

**Climatología de las Tormentas Locales Severas en Cuba en el período 1987 – 2002.
Resultados de la modelación de un caso de estudio**

Gisell Aguilar Oro¹
Mario Carnesoltas Calvo¹
Carlos Fernández Balseiro²
Lino Naranjo Díaz²

Instituto de Meteorología, Cuba

RESUMEN. En el presente trabajo se expone una breve descripción del comportamiento climatológico de las Tormentas Locales Severas (TLS) en Cuba desde 1987 hasta el 2002. Los resultados que se muestran son parte del proyecto "Condiciones favorables para la ocurrencia de tormentas locales severas en Cuba. Un esquema para su predicción", que entre sus objetivos se encuentra completar la cronología de TLS que hasta 1986 realizó Alfonso (1994). Los resultados que se presentan tienen un carácter preliminar sobre la manifestación en Cuba de los tornados, trombas marinas, granizos y vientos lineales fuertes (aeroavalanchas), cuya importancia es vital por su impacto socioeconómico, y por lo extremadamente difícil que resulta su predicción con suficiente antelación en la mayoría de los casos. Este hecho se debe en gran medida al escaso nivel de conocimientos que actualmente se posee en Cuba sobre las TLS, la baja densidad de la red de estaciones meteorológicas, principalmente en el mar, y a la rapidez con que se desarrollan estos fenómenos. Por lo antes expuesto, la búsqueda de soluciones para su posible pronóstico se ha convertido en una necesidad del Servicio Meteorológico cubano, y es la razón de que en el trabajo se presenten también resultados preliminares obtenidos para un caso de estudio con el empleo del modelo ARPS en el pronóstico de TLS.

Palabras claves: Tormentas Locales Severas

Severe Local Storms

1 M.Sc. Gisell Aguilar Oro, Instituto de Meteorología, Cuba
E-mail: gisell@met.inf.cu

1 Dr. Mario Carnesoltas Calvo, Instituto de Meteorología, Cuba
E-mail: marioc@met.inf.cu

2 Lic. Carlos Fernández Balseiro. MeteoGalicia. España.
E-mail: cfb@cesga.es

2 Dr. Lino Naranjo Díaz MeteoGalicia. España.
E-mail: lino.naranjo@meteogalicia.usc.es

1. INTRODUCCIÓN.

Aunque la región del Mar Caribe, donde se encuentra Cuba, es un lugar privilegiado por la naturaleza con un clima tropical suave que la hacen un polo turístico importante, en ella resulta muy común la aparición de vientos muy fuertes, tornados y otros eventos peligrosos que a una escala local se asocian a la actividad diaria de las tormentas eléctricas, por demás muy frecuentes en esta parte del planeta y que causan notables impactos dentro de las infraestructuras sociales y la seguridad humana. Estos fenómenos severos mencionados entran dentro de la clasificación de Tormentas Locales Severas que fuera definida en Cuba en 1985 (Alfonso, 1986) como aquellas tormentas que presentan al menos uno de los siguientes fenómenos: trombas marinas, tornados, granizos y vientos lineales superiores a los 96 km/h.

Las TLS en Cuba ocurren en cualquier época del año, aunque puede identificarse los meses de marzo a septiembre como los de mas frecuencia, siendo mayo el mes de mayor probabilidad de ocurrencia. Casi todas estas tormentas se forman en horas de la tarde una o dos horas después de registrarse la máxima temperatura del día (Alfonso, 1994). El mayor número de estos reportes se corresponden con zonas alejadas de las costas aunque éstas últimas no quedan libres de las probabilidades de ocurrencia (Lecha et al. 1994). Se producen casi exclusivamente por nubes cumulonimbus, caracterizadas por descargas eléctricas y precipitaciones en forma de chubascos que muy frecuentemente son de carácter intenso. La vida de una nube tormentosa es corta, alrededor de una o dos horas.

El tipo y grado de severidad de las tormentas convectivas depende del ambiente en el cual ellas se desarrollan, particularmente de la inestabilidad convectiva y la cizalladura vertical del viento. La inestabilidad convectiva ejerce una influencia fundamental sobre la fuerza de la tormenta debido a que ella controla la habilidad del aire húmedo de ascender verticalmente, mientras que la cizalladura vertical del viento influye fuertemente en la forma y la organización en que esta convección tiene lugar, o sea, si conlleva a la formación de celdas simples, multiceldas o superceldas. Un aspecto muy importante, además de las condiciones de inestabilidad, lo constituye la distribución de la humedad, ya que se necesitan grandes cantidades de vapor de agua para soportar el crecimiento de las corrientes ascendentes y que estas produzcan nubes lo suficientemente grandes. La cizalladura del viento provoca que a medida que el viento se hace más intenso la interacción de las corrientes ascendentes con el flujo cizallado se convierte en un factor de organización y sostenimiento de la convección (COMET, 1996).

A excepción de los ciclones tropicales, la actividad severa en Cuba está determinada por los sistemas que provocan la convección profunda a escala local, entre los que se encuentra la circulación de la brisa de mar y tierra. La forma alargada de la Isla permite el desarrollo de dos sistemas de brisa bien definidos, uno de costa sur y otro de costa norte. En especial la brisa de 2da. especie actúa como elemento disparador de la convección en un entorno condicionalmente inestable, prácticamente todos los días del año y que en presencia de cizalladura vertical, puede dar origen a actividad severa (Carnesoltas, 2002). De esta forma el uso de modelos de mesoescala de alta resolución que sean capaces de modelar el comportamiento del sistema de brisas y la convección asociada, sería un arma muy eficiente para determinar probabilidades de ocurrencia de eventos severos asociados a las TLS con un intervalo de tiempo mayor que permita aplicar medidas mejoradas de

protección.

