

COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD VIL EN TORMENTAS SEVERAS Y NO SEVERAS. UNA HERRAMIENTA PARA EL PRONÓSTICO.

Félix Gamboa Romero^{*}, Daniel Martínez Castro^{**} y Carlos Alberto Pérez Sánchez^{*}

RESUMEN

En este trabajo se exponen los resultados de la comparación de 30 Tormentas Locales Severas e igual número de no severas, para lo cual se ha utilizado la variable Densidad VIL, a través de la cual se han observados diferencias significativas estadísticamente entre uno y otro grupo. Ésta característica contribuye a ofrecer la posibilidad de ser aprovechada para el pronóstico inmediato de de tormentas severas, con una efectividad del 73 %, demostrándose que si se logra un tratamiento diferenciado entre las tormentas tornádicas y tormentas no tornádicas (granizadas y vientos fuertes), aumenta la efectividad del pronóstico.

Forma de presentación preferida: Oral

INTRODUCCIÓN

Los eventos de tiempos severos como las granizadas, los vientos fuertes y tornados han ocupado la atención de especialistas y decisores, tradicionalmente debido a la afectación que estos fenómenos causan a la población y sus bienes. En este trabajo presentamos 60 casos, 30 de ellas clasificadas como Tormentas Locales Severas (TLS) e igual número que no logró alcanzar tal categoría, utilizadas como testigos (TEST). La calificación de TLS se otorgó según la definición formulada por Alfonso (1994), que considera como tal a las que tengan al menos una de las manifestaciones siguientes:

- a) Tornados
- b) Vientos Lineales, con rachas de 25 m/s (90 Km/h) o más, no asociadas con tornados.
- c) Granizos
- d) Tromba Marina

* Investigadores del Centro Meteorológico Provincial de Camagüey (CMPC), Cuba

** Investigador del Centro Nacional de Física de la Atmósfera INSMET, CUBA

e) Tromba en altura

Con este trabajo se pretende ir divulgando los primeros resultados de la ejecución de un proyecto destinado a buscar indicadores radáricos (Proyecto para el Perfeccionamiento de Predictores de TLS y Estimación de Lluvia por Radar) que puedan contribuir a elevar la calidad de los pronósticos inmediatos sobre la ocurrencia de TLS en Cuba y se presentará uno de los más fuertes indicadores probados en otras partes del mundo y analizado ahora por primera vez en Cuba, donde también ofrece resultados alentadores.

METODOLOGÍA PARA ADQUISICIÓN, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.

Criterios de selección de los casos a incluir en la muestra.

Selección de las TLSs

Las TLSs fueron seleccionadas del listado de reportes realizados por las estaciones meteorológicas convencionales (perteneciente al CMPC), la red de aficionados y reporteros voluntarios en la provincia de Camagüey y Las Tunas, cuya área aparece

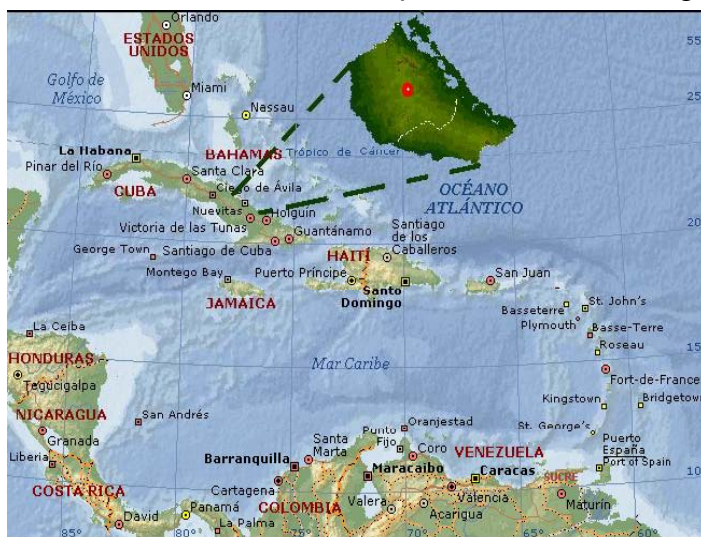


Fig. 1: Cuba en el Mediterraneo Americano

resaltada en la Fig. 1, donde también se observa indicado con un punto rojo la posición de emplazamiento del radar con el cual se tomó la información. Se escogieron todas las TLSs ocurrida durante el período 1999-2003 (etapa en la cual el radar tuvo información volumétrica cada 15 minutos, la mayor parte de los días) cuyo ciclo de vida transcurrió

a más de 25 Km del radar.

