

PREDICCIÓN DE TRAYECTORIA DE HURACANES EN LA TEMPORADA DEL 2002 MEDIANTE UN MODELO DE ÁREA LIMITADA, A SU PASO POR TERRITORIO CUBANO.

Autores: Ida Mitrani Arenal; Cecilia González Pedroso
Filiación: Instituto de Meteorología (INSMET), Apdo. 17032,
Loma de Casablanca, Regla, CP. 11700, La Habana, CUBA
Teléfono: (537) 867 07 11 Fax: (537) 33 80 10
e-mail: imitrani@met.inf.cu

INTRODUCCIÓN

El uso de modelos numéricos en la predicción del tiempo, ha permitido aumentar la objetividad de los pronósticos, además de ser estos más efectivos y con mayor anticipación. El servicio meteorológico cubano no está ajeno a este campo científico, sobre todo por lo expuesto que se encuentra el país a eventos meteorológicos peligrosos y entre estos, a los huracanes. Para aumentar la precisión de los pronósticos del tiempo a escala regional y local, se recomienda la utilización de modelos a mesoescala, de área limitada y alimentados por modelos globales. Estos modelos permiten también elevar la calidad en la predicción de la trayectoria de los ciclones tropicales.

El Modelo a Mesoescala de Quinta Generación de la Universidad de Pensilvania en su tercera versión, (MM5V3) ha sido adaptado a las condiciones del territorio cubano y a los recursos de computación disponibles por especialistas del Centro de Física de la Atmósfera (CFA), del Instituto de Meteorología (INSMET) de Cuba, en colaboración con especialistas del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Autónoma de México (UNAM) (Pérez y Magaña 1998; Mitrani y Pérez 1999).

En años anteriores, se realizaron corridas al paso de huracanes con MM5V2 (Pérez Parrado et al. 1998; Mitrani y Pérez, 1999) y más tarde, varios experimentos con MM5V3, usando datos de archivo (Mitrani et al. 2003). Durante la temporada ciclónica del año 2002, en el Instituto de Meteorología se realizaron las primeras corridas operativas del MM5V3, en la predicción del estado del tiempo y el movimiento de los huracanes “Isidore” y “Lili”, que afectaron al archipiélago cubano.

OBJETIVO

El objetivo del presente texto es mostrar las experiencias adquiridas en el pronóstico a corto plazo de trayectorias de huracanes que afectaron al territorio cubano en el 2002. Se pretende mostrar las bondades y limitaciones que presenta el modelo utilizado, lo cual permitirá estudiar las posibles vías para elevar su eficiencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cuando se realizaron las corridas operativas del 2002, el MM5V3 quedó instalado sobre soporte LINUX Red Hat 7.2, en computadora personal Pentium III a 856 Mhz con 128 Mb en RAM. Se alimenta con las salidas cada seis horas del Modelo Global de Aviación (AVN), correspondientes a los campos de temperatura del aire, humedad relativa, componentes del viento, presión atmosférica en superficie y geopotencial en los niveles 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 200, 150 y 100 hPa. Tomando en cuenta las características físico-geográficas de Cuba y su posición en la zona central de los mares Interamericanos (área sombreada de la Fig. 1), se utilizan dos dominios anidados, en proyección Lambert y coordenadas centrales en los 23°N y 80°W, coincidiendo aproximadamente con el centro de Cuba. El dominio exterior presenta pasos espaciales de 75 Km y el interior de 25 Km. El área del dominio exterior se extiende entre los 5 y 40°N y entre los 55 y 100°W, de manera que las salidas del modelo pueden mostrar con suficiente detalle los fenómenos meteorológicos que afectan al Archipiélago Cubano y mares adyacentes, tanto los provenientes del continente, como los que se desplazan por el Caribe y la zona Sur - Occidental del Atlántico Norte. El dominio interior incluye solamente el territorio nacional y las aguas costeras.