La atención prestada en Cuba a estos fenómenos comunes ha continuado incrementándose en los últimos años, su vigilancia constituye labor cotidiana de los Centros Meteorológicos a lo largo de todo el país, simultáneamente al hecho de que la población ha ido ganando paulatinamente conocimiento respecto a los fenómenos severos y sus niveles de riesgo. Al contrario de los ciclones tropicales que ocupan áreas mucho más extensas, puede asegurarse que la violencia de una tormenta severa puede superar la producida por los primeros.

El objetivo del presente trabajo es mostrar la climatología de las Tormentas Locales Severas en Cuba en el período 1987 – 2002 y presentar mediante un caso de estudio las posibilidades de predicción anticipada de TLS con un modelo de mesoescala no hidrostático.

2. MATERIALES Y METODOS

La información para el análisis que se presenta en este trabajo fue tomada de las tablas de reporte de TLS durante el período comprendido desde el año 1987 hasta el año 2002, elaboradas por cada Centro Meteorológico Provincial (CMP) durante el 2003, como parte del Proyecto "Condiciones favorables para la ocurrencia de Tormentas Locales Severas en Cuba. Un esquema para su predicción". La información se recopiló en cada provincia por un especialista del CMP mediante búsquedas en la información emitida por el propio CMP, en los archivos provinciales y municipales, emisoras de radio y periódicos, red de aficionados y otras fuentes disponibles. Las tablas se elaboraron en formato Excel de acuerdo a la metodología establecida por el Proyecto para este fin. La información primaria recibida fue ordenada de manera adecuada y sometida a un control de calidad que eliminó datos repetidos, inseguros o incongruentes, dejando aquellos en los que había consistencia del reporte a través de las observaciones del INSMET o aficionados. Este proceso permitió finalmente contar con una muestra de 1603 casos reportados con elevada confiabilidad en el período de los 16 años que se analizan. No obstante, con vistas a la comparación de un período con otro, a la hora del análisis se tuvieron en cuenta los resultados del período 1981-1986 obtenidos por Alfonso (1994).

El formato Excel permitió obtener las tablas de cantidad de TLS por año, por meses, por provincias, por categorías de evento asociado (tornado, vientos lineales, granizos y trombas) y el comportamiento anual de cada una de las categorías de evento asociado, aunque esto último no se presenta en el trabajo.

Se tomó el día 21 de agosto de 2003 como caso de estudio para simular el desarrollo de la actividad convectiva mediante un modelo de mesoescala, ya que durante la tarde de ese día fue detectado un tornado al sur de Ciudad de La Habana y caída de granizos en el interior de la provincia La Habana. Al modelo se le suministraron los datos de superficie de la red de estaciones meteorológicas cubanas y de un área aledaña a Cuba, desde las 1200 UTC del día 20, hasta las 2100 UTC del día 22 de agosto.

3. RESULTADOS

3.1 Comportamiento climatológico de las TLS en el período 1987 – 2002.

En la Fig. 1 se muestra la afectación de las TLS por provincias para un plazo de 16 años. Como se puede apreciar, los fenómenos severos definidos como TLS ocurren en todas las provincias, lo que implica que ninguna región está exenta de ocurrencia de estos fenómenos. Sin embargo, resulta interesante destacar la gran diferencia en el número de casos reportados en cada provincia, desde valores tan bajos como 19 en Santiago de Cuba, hasta 468 en la provincia de Matanzas. Esto no debe entenderse de forma definitiva como que las TLS muestren preferencias en determinadas provincias, sino que estas diferencias ilustran la problemática existente en la detección y reporte de estos fenómenos. Las TLS resultan fenómenos de mesoescala de una pequeña extensión territorial, de ahí que su detección y reporte sólo podrá realizarse por los métodos hasta ahora empleados, si afectan áreas habitadas o con interés económicos.

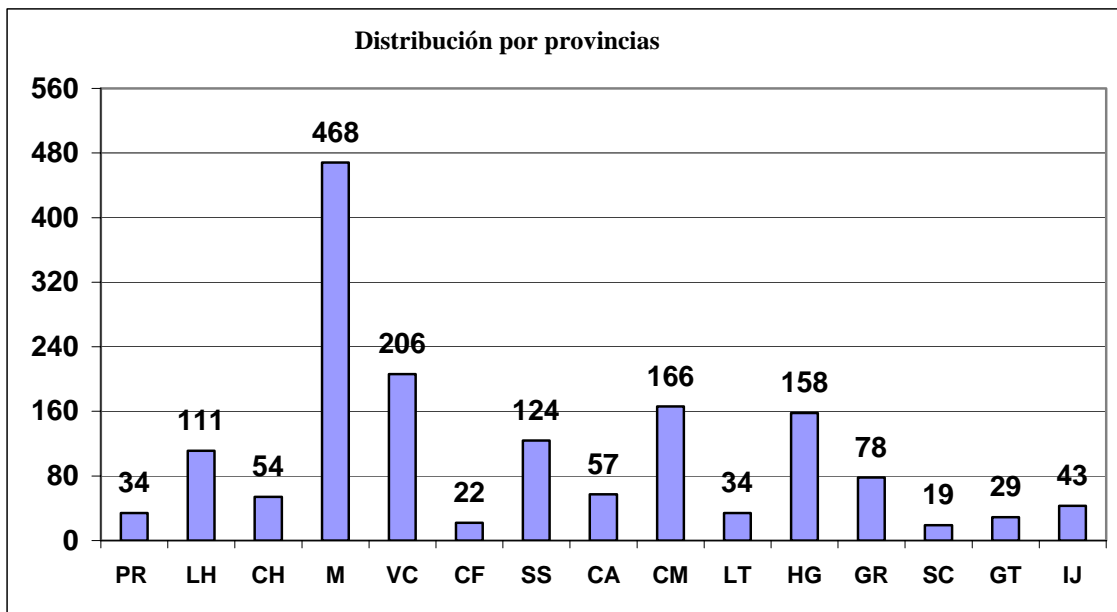


Fig. 1 Distribución del número de TLS por provincias en el período 1987 – 2002.