Selección de las tormentas Testigos (TEST)

Se ha pretendido crear una base de datos que sea características de las tormentas que no produjeron actividad severa en el territorio de las provincias: Camagüey y Las Tunas y

al propio tiempo tener en cuenta criterios identificadores de este tipo de ecos, señalado por Córdova (1992) y Donaldson (1965) y corroborados por Gamboa (2003), respecto a la reflectividad y topes de los ecos de tormentas. Dicho propósito se trató de garantizar imponiendo las siguientes condiciones para la selección de las TESTs.

1. Que no estén vinculado a una formación nubosa sobre la cual se hizo un reporte de TLS.
2. Que el eco seleccionado forme parte de un área convectiva con 36 dBZ y/o 7 km de tope como mínimo. Gamboa (2003) documentó que las TLSs estudiadas en nuestro territorio tienen reflectividades y topes iguales o superiores a 36 dBZ y 7,0 km respectivamente. En dicha altura se encuentra aproximadamente la isoterma de -15°C en Camagüey (Aroche, 1994) y fue sugerida en los modelos conceptuales como el nivel en el cual se considera que se desarrollan los primeros ecos denominados altos, los cuales son el resultado de la convección potencialmente intensa, una de los principales indicadores de las tormentas.(Martín y Riosalido, (1999),
3. La trayectoria monitoreado de dicha área siempre estuvo a 10 km o menos de una estación meteorológica o núcleo poblacional, con vista a poder asumir que de manifestarse una TLS, hubiese sido reportada por estaciones meteorológicas o los reporteros voluntarios de TLSs. De lo anteriormente dicho se desprende que si algún eco seguido rebasó la distancia de 10 km dejó de ser monitoreado.
4. Otras condiciones para dejar de tomar información de un eco fueron:
 - a) Se produjo un acercamiento del eco al radar, cuya distancia fue menor que 26 km.
 - b) El área convectiva monitoreada se estratificó.

Tabla 1: *Algunas características técnicas empleadas para la adquisición de la información con el radar MRL-5M*

PARÁMETROS	MAGNITU
Longitud de ondas	$\lambda = 10,14$
S. Mínima	-136 dB/W
Potencia del pulso	510 KW
Ancho del haz	1,5 Grados
Duración del pulso	1 y 2 μseg

c) La reflectividad máxima (ZM) y la altura del tope máximo (TM) descienden por debajo de 36 dBZ y 7 km, respectivamente.

Adquisición de los datos

Los datos fueron adquirido por un radar convencional MRL-5M automatizado (Tabla 1)

emplazado cerca de la ciudad de Camagüey, ubicado en los $77^{\circ} 50' W$ y $21^{\circ}, 23' N$. Debido a las limitaciones para el uso continuo del radar y las características temporales de la ocurrencia de las TLSs. La esencial diferencia entre el régimen de toma de datos de TEST y TLS radicó en que los primeros fueron tomados en ciclos de 5 a 10 min y la TLS cada 15 min. Los datos radáricos correspondientes a las TLSs fueron tomados en el régimen normal de trabajo (cada 15 min), iniciando el registro volumétrico con 0° , 0.7 y a partir de este ángulo ascendió la antena cada un grado hasta 24.7° . La velocidad de rotación de la antena del radar fue 4 revoluciones por min y la precisión en la ubicación de los ángulos verticales de 0.1° . Se exceptúan de esta forma de obtención de la información, tres casos que ocurrieron dentro del período de realización del Experimento de Nacional de Nubes Convectivas (EXPONAC-2001), en cual la estrategia de exploración fue la misma, pero las observaciones se realizaron cada 5 min. De dicho experimento se tomaron todos los casos de TEST. La información primaria fue adquirida cada 600 m radiales y 1.4 grados acimutales. Estos píxeles de información polar posteriormente fueron convertidos en coordenadas cartesianas, al ser visualizada la imagen.