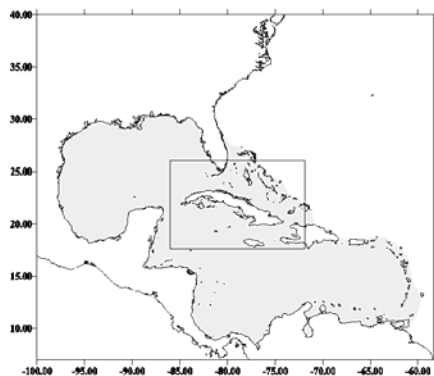


Figura 1. Dominios utilizados para el trabajo operativo con MM5V3 en territorio cubano.

Se conserva la combinación de esquemas de parametrización de los procesos físicos de menor escala, probados experimentalmente por Mitrani et al (2003), tomando en cuenta las recomendaciones existentes en la bibliografía (PSU/NCAR, 2000) y las experiencias obtenidas anteriormente con MM5V2 (Mitrani y Pérez, 1999).

Durante la temporada ciclónica del 2002 se realizaron corridas operativas al paso de los huracanes “Isidore” y “Lili” sobre el territorio nacional; las trayectorias reales y pronosticadas se aprecian en las Fig. 2 y 3.

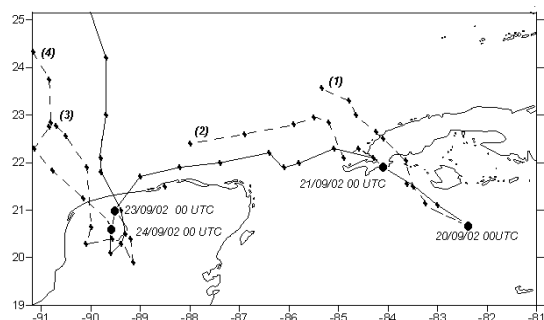


Figura 2. Trayectorias real (-) y pronosticadas (....) del huracán “Isidore”

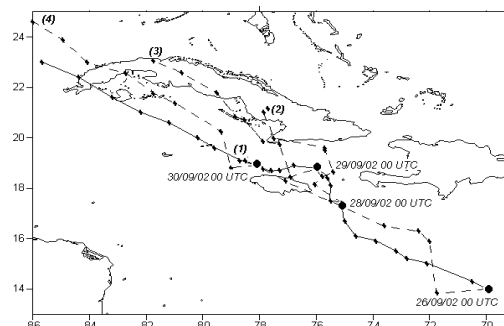


Figura 3. Trayectorias real (-) y pronosticadas (....) del huracán “Lili”

Las posiciones de los centros de los huracanes fueron estimadas a partir de los campos de líneas de corriente en superficie, en el dominio interior del modelo; las imágenes se ampliaron hasta poder apreciar con suficiente resolución las coordenadas geográficas de los puntos de confluencia hacia el vórtice de los huracanes (Fig. 4 y 5).

A continuación, se describen las características generales de las situaciones sinópticas imperantes y comportamiento de ambos eventos a su paso por el territorio

nacional, tomando como referencia la información de EGT02.09 (2002) y EGT02.10 (2002). Para comparar los campos pronosticados con los reales, se tomaron los gráficos de NOAA-CIRES (2003). En la comparación de los resultados obtenidos con otros métodos, se utilizó la información publicada del National Hurricane Center (NHC), acerca de los pronósticos de trayectoria de los huracane Isidore y Lili (Avila 2002; Lawrence 2002).

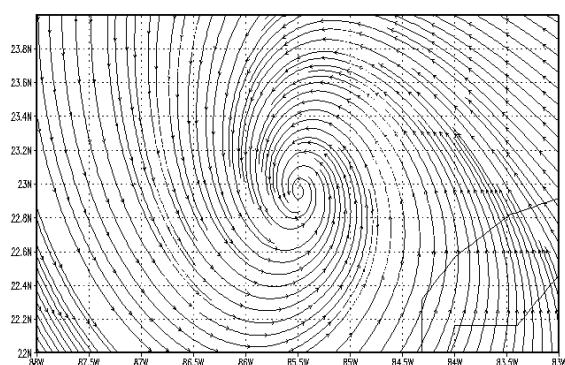


Figura 4 Posición estimada del centro del huracán “Isidore”. Pronóstico para el 22/09/02 a las 00:00 UTC, con carta base del 20/09/02 a las 00:00 UTC.