Durante varios años en la provincia de Matanzas se ha realizado un importante trabajo de monitoreo de ocurrencia de estos fenómenos, lo que llevó a incrementar los casos reportados. Esta experiencia sugiere que los casos reportados en otras provincias son una porción pequeña de las TLS que realmente ocurren, y por tanto, su impacto potencial sobre la sociedad es mucho mayor del que se refleja en las actuales estadísticas.

En la Fig. 2 se aprecia que la variación estacional de TLS en el período 1987 – 2002, corrobora lo encontrado por Alfonso (1986) para el período 1981 – 1986, en cuanto a que la ocurrencia de TLS presenta un máximo que va de mayo a julio, lo que además es coherente con la marcha estacional de las Tormentas Eléctricas (TE). Sin embargo, esta misma figura muestra que en el período que se analiza, el máximo se define en el mes de mayo y no en junio como lo encontrado por Alfonso (1986). El máximo en mayo es consistente con las condiciones meteorológicas que prevalecen en el primer mes del período lluvioso, por un lado (el comportamiento de la cizalladura vertical en este mes), unido al calentamiento diurno propio de este período, supone condiciones favorables para

el desarrollo de las TLS. Por su parte el mínimo también se encuentra representado en el período poco lluvioso. Resulta significativo el aumento de los casos reportados en el mes de marzo con respecto a febrero, y coincide con los eventos de TLS más severas reportados en Cuba, como es el caso de la tormenta del 13 de marzo de 1993 y los brotes de tornados y granizadas reportados en la región occidental en los años de 1983 y 1987 (Aguilar, 2000)..

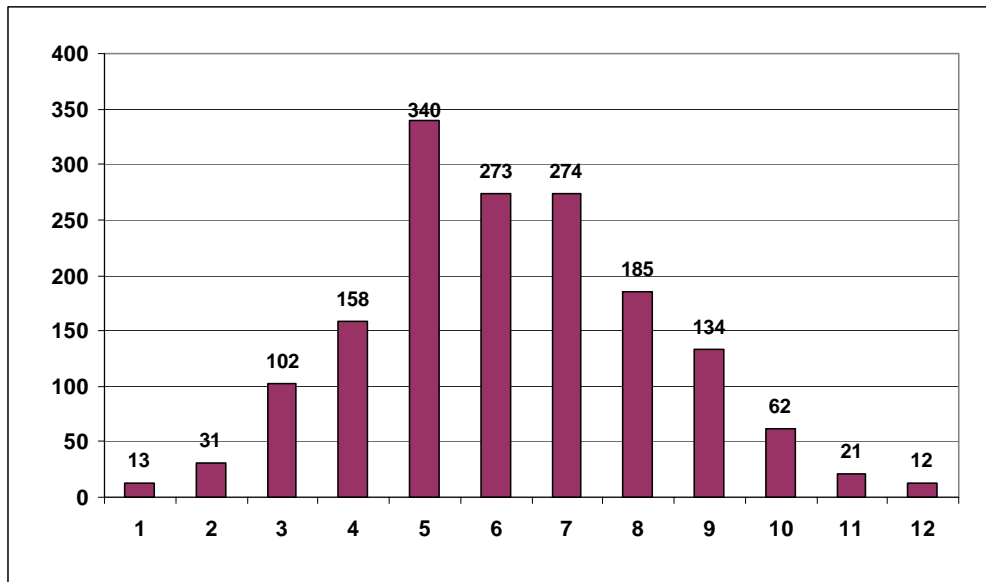


Fig. 2. Variación estacional del número de TLS reportadas en Cuba (1987 – 2002).

La Fig. 3 representa las variaciones interanuales de los casos de TLS reportados en Cuba desde 1987 hasta el 2002. En ella se puede apreciar que estos eventos se encuentran sujetos a una clara variabilidad interanual. Aunque no es posible definir aún ciclos de variaciones dentro de esta serie, si parece evidente que durante los últimos años de la década de los años 80 y principio de los 90, resultaron con condiciones más favorables para la ocurrencia de las TLS, que la segunda mitad de los 90 y los comienzos del siglo XXI.

Un aspecto a destacar es que los dos máximos absolutos en la muestra coinciden con los años siguientes a los dos eventos “La Niña” más importantes del pasado siglo, aunque sacar conclusiones de este hecho resulta apresurado, a pesar de ser interesante que según Alfonso (1986), era el evento “El Niño” el que parecía tener influencia en la ocurrencia de las TLS en Cuba. Esta aparente conexión, según Naranjo et al. (2003), pudiera no ser un reflejo de las condiciones en el Pacífico tropical, donde el evento “La Niña” provoca cambios en la circulación atlántica que incluso son capaces de afectar los patrones teleconectivos dentro de esta cuenca. Sobre esta base los máximos absolutos encontrados en esta serie pudieran ser reflejo de los cambios en los patrones de circulación en el área del dorsal subtropical atlántico, inducido por el evento “La Niña”.

El fenómeno Tornado (Fig. 4), presenta una alta variabilidad interanual con máximos notables en 1988 y 1989. Si comparamos los casos reportados entre 1987-2002 con la cronología previa a 1987 (Alfonso, 1994) se puede apreciar que la década de los 90 sufrió una disminución en el número de casos reportados, igualando aproximadamente los niveles de la década de los años 70. Es de destacar que el comportamiento de las variaciones

interanuales de los casos de TLS reportados (fig. 3) es similar a la cantidad de tornados relacionados, lo que resulta una medida de la severidad de las propias TLS que ocurrieron.