Las TLSs que conforman la muestra para el presente estudio se manifestaron en superficie, entre 32,2 y 135,6 km del punto de emplazamiento del radar. La distancia media entre el radar y el punto donde se localizaron los TM fue de 62 km. Características similares tuvieron las TESTs.

La base de dato usada en el análisis está libre de afectación por propagación anómala y ecos fijos; lo cual se logró a través de la aplicación de procedimientos manuales.

El teclado de toda la información fue revisada dato a dato manualmente.

Descripción de la variable Densidad VIL

Teniendo en cuenta. las características de nuestra base de dato, las experiencias acumuladas mundialmente sobre las variables más informativas para la detección de TLS, se decidió analizar la densidad VIL

DV: Densidad VIL, es la razón entre el VM y TM.

Por lo que puede representarse como:

$$DV = VM/TM$$

Donde VM y TM son el máximo valor de VIL de rejilla* y Tope Máximo* * respectivamente, registradas en el Área Convectiva Potencialmente Dañina (ACPD).

En lo adelante denominaremos:

*VIL de rejilla al cálculo del VIL para un pixels de 1,2 km por 1,2 km, por tanto cada área tiene una determinada cantidad de magnitudes de VIL de rejilla, el mayor valor de VIL de rejilla se le identifica como VM.

**Tope máximo a la mayor altitud del tope encontrada en el ACPD.

En este parámetro no se tiene en cuenta las variables ambientales, sobre esta característica Martín (2001) plantea, ...La densidad de VIL, ha sido un producto utilizado con más éxito que el propio VIL como elemento discriminador de las nubes convectivas que pueden generar granizo severo del no severo. Como se sabe en nuestro país los granizos con $D \geq 2$ cm (grande según la clasificación adoptada por el experimento de campo llamado VORTEX (Verification of the Origins of Rotation in Tornadoes EXperiment)).. son raros (Alfonso 1994), pero dentro de las tormentas severas tiene una alta frecuencia los de menor tamaños; con sus consecuentes daños a la economía y sociedad.

Sobre el criterio de identificación de los ecos de TLSs y su procesamiento.

Con el reporte de ocurrencia de la tormenta, (obtenido del departamento de Pronóstico de Tiempo del CMPC) se buscaron los mapas de reflectividades que coincidieron con la fecha y región geográfica del punto referido en el informe. Una vez ubicada la observación más próxima a la hora de ocurrencia de la tormenta, se procedió a conformar las diferentes secuencias de imágenes asociadas con la misma. En cada secuencia se generaron pixeles cuadrados de datos de 1200 m, utilizándose la información disponible hasta 150 Km quedando conformados conjuntos de mapas del campo de reflectividad, altura del tope y VIL entre otros.

En la secuencia de mapas de reflectividades se identificó la trayectoria del eco que produjo la tormenta y una vez hecho este trabajo, se procedió a extraer el valor máximo por variables en cada uno de los registros volumétricos correspondiente a cada tormenta, desde el instante en que se observó el primer eco de la misma (lo que trajo como consecuencia que se pudieran analizar las características de una o más células que generalmente precedían la célula productora directa de la tormenta), hasta que se produjo

la disipación de eco en el punto donde se reportó la tormenta. A estas área convectivas, que presentaban reflectividades por encima de 36 dBZ y topes máximos superiores a 7 Km, fueron denominadas como Áreas Convectivas Potencialmente Dañinas (ACPD).

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Al aplicar las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) a las distribuciones de TESTs y TLSs: (Tabla 2), no obtenemos resultados coincidentes, pues kolmogorov-Smirnov no logra rechazar la hipótesis de que son normales dichas

distribuciones, sin embargo si analizamos las mismas variables a través de la aplicación de Shapiro-Wilk, los resultados son diferentes, pues se puede rechazar la hipótesis de que la distribución correspondiente a

Tabla 2: Resultados de la aplicación de la prueba estadísticas.

	Parámetros	N	W	P
S-W	TEST	30	0.94	0.10
	TLS	30	0.93	0.05
K-S	TEST	30	0.15	> 0.20
	TLS	30	0.10	> 0.20

TLS es normal.

Además el análisis de los histogramas de frecuencias ajustados a la distribución normal esperada, corroboran los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk. Independientemente de la alta reputación de ésta, razones por las cuales preferimos dar mayor peso en el tratamiento estadístico a la denominada estadística no paramétrica.