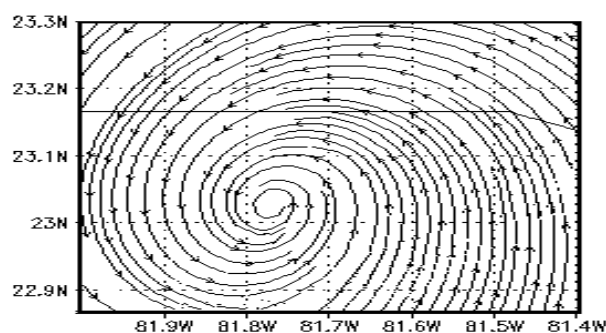


Figura 5. Posición estimada del centro del huracán “Lili”. Pronóstico para el 01/10/02 a las 00:00 UTC, con carta base del 29/09/02 a las 00:00 UTC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento del huracán “Isidore” y aplicación de MM5 en la predicción de trayectoria a su paso por territorio cubano.

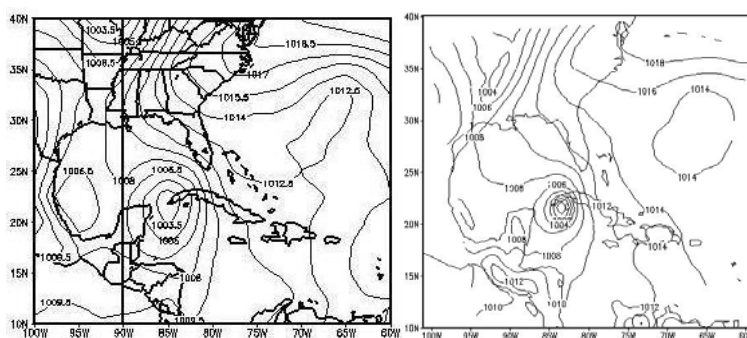
a) Características Sinópticas del huracán Isidore. Génesis, evolución y trayectoria.

El huracán “Isidore” se origina como la décima depresión tropical de la temporada ciclónica de 2002, en el Atlántico Norte. Se formó en el seno de una fuerte onda tropical en la tarde del 14/09, a unos 110 Km casi al Este de la isla de Trinidad, Antillas Menores. Se movió entre el Oeste y Oeste-Noroeste; cruzó por Trinidad y hasta la madrugada de día 15 se desplaza sobre la costa y mares adyacentes de la porción oriental de Venezuela. En la mañana, se degrada a onda tropical. En su desplazamiento hacia el Oeste-Noroeste fue ganando en organización y en la mañana del 17 alcanzó de nuevo la categoría de depresión tropical, sobre los mares al Sur del extremo oriental de Jamaica; inició un rumbo próximo al Noroeste y continuó su proceso de intensificación, clasificándose en la madrugada del día 18 como la tormenta tropical “Isidore”. Al pasar sobre los mares próximos al extremo occidental de Jamaica, su centro sufrió una reformación, localizándose más al Norte