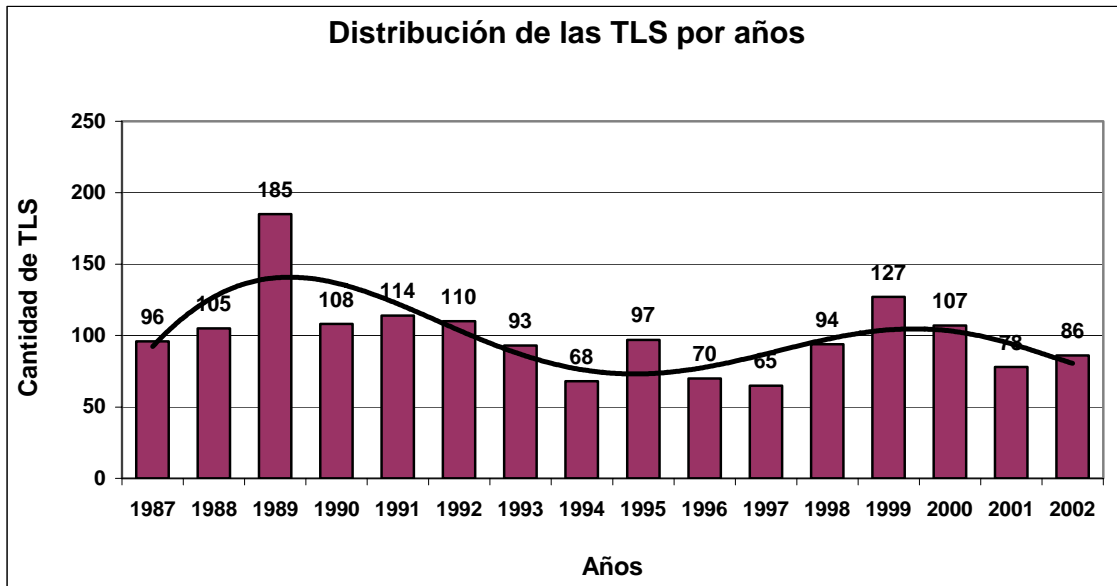


Fig. 3. Variación interanual del número de TLS reportadas en Cuba (1987 – 2002).

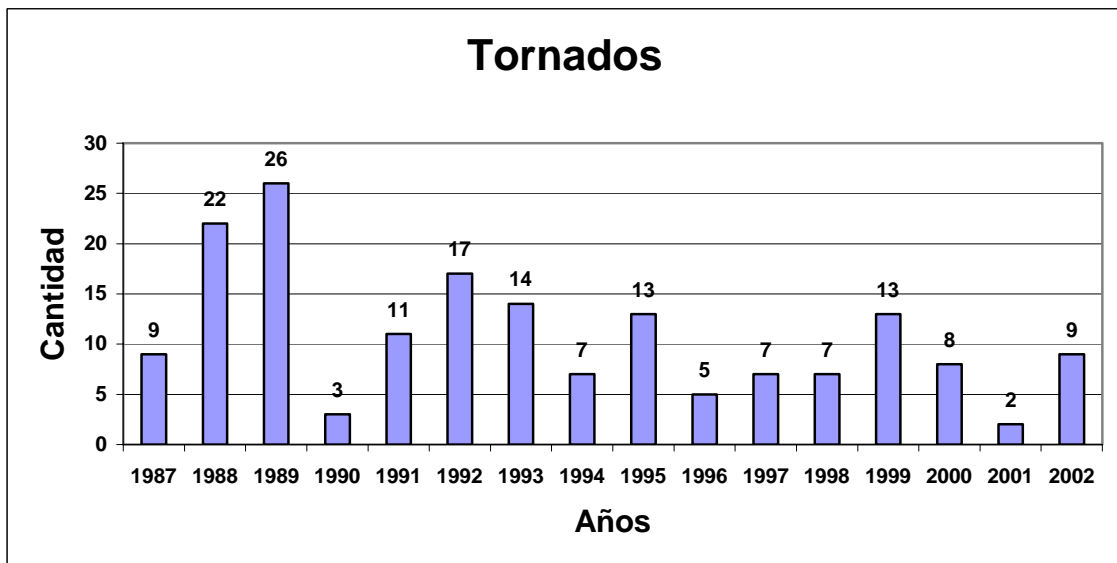


Fig. 4. Variación interanual del número de tornados reportados en Cuba (1987 – 2002).

El propio Alfonso sugirió que dichos comportamientos pudieran estar relacionados con el evento ENOS, pero ahora para la serie del período 1987-2002 no es tan evidente, ya que 1998 fue un año de evento ENOS fuerte y sin embargo la cantidad de tornados reportados fue mínima.

Resulta interesante observar que mientras la variación interanual del número de tornados reportados (Fig. 4) tiende a disminuir, la variación interanual del número de vientos lineales fuertes reportados, o sea de aeroavalanchas (Fig. 5), tiende al aumento. pues de

alguna forma la disminución en el número de tornados es acompañada con un aumento en el número de Aeroavalanchas. Esto pudiera estar motivado por dos razones: variaciones reales de los factores atmosféricos condicionantes de cada uno, entre ellos la cizalladura vertical del viento, o un factor subjetivo por una mejor divulgación de la aeroavalancha durante los últimos años, que podría haber sido confundida con anterioridad con un tornado, reportándolo como tal.