Existen diferencias sustanciales entre ambos grupos de la muestra, las cuales pueden ser observadas en la Tabla 3, además corroboradas por las cuatro pruebas estadísticas aplicadas al efecto, ellas fueron: Kolmogorov-Smirnov, prueba de U (Mann whitney), prueba de Mediana y la prueba de Kruskal wallis. Todas ratificaron que existe una probabilidad mayor al 99 % de que sean diferentes ambos grupos de la muestra.

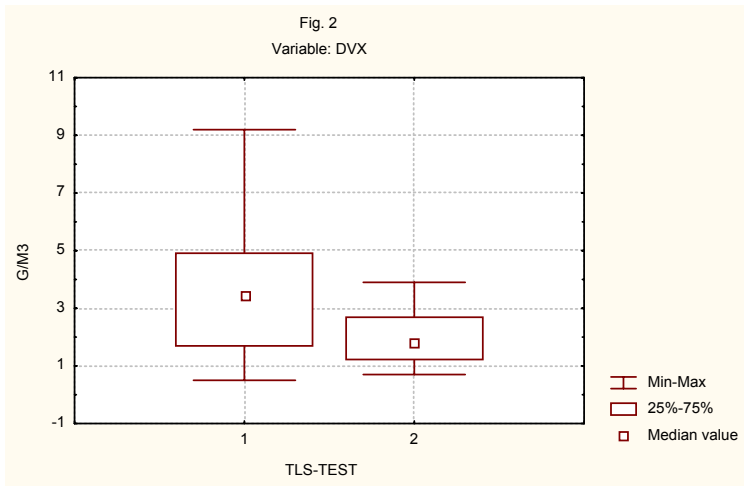
Obsérvese que el máximo valor de DV de las TESTs (3.9 g/m^3) está prácticamente al nivel del valor mediano de las TLSs ($3,45 \text{ g/m}^3$), lo que resulta razonable desde el punto de vista físico, si se tiene en cuenta lo planteado por Zipser E. J. (1990), respecto al

Tabla 3: Principales parámetros estadísticos de la densidad VIL.

Var.	Media	Coef. de Conf.	Md	Min	Máx.	Cuartiles		Desv Stand.	Error Stand.
						Inf.	Sup.		
DVTEST	1.99	± 1.68	1.82	0.70	3.9	1.23	2.7	0.84	0.15
DVTLS	3.82	± 2.93	3.45	.50	9.20	1.7	4.9	2.4	0.43

estadio de madurez severa, logrado por aquellas tormentas que producen fenómenos severos.

En ambos grupos se ve una mayor dispersión hacia al lado derecho de la mediana, siendo esto más pronunciado en las TLSs. Según puede inferirse de la Fig. 2, El máximo valor de TEST, está al nivel de la magnitud que representa aproximadamente el 60 percentil del grupo de las TLSs, característica que podría ser aprovechada si se deseara



utilizar esta variable para el pronóstico de TLS, determinando un umbral a partir del cual los ecos que tengan magnitudes iguales o superiores se consideren generadores potenciales de TLSs. Por ejemplo, con el ánimo de ilustrar el uso de esta variable, si quisiéramos un umbral, podríamos usar el valor de la magnitud del

cuartil superior de las TEST ($2,7 \text{ g/m}^3$), como indicativo de la potencialidad de ocurrencia de TLS y con la propia muestra que estamos analizando obtener los resultados expuestos en la Tabla 4.

La tabla antes referida nos muestra que el 53 % de los casos de TLS tuvo una DV $\geq 2,7 \text{ g/m}^3$ antes o en el mismo ciclo que se observa la ZM, se ha tomado este indicador porque se asume que los fenómenos severos alcanzan la superficie terrestre después de observarse el máximo valor de ZM del eco, al cual esté asociada la TLS. Dichas tormentas mayoritariamente se anticiparon entre 15 y 60 minutos, lo que resulta alentador si se tiene en cuenta que uno de los principales problemas para el pronóstico inmediato de las TLSs es el poco tiempo que media entre la detección de la potencialidad y el efecto en superficie de la TLS.