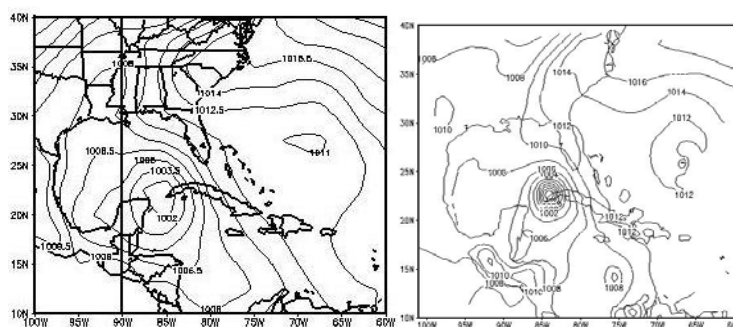
en la tarde, para desplazarse después en dirección Oeste-Noroeste a una velocidad promedio de 12 Km/h. “Isidore” fue catalogado como huracán en la tarde del 19, con vientos máximos de 120 Km/h y presión mínima central de 984 hPa. En la madrugada del 20 alcanza la categoría 2, en la escala Saffir – Simpson (Simpson 1974). Azotó a la Isla de la Juventud en la madrugada del día 20 /09, con lluvias intensas, vientos sostenidos entre 60 y 80 Km/h y rachas de 102 Km/h. Cruzó por Punta Francés, Isla de la Juventud, como se aprecia en la Fig. 2, y continuó su movimiento entre el Oeste-Noroeste y el Noroeste hasta penetrar por el Oeste de Cabo Francés, en las primeras horas de la tarde (aproximadamente a las 2 PM, hora local) del día 20 en las inmediaciones de Las Martinas, (Península de Guanahacabibes) donde se registró la calma vorticial. “Isidore” permaneció con poco movimiento sobre el territorio occidental cubano por un período de seis a siete horas, realizando pequeños desplazamientos transitorios al Nordeste y Oeste. Se considera que azotó al occidente de Cuba como huracán Categoría 1, según la escala Saffir – Simpson. Con lento movimiento, salió al Golfo de México, por Punta de Ábalos en horas de la noche (9 PM, hora local). Todavía sus bandas de alimentación influyeron sobre la mitad occidental de Cuba con nublados, lluvias e inundaciones costeras. También se reportaron tornados, asociados a esas bandas. Ya fuera de Pinar del Río, se mueve hacia las costas de la Península de Yucatán, hasta penetrar en tierra. Posteriormente gira hacia el Norte y alcanza las costas de Estados Unidos el 26/09, donde pierde sus características tropicales.

b) Predicción de la trayectoria de “Isidore” utilizando MM5, con énfasis en el desplazamiento lento del 20 /09 del 2002.

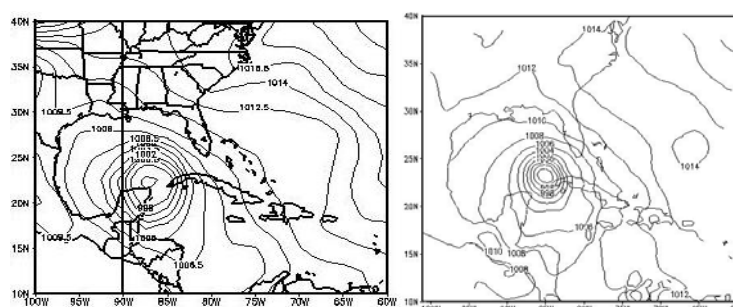
En la Fig. 6 aparecen los campos béricos (en hPa) real y pronosticado, en el momento en que los vientos de región Sur estaban produciendo intensas inundaciones en la costa suroccidental de Cuba.



A) 20/09/02 a las 1200 UTC



B) 21/09/02 a las 00:00 UTC



C) 22/09/02 a las 00:00 UTC

Figura 6 Campo bórico en hPa, real (a la izquierda) y pronosticado (a la derecha) para los días 20/09/02 a las 12:00 UTC, 21/09/02 a las 00:00 UTC y 22/09/02 a las 00:00 UTC con carta base del 20/09/02 a las 00:00 UTC, al paso del huracán “Isidore” sobre el territorio nacional. (Plazos de 12, 24 y 48 horas; dominio exterior).

En la Tab. 1 se reflejan los resultados obtenidos con las estimaciones realizadas de la posición del centro del ciclón tropical en las cercanías y sobre el territorio cubano. Se realizaron cuatro corridas del modelo y en la cuarta se dejó de localizar el centro del huracán después que este se sale del dominio interior; por eso falta este dato.