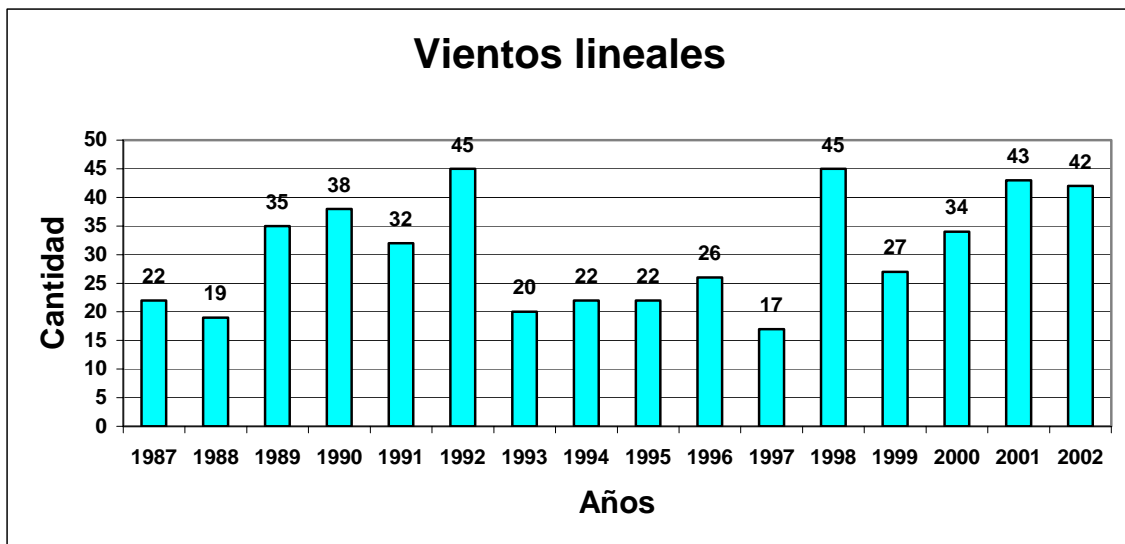


Fig 5. Variación interanual del número de vientos lineales fuertes (aeroavalanchas) reportadas en Cuba en el período 1987 – 2002.

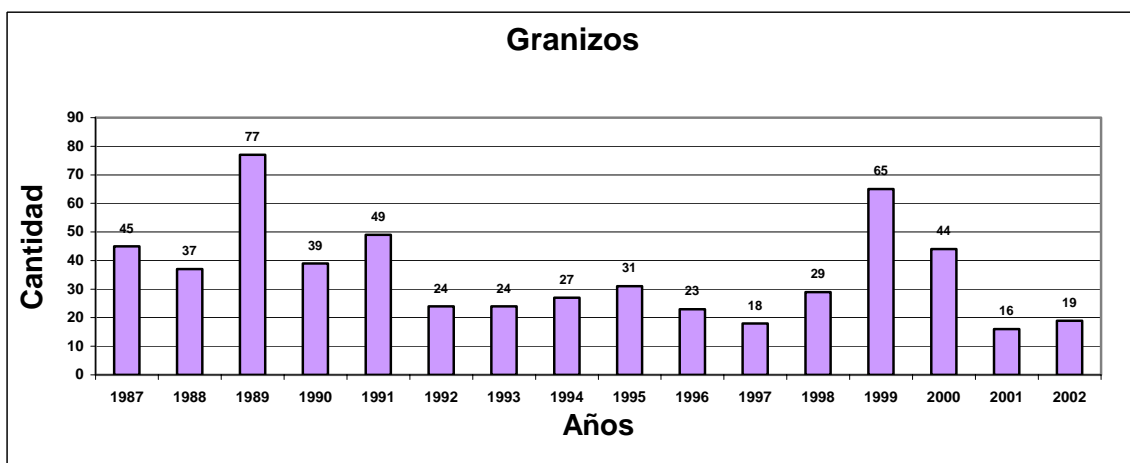


Fig. 6. Variación interanual del número de granizadas reportadas en Cuba (1987 – 2002).

En lo referente a la caída de granizos (Fig. 6), es posible apreciar con claridad los mayores valores en los períodos 1987-1991 y 1998-2000. Debe destacarse que los dos años de máximos absolutos (1989 con 77 casos y 1999 con 65 casos) están relacionados a los eventos “La Niña”. Este comportamiento sugiere además, que las características en este sentido encontradas en el comportamiento general de las TLS pueden estar determinadas por los granizos reportados (excepto 1990 y 2000 que disminuyen los casos).

3.2 Un caso de estudio de predicción anticipada de TLS con un modelo no hidrostático de mesoescala.

Dada la frecuencia de ocurrencia de las TLS en Cuba, se hace necesario la búsqueda de soluciones para lograr un método de pronóstico adecuado a corto plazo. Teniendo en cuenta el futuro desarrollo que puede tener la modelación en el Servicio Meteorológico cubano, se tuvo la oportunidad de emplear una corrida del modelo ARPS establecido operativamente en MeteoGalicia, en España, con algunos casos de estudio sobre territorio cubano de ocurrencia de TLS, el cual dio como resultado algunas áreas dentro de una región donde existían, por un lado fuerte confluencia del campo de viento en superficie y de fuerte nubosidad convectiva, condiciones que necesariamente existen durante la ocurrencia de severidad, y por otro lado, mostró la intensidad de la precipitación y núcleos fríos en superficie, ambos como efectos de tormentas en esa área. Uno de estos casos se presenta a continuación.

Al final de la tarde del 21 de agosto de 2003 se detectó un tornado al sur de la Ciudad de La Habana y caída de granizo al centro de la provincia La Habana. Por este motivo se seleccionó como uno de los casos de estudio para los que se aplicó el modelo ARPS en la predicción de eventos severos, bajo las condiciones favorables a escala sinóptica y el forzamiento de las condiciones de mesoescala por la circulación local de la brisa de mar.

Algunos estudios previos (Balseiro et al. 2002 y Pozo, 2003) indican la posibilidad real de establecer predicciones mediante el uso de modelos de mesoescala de alta resolución, que permiten describir con adecuada exactitud las configuraciones favorables para la formación de convención profunda y por lo tanto favorables para algún tipo de severidad. Los conocimientos previos de los procesos que pueden desembocar en manifestaciones de tiempo severo de carácter local y el uso de los modelos de mesoescala ARPS y MM5 que se pretenden utilizar en este proyecto, podrían constituir una herramienta de vigilancia y predicción de las TLS en Cuba, así como podrán favorecer el sistema de alerta temprana ante la afectación de otros tipos de fenómenos meteorológicos adversos muy frecuentes en Cuba.