En las TESTs sólo el 6 % logró alcanzar el umbral de densidad VIL analizado, esta proporción es equivalente a dos casos: uno arribó a dicho umbral de densidad en el mismo ciclo de medición que la ZM y el otro 15 min antes.

Si quisiéramos calcular la efectividad probable del umbral con la propia muestra que se analiza podríamos hacerlo bajo la hipótesis de que esta es igual al porcentaje de casos

Tabla 4: Porcentaje de casos, cuya $DV \geq 2,7 \text{ g/m}^3$ se observó antes o en el instante de la ocurrencia de la ZM

	TEST (%)	TLS (%)
Magnitud umbral antes o en el instante de la ZM	6	53

bien clasificado en cada grupo.

Veamos los resultados, 16

TLSs fueron bien clasificadas,

lo que representa un 52 % de

las mismas, mientras que el 94

% de las TESTs estarían bien clasificadas. Por tanto si se suman ambos grupos fue bien

clasificados el 73 % de la muestra total. La baja efectividad probable en el grupo de las

TLSs se debe a que en éste, se encuentran unidas las TLSs tornádicas y no tornádicas

(granizadas y vientos fuertes), dicha afirmación está corroborada por los siguientes

resultados:

De las 16 TLSs, cuyas $DV \geq 2,7 \text{ g/m}^3$ se observaron en el instante de ocurrir la ZM o

antes, 14 eran no tornádicas, es decir que sólo dos de las tornádicas fueron identificadas

con dicho umbral. De lo anterior puede inferirse que ésta magnitud ($2,7 \text{ g/m}^3$), es buena

para identificar tormentas no tornádicas y mala para pronosticar tornados, por lo que

resulta más aconsejable tener un umbral para cada uno de éstos dos grupos de TLS.

CONCLUSIONES

Se ha podido observar en la muestra analizada que las magnitudes de DV de las TESTs

son significativamente diferentes a las de TLSs, lo que da la posibilidad de poder

encontrar un umbral para diferenciar ambos tipos de tormentas, con fines de pronóstico,

dichas diferencias han sido mostrada cuantitativamente.

En la muestra utilizada se logró clasificar correctamente el 73 % de la muestra. Si se

pretenden optimizar los pronósticos, es necesario dar tratamiento diferenciado a las

tormentas tornádicas y no tornádicas, pues el uso de un solo umbral para pronosticar ambos tipos de TLS no parece ser suficiente para obtener una alta efectividad. Esto es una consecuencia de la evolución física que siguen los ecos según sean estos dos tipos de tormentas severas.

Resulta alentador que mayoritariamente la potencialidad de ocurrencia de TLS fue detectada con una anticipación entre 15 y 60 min antes de aparecer el valor de ZM, pues el pequeño intervalo de tiempo entre la detección de la misma y el efecto de la tormenta en superficie es uno de los problemas más serios para el pronóstico.

BIBLIOGRAFÍA

Aroche, R., J. C. Antuña, y C. Morales, 1994: Comportamiento de la tropopausa en el PMC. Parte

I: Variables aerológicas. Ciencias de la Tierra y el Espacio # 23-24

Córdova, L., 1992: Patrón de reconocimiento para nubes convectivas en el occidente de Cuba como basamento para el pronóstico a muy corto plazo por radar. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas INSMET. CUBA.

Donaldson R.J.Jr., 1965: Methods for identifying Severe Thunderstorm by radar: a guide and bibliography, bolletin AM5.

F. Gamboa, C. A. Pérez, R. Aroche y M. Martínez (2003): CARACTERIZACIÓN DE TORMENTAS LOCALES SEVERAS EN CAMAGÜEY, ARCHIPIÉLAGO CUBANO. Primer Encuentro sobre Meteorología y Atmósfera de las Canarias. Noviembre 2003. Canarias España.

Martín, L. F., Y Riosalido A. Ricardo, 2000: BIBLIOTECA DE MÓDULOS TEMPO. Modelos Conceptuales: Radar Servicio de Técnica Análisis y Predicción. INM. Biblioteca INM. Cd publicado para el INM de España. Biblioteca INM.

Zipser E. J., 1990: Utilización de un modelo teórico del ciclo de vida de los sistemas convectivos de mesoescala para mejorar las predicciones a muy corto plazo, versión española de Nowcasting. Madrid España