En la Tab. 2 aparecen los errores medios obtenidos con MM5V3 en el INSMET para el huracán “Isidore”, los criterios de error admisible sobre territorio cubano y aguas circundantes, establecidos por el INSMET (2000), los errores medios de otros métodos de pronóstico y el del Pronóstico Oficial del National Hurricane Center (NHC), reflejados en el texto de Ávila (2002). Obsérvese que los errores de MM5V3 se mantienen en el entorno o por debajo de los criterios del INSMET, así como del error promedio de los demás métodos y de los valores medios del pronóstico oficial de NHC. Es posible considerar que el saldo de MM5V3 es satisfactorio, incluso en momentos de movimiento muy lento ocurrido entre el 20 y el 21 /09.

Uno de los momentos más difíciles para el pronóstico de trayectoria de un ciclón tropical, es cuando este se mantiene por un tiempo más o menos largo con poco movimiento, es decir, de forma casi estacionaria. No obstante, en el caso de "Isidore", el modelo MM5V3 reflejó de forma satisfactoria los campos meteorológicos y el desplazamiento del huracán. En las Fig. 6, 7, 8 y 9 aparecen las cartas reales y las pronosticadas por MM5V3, de los campos bórico (en hPa) en superficie y de altura geopotencial (en metros) de las superficies isobóricas de 850, 700 y 200 hPa, entre las 12:00 UTC del 20 /09 del 2002 y las 00:00 UTC del 22 /09 del 2002. Se seleccionan estos niveles como representativos de la troposfera baja, media y alta respectivamente, puesto que en ellos están reflejadas las diferencias características termodinámicas de los flujos circulatorios con concordancia con lo expresado por Merrill (1993). El movimiento lento en la trayectoria de "Isidore", fue favorecido por la configuración de los campos bórico y de geopotencial, especialmente por una hondonada frontal extendida en superficie sobre los Estados Unidos y el Golfo de México, asociada a una vaguada en niveles superiores.

En las figuras, es posible apreciar la notable correspondencia entre los campos reales y pronosticados. A continuación se describirán las particularidades de estos campos meteorológicos para los horarios de movimiento lento y cómo influyeron en la trayectoria de "Isidore".

- 20/09/ 2002 a las 12:00 UTC

En la carta sinóptica de superficie (Fig. 6A), una hondonada frontal se extiende en dirección Norte-Sur sobre el centro de los Estados Unidos y penetra en el extremo Noroeste del Golfo de México. La presencia de otra hondonada frontal extendida desde el Nordeste hacia el Suroeste sobre el Atlántico central divide dos centros anticiclónicos, uno de ellos de interés para el estado del tiempo sobre Cuba, con 1022 hPa al Nordeste y a unos 3 000 Km de las Islas Bermudas. Este centro se extiende al Oeste y luego al Suroeste sobre la costa oriental del continente, el Atlántico adyacente hasta la Florida y el Nordeste del Golfo de México.

En los **850 hPa** (Fig. 7A) (aproximadamente 1.5 Km de altura), una vaguada polar se extiende de Norte a Sur sobre el centro del continente Norteamericano y penetra hasta el Noroeste del Golfo de México, asociada a la hondonada frontal en

superficie. Se nota la circulación ciclónica del huracán sobre el occidente de Cuba, el Canal y la Península de Yucatán. En el Atlántico, se observa un centro de alto geopotencial de 1560 m, al Norte y a unos 1000 Km de las Islas Bermudas, con su dorsal extendida al Oeste y después al Sur y Suroeste sobre la costa oriental de los Estados Unidos, el Atlántico adyacente, la Florida y al Norte de la mitad oriental del Golfo de México. Otro más débil, de 1540 m, se localiza al Este y muy próximo de la República Dominicana. Entre ellos predomina una franja (entre 25 y 35°N) de bajas presiones subtropicales y desde estas se extiende al Sur una hondonada que separa a las celdas anticiclónicas del Mar Caribe oriental y el Atlántico oriental.