La primera experiencia aplicada a una situación de tiempo severo ocurrida cerca de Ciudad de la Habana, en horas de la tarde del día 21 de agosto de 2003, ha dado resultados muy satisfactorios, pues el modelo además de mostrar la actividad convectiva fuerte al sur de la capital, lugar donde se reportó caída de granizos y el desarrollo de un tornado, también indicó nubosidad de fuerte desarrollo vertical en la porción norte de Pinar del Río, centro sur de Matanzas y norte de la Isla de la Juventud. Esta situación se observó en las imágenes de satélite correspondientes a ese día. (ver imagen en la fig. 7).

Tanto la imagen de satélite como los mapas anteriores se corresponden con las 2200 UTC del día 21 de Agosto del 2003, y muestran por un lado el tiempo real del caso estudiado, mientras que por otro son los mapas correspondientes a la misma hora de los resultados del modelo ARPS con 10 kilómetros de resolución sobre Cuba. A pesar de que esta resolución todavía resulta inadecuada para el pronóstico de nubes independientes, permitió observar áreas más pequeñas dentro de una región con condiciones favorables para la ocurrencia de tormentas severas. Algunos de los mapas de la región occidental se ampliaron con el fin de

observar detalles de los resultados del modelo. Se observa una aproximación entre la nubosidad mostrada por la imagen de satélite y las predicciones del ARPS, tanto de nubes como de precipitación horaria.

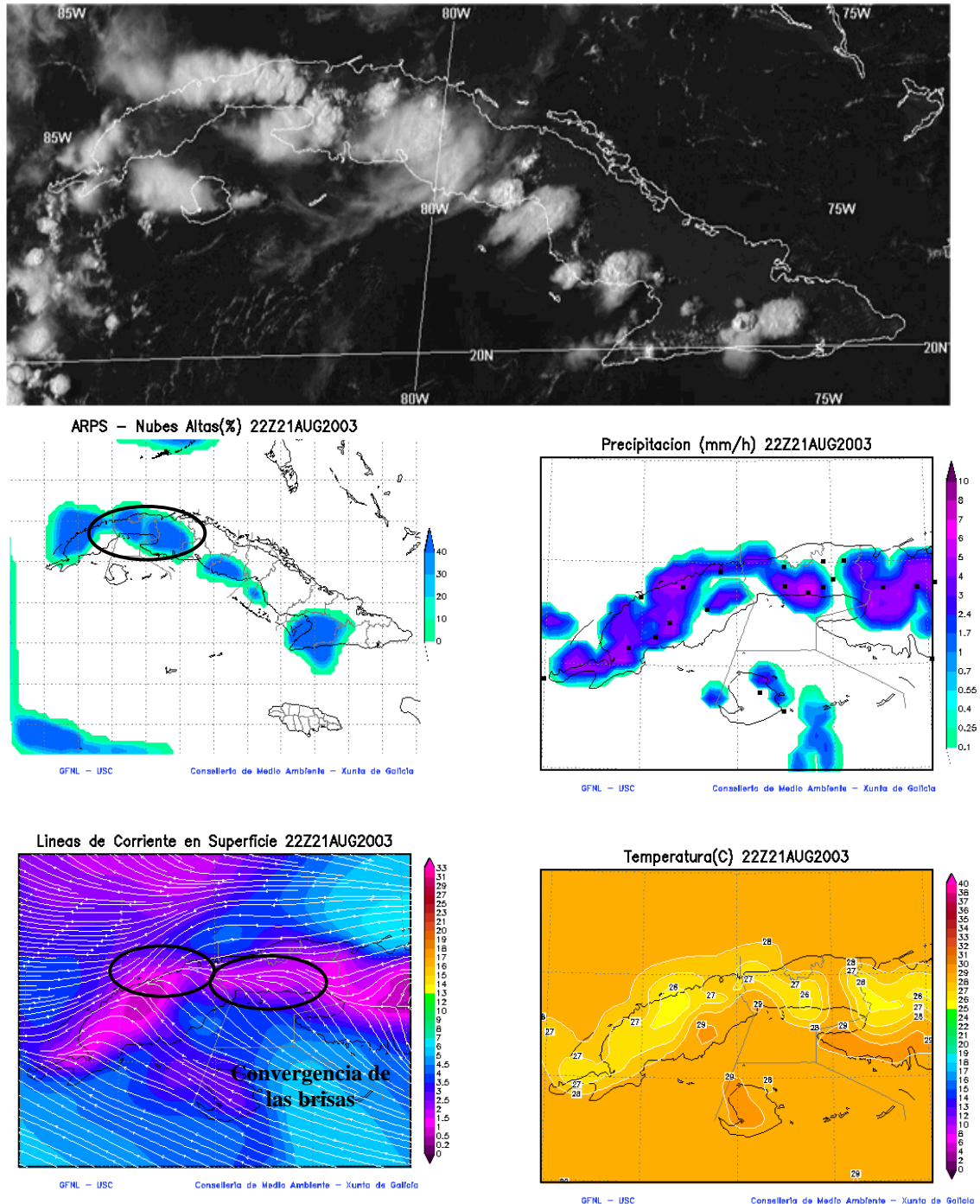
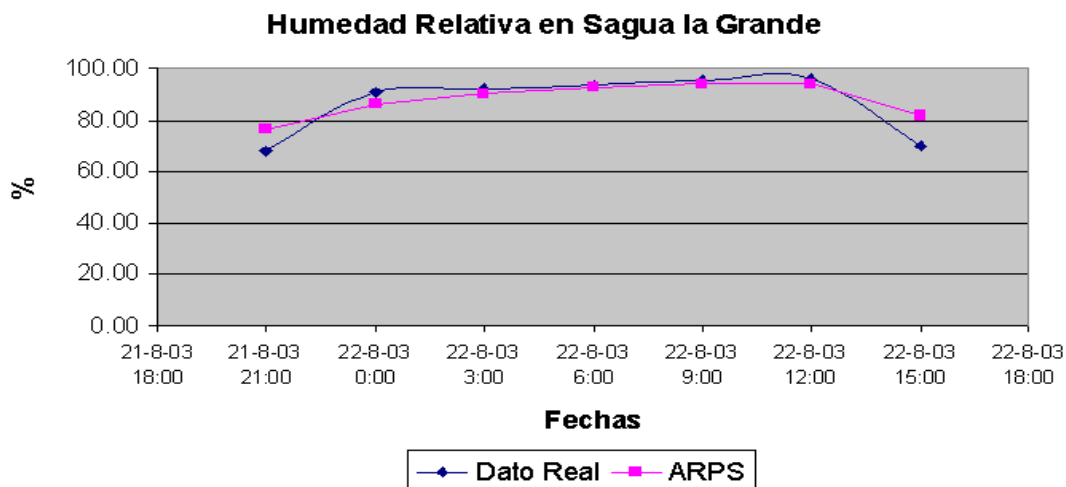
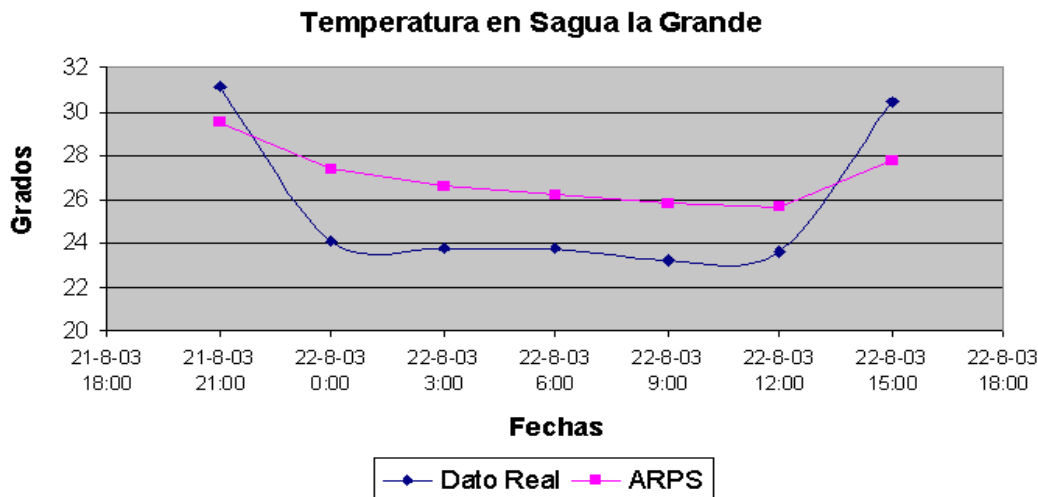


