo precisa una revisión y adaptación de umbrales. De los casos analizados, y viendo la figura 2, un umbral de  $2 \text{ g m}^{-3}$ , podría ser un buen indicador de probabilidad de ocurrencia de granizo.

Los resultados obtenidos con el HDA nos hacen pensar que también puede ser adecuado para el uso operativo. Aunque sería necesario ajustar adecuadamente las funciones de probabilidad (POH y POSH).

Posiblemente daría buenos resultados el uso conjunto de la Densidad de VIL-Zmax y de la POH y/o la POSH.

Para la estimación del tamaño del granizo las técnicas que mejor se ajustan son las del VIL del día y el HDA, aunque éste parece infrapredicirlo. Hay que tener en cuenta que esto puede ser debido a que el MEHS está ajustado originalmente para estimar dicho tamaño con un 75% de probabilidad, y que como complemento a esta información se predice también la probabilidad de que el tamaño máximo supere ciertos umbrales (Witt).

Por otro lado en este estudio no se ha podido valorar la tasa de falsas alarmas debido a lo limitada que resulta la información de retorno de que disponemos. Es evidente que resultan necesarios unos estudios más extensos para poder valorar estas técnicas de una manera adecuada, sobre todo si se quiere ajustar los umbrales de las mismas a nuestro entorno geográfico. Para ello resulta imprescindible desarrollar campañas exhaustivas de recogida de datos de granizo, en las que no falte información específica de tormentas que con toda seguridad no hayan producido granizo, para poder evaluar las falsas alarmas.

VALORACION DE TÉCNICAS DE PREDICCIÓN DE GRANIZO PARA 6 CASOS						
	04-jul-01	08-jul-01	09-jul-01	28-jul-01	28-jul-01	10-oct-01
LUGAR	Bielsa	Morella	Morella	Ínes	Peñafiel	Elche
HORA (GMT)	19:00	15:30	14:00	14:00	14:45	22:30
T 500 (°C)	-14,3	-13,0	-13,1	-12,2	-13,8	-13,9
ISOC (km)	3,7	3,9	3,8	4,0	3,7	3,8
HT45 (km)	8,5	10,0	8,5	8,5	8,5	10,0
Z MAX (dBZ)	59,2	62,0	54,4	56,0	56,4	62,0
ECHOTOP (km)	12,0	14,0	12,0	12,0	12,0	12,0
VIL MAX (kg m <sup>-2</sup> )	50,8	64,0	21,6	34,8	34,2	64,0
VOD1(kg m <sup>-2</sup> )	46,5	50,5	49,4	51,1	50,2	47,7
VOD2 (kg m <sup>-2</sup> )	38,0	41,0	41,3	40,3	39,6	37,8
DVIL-GRID (g m <sup>-3</sup> )	3,3	5,1	1,5	2,9	2,9	4,0
DVIL-ZMAX (g m <sup>-3</sup> )	6,0	6,9	2,5	3,8	3,9	7,8
POH (%)	90	100	90	80	90	100
POSH (%)	56	71	20	36	32	72
TAMAÑO HDA (mm)	28	36	15	21	19	37
TAMAÑO VIL (mm)	24-45	24-45	0	19-24	24-45	45-62
TAMAÑO DVILG (mm)	19-24	45-62	0	<19	<19	19-24
TAMAÑO DVILZ (mm)	45-62	>63	<19	19-24	19-24	>63
TAMAÑO REAL (mm)	45-62	45-62	24-45	19-24	24-45	45-62

Tabla 1: Valores más significativos de los diversos parámetros calculados para los casos analizados.

## Referencias

Amburn, S.A. y P.L. Wolf, 1997: VIL Density as a Hail Indicator. Wea. Forecasting, 12, 473-478.

Greene, D.R. y R.A. Clark, 1972: Vertically integrated liquid water - a new analysis tool. Mon. Wea. Rev., 100, 584-552.

Lenning, E., H.E Fuelberg y A.I. Watson, 1998: An Evaluation of WSR-88D Severe Hail Algorithms along the Northeastern Gulf Coast. Wea. Forecasting, 13, 1029-1044.

Lewis III, J.A.: Forecasting Large Hail Using the WSR-88D. NWSFO Little Rock, AR. (<http://www.srh.noaa.gov/ftproot/html/hail.htm>).

Martín, F. y O. Carretero, 2001: Análisis de estructuras y células convectivas mediante datos de radar regional: aplicación YRADAR. Ver. 2.0, mayo/2001. STAP-INM.

Martín, F., F. Elizaga, O. Carretero e I. San Ambrosio, 2001: Diagnóstico y predicción de la convección profunda. Nota Técnica STAP N° 35. INM.

Waldvogel, A., B. Federer y P. Grimm, 1979: Criteria for Detection of hail cells. J. Appl. Meteor., 18, 1521-1525.

Witt, A.: Probability-based predictions of maximum expected hail size using the WSR-88D hail detection algorithm. NSSL, Norman, OK. (<http://www.nssl.noaa.gov/swat/MEHS/>).

Witt, A., Eilts, M.D., Stumpf, G.J., Johnson, J.T., Mitchell, E.D. y Thomas, K.W., 1998: An enhanced hail detection Algorithm for the WSR-88D. Wea. Forecasting, 13, 286-303.