Tabla 1 Posiciones estimadas para el huracán Isidore, utilizando el modelo MM5V3.

Primera corrida							
Fecha	Hora UTC	Plazo	Latitud Real	Longitud Real	Latitud MM5V3	Longitud MM5V3	Error en Km
20 09 02	00:00	-	20.7	82.4	20.07	82.4	69.93
20 09 02	06:00	6	21.1	83	21.15	83.25	28.3
20 09 02	12:00	12	21.5	83.5	21.55	83.63	15.46
20 09 02	18:00	18	21.9	84.1	22.05	83.65	52.65
21 09 02	00:00	24	22.1	84.3	22.5	84.1	49.64
21 09 02	06:00	30	22.3	85.1	22.65	84.25	102.04
21 09 02	12:00	36	22	85.8	23	84.65	169.16
21 09 02	18:00	42	21.9	86.1	23.3	84.8	212.07
22 09 02	00:00	48	22.2	86.4	23.56	85.35	190.72
Segunda corrida							
21 09 02	00:00	-	22.1	84.3	22.1	84.3	0
21 09 02	06:00	6	22.3	85.1	22.1	84.9	31.4
21 09 02	12:00	12	22.0	85.8	22.3	84.6	137.3
21 09 02	18:00	18	21.9	86.1	22.85	85.2	145.26
22 09 02	00:00	24	22.2	86.4	22.95	85.5	130.04
22 09 02	06:00	30	22.0	87.4	22.8	85.9	188.7
22 09 02	12:00	36	21.9	88.2	22.6	86.9	163.89
22 09 02	18:00	42	21.7	89	22.4	88	135.49
23 09 02	00:00	48	21.0	89.4	21.5	88.5	114.28
Tercera corrida							
23 09 02	00:00	-	21.0	89.4	21	89.4	0
23 09 02	06:00	6	20.6	89.6	19.9	89.15	92.37
23 09 02	12:00	12	20.1	89.6	20.4	89.2	55.5
23 09 02	18:00	18	20.3	89.4	20.4	89.57	21.89
24 09 02	00:00	24	20.5	89.3	20.73	89.58	40.22
24 09 02	06:00	30	21.0	89.5	21.25	90.15	77.3
24 09 02	12:00	36	21.8	89.8	21.83	90.77	107.72
24 09 02	18:00	42	22.1	89.8	22.75	90.85	137.07
25 09 02	00:00	48	23.0	89.7	22.3	91.15	178.72
Cuarta corrida							
24 09 02	00:00	-	20.5	89.3	20.5	89.3	0
24 09 02	06:00	6	21	89.5	20.3	90.1	102.34
24 09 02	12:00	12	21.8	89.8	20.65	90.0	129.57
24 09 02	18:00	18	22.1	89.8	21.9	90.08	38.19
25 09 02	00:00	24	23	89.7	22.55	90.5	101.88
25 09 02	06:00	30	24.2	89.7	22.27	90.7	241.28
25 09 02	12:00	36	25.7	90.2	Fuera del Dominio Interior		
25 09 02	18:00	42	26.3	90.5	Fuera del Dominio Interior		

Tabla 2. Errores medios [en Km] de pronóstico de trayectoria obtenidos con MM5V3 en el INSMET y los publicados por el NHC (Ávila, 2002) de distintos métodos utilizados durante la evolución del Huracán “Isidore”. (En el promedio del MM5V3 no se incluyó la corrida salida del dominio interior).