Figura 7.- Imagen satélite correspondiente a las 2200 UTC del día 21 de Agosto de 2003 y resultados del modelo ARPS para la misma hora.

El modelo fue capaz de simular adecuadamente las circulaciones de brisas de la costa norte y de la costa sur, así como la presencia del frente de la brisa que favoreció el fuerte desarrollo convectivo. Aunque a partir de esta primera experiencia aun queda mucho trabajo por hacer, es evidente que se abren perspectivas muy amplias, incluso en el desarrollo de un sistema de predicción más ambicioso.

Por otra parte si observamos la evolución temporal de las variables pronosticadas por el modelo ARPS (Figura 8), puede observarse que existe una tendencia a sobreestimar la temperatura superficial. Esta sobreestimación en los resultados de la temperatura viene provocada por un deficiente ajuste del esquema convectivo a la región de Cuba. El error obtenido en la predicción de temperatura superficial no supera los 3 grados Celsius, y coincide con el periodo convectivo, reflejando una buena predicción de las temperaturas máximas.

Se obtuvo también un ajuste adecuado de la precipitación, tanto en cantidad como en el horario de ocurrencia, así como una buena predicción de la humedad relativa en superficie.



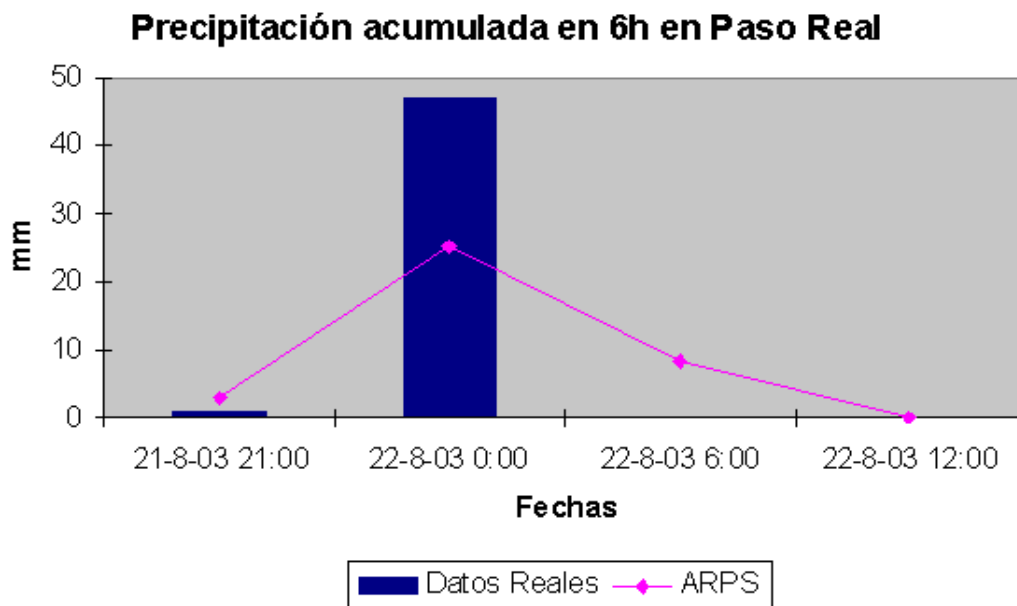


Figura 8.- Evolución temporal comparativa entre el ARPS (líneas rosas) y los datos reales (líneas azules)