	PLAZOS DE LOS PRONÓSTICOS EN HORAS			
	12	24	36	48
MM5V3 (INSMET)	69	73	147	161
Criterios INSMET	65	187	246	305
Otros modelos				
CLP5	81	178	304	445
GFDI	61	107	161	213
LBAR	70	156	254	372
AVNI	50	80	102	126
AEMI	52	91	135	183
BAMD	70	124	169	246
BAMM	85	143	183	257
BAMS	106	176	228	298
NGPI	78	111	148	185
UKMI	70	137	187	244
GUNS	57	98	133	176
GUNA	54	87	119	157
OFCL	59	102	135	187
Error medio	64	122	174	238
NHC Oficial (media 1992-2001)	80	150	213	274

En los **700 hPa** (Fig. 7 B), aproximadamente a 3 Km de altura, se observa la circulación ciclónica asociada al huracán sobre el extremo occidental de Cuba, el Canal y la Península de Yucatán; de esa circulación se extiende hacia el Nordeste una hondonada sobre el Norte de Las Bahamas que penetra en un centro de bajas presiones subtropicales de 3135 m al Este - Sudeste de las Islas Bermudas, en el Atlántico Central. Desde ese centro se extiende casi al Sur otra hondonada que separa a la celda anticiclónica del Atlántico Oriental de la que se halla sobre la República Dominicana, con un valor relativo de 3150 m. La vaguada polar sobre el centro de Estados Unidos continúa extendida con su eje orientado Norte - Sur hasta el extremo Noroeste del Golfo de México. También se observa el centro de alto geopotencial (3180 m) casi al Norte y a unos 1000 Km de las Islas de las Bermudas, influyendo sobre esa área del Atlántico, la costa oriental de los Estados Unidos, la Florida y el Nordeste del Golfo de México.

En los **200 hPa** (Fig. 7 C), aproximadamente a 10 Km de altura, se observa una gran circulación anticiclónica muy bien definida sobre el huracán “Isidore” que alcanza con su influencia el Noroeste del Mar Caribe Occidental y la mitad occidental de Cuba. Una dorsal de alto geopotencial se extiende al Norte y Nordeste sobre el

extremo oriental del Golfo de México, el Sudeste del continente Norteamericano y el Atlántico adyacente. La profunda vaguada polar, aquí representada por una onda larga sobre el centro de los Estados Unidos, penetra en el occidente del Golfo de México. La onda corta en el Norte del Atlántico occidental está mejor representada, se extiende desde el Nordeste al Suroeste y comienza a penetrar la periferia anticiclónica sobre las Bahamas Septentrionales; un centro de bajo geopotencial relativo al Noroeste de las Bermudas bifurca esa onda corta.