CONCLUSIONES

1. Las TLS en Cuba representan un importante elemento a tener en cuenta dentro de la Meteorología cubana. Su afectación causa notables pérdidas económicas y cobra vidas humanas, y aunque actualmente existe un nivel de conciencia social relativamente alto, los estudios demuestran que el número de estos eventos resulta significativamente mayor que los que se reportan, lo cual incrementa su peligro potencial.
2. Las TLS presentan una clara variación estacional con máximo entre los meses de mayo a julio, siendo el mes de mayo el que presenta un máximo absoluto dentro de la muestra. A pesar de ello el mes de marzo es el que posee los eventos de TLS más severos reportados en Cuba.
3. La variabilidad interanual de los reportes de TLS en Cuba parece incrementarse en la última década. Los análisis sugieren una relación entre los eventos “La Niña” y los máximos de actividad de TLS, lo cual por otra parte pudiera ser un reflejo de la influencia que la “La Niña” ejerce sobre los patrones de circulación en la cuenca atlántica.
4. Se notó que una disminución de los casos de tornados reportados está acompañado con un incremento de reportes de las aeroavalanchas, lo que puede estar relacionado con la cizalladura vertical del viento lo cual es considerado un factor determinante en la presencia de tornados y aeroavalanchas.
5. En el caso de los granizos, el período 1981 – 1986 más el período 1987 – 1990, presentó un mayor número de reportes con respecto al período 1991 – 2000, destacándose los máximos absolutos en los años 1989 y 1999, vinculados a los eventos

La Niña.

6. La primera experiencia aplicada a la predicción operativa de TLS mediante el uso de modelos numéricos de mesoescala de alta resolución, se realizó en el caso de estudio del 21 de agosto del 2003. El resultado indica que el modelo fue capaz de describir adecuadamente las circulaciones de brisas y del frente de brisa, además de determinar las zonas donde las condiciones eran más favorables para el desarrollo de las TLS.
7. El desarrollo exitoso de este experimento abre perspectivas muy importantes para el establecimiento de un sistema operacional de pronóstico de TLS en el Instituto de Meteorología, utilizando los modelos ARPS y MM5, adaptados por Balseiro et al (2002).

Referencias

- Aguilar O., G., 2000: Los tornados intensos en Cuba. Análisis de dos casos de estudio. Boletín de SOMETCUBA. La Habana, Cuba.
- Alfonso A. P., 1988: Climatología de las tormentas locales severas de Cuba y fundamentos para su pronóstico. Tesis presentada en opción al grado científico de candidato a doctor en Ciencias Geográficas, Matanzas. 174 pp.
- Alfonso A. P., 1994: Climatología de las tormentas locales severas de Cuba. Cronología. Editorial Academia, La Habana. 168 pp.
- Antuña, J. C., A. Lapinet, y R. Rivero, 1992: La tormenta local severa del 17 de septiembre de 1982 al oeste de Vertientes”. Revista Ciencia de la Tierra y del Espacio, **19**, 75 – 88.. La Habana. Cuba.
- Balseiro, C., 2002: Sistema de Predicción para el noroeste de España mediante el uso del modelo de alta resolución ARPS. Documento Técnico de MeteoGalicia. Universidad de Santiago de Compostela. 212 pp.
- Carnesoltas, M. 2002: La circulación local de brisa de mar y tierra. Conceptos fundamentales. Revista cubana de Meteorología, Vol. 9, No.1, 39 – 60.
- COMET 1996: Mesoscale Convective Systems: Squall Lines and Bow Echoes. In Forecaster’s Multimedia Library. NOAA.
- Lecha, L.; L. Paz y B. Lapinel, 1994: El Clima de Cuba. Editorial Academia, La Habana, 168 pp.
- Naranjo, L. J. Tabohada y G. Aguilar, 2003: Anomalías de la circulación atlántica en el invierno 2001 – 2002. Su impacto sobre Cuba y Galicia. Ejemplo de una teleconexión ENOS. Presentado en el X Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. La Habana.
- Pozo, L., Diana, 2003: Simulación numérica tridimensional de nubes convectivas sobre el territorio de Camagüey, Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Meteorológicas. Instituto de Meteorología, 103 pp.

ABSTRACT: A brief description of the climatological behavior of Severe Local Storms (SLS) in Cuba from 1987 to 2002 is exposed in this paper. The results are part of the project "Favorable conditions for occurrence of severe local storms in Cuba: a schema for their forecast". One of the objectives of the project is to update the chronology that up to 1986 was elaborated by Alfonso (1994). This are preliminary results about tornadoes, marine whirlwinds, hailstorm and downbursts in Cuba, of vital importance because of their socioeconomic impact and because the extremely difficulty of forecasting their occurrence with enough anticipation in most of the cases. A fact that in large extent results from the current low level of knowledge that exists in Cuba about the SLS, the low density of the network of meteorological stations, mainly at the sea, and the speed of development of these phenomena.. Because of this, find solutions for their forecast had become a necessity of the cuban meteorological service, and this is the reason that in the papers are presented preliminary results, obtained for a case study employing the ARPS model for the SLS forecast.