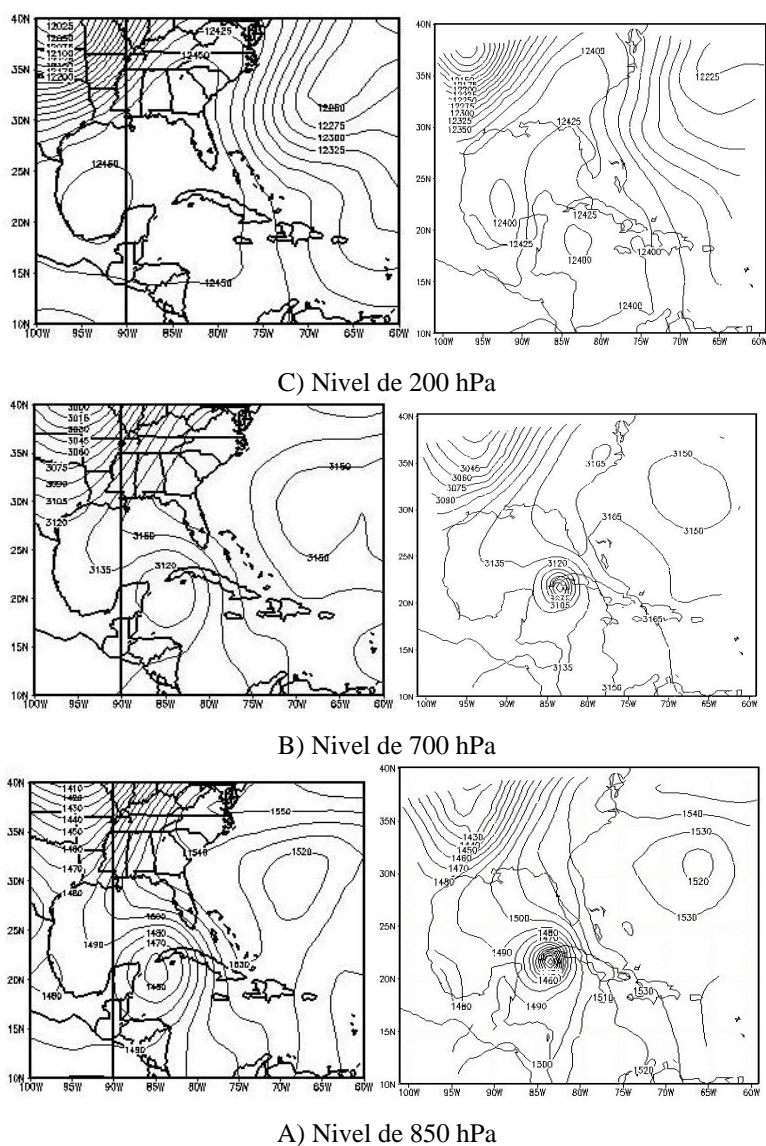


Figura 7. Cartas del campo geopotencial en [m], reales (a la izquierda) y pronosticadas (a la derecha) al paso del huracán “Isidore”, el 20/09/02 a las 12:00 UTC, con carta base del 20/09/02 a las 00:00 UTC. (Plazo de 12 horas; dominio exterior)

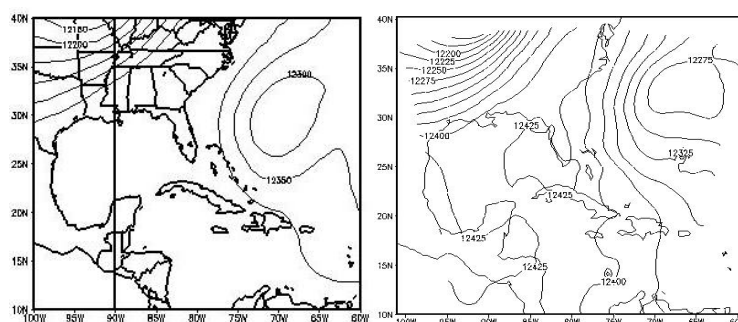
La anterior descripción se asocia a la disminución de la velocidad de traslación del huracán “Isidore”. Es posible apreciar los rasgos generales de la situación descrita

en los campos pronosticados y de ahí la estima satisfactoria de la posición de “Isidore” para este horario con la ayuda de MM5V3 (Tab. 1)

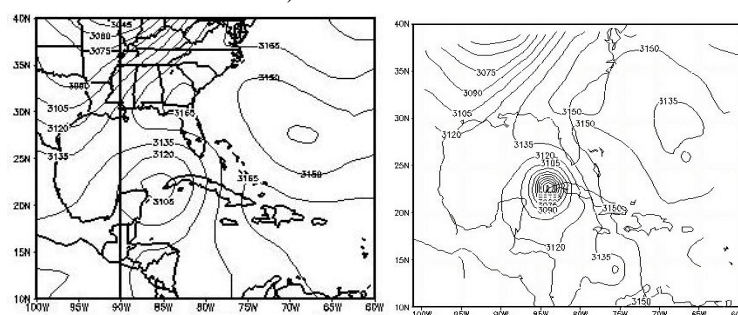
-21/09/03 a las 00:00 UTC

En la **carta del campo bórico superficial (en hPa)** (Fig. 6 B) se observa que la hondonada frontal se desplazó al Este sobre la mitad oriental de los Estados Unidos y ahora llega hasta el Norte de la región central del Golfo de México, extendida casi meridionalmente. El anticiclón oceánico al Nordeste y algo lejos de las Islas Bermudas, continúa con su dorsal extendida al Oeste y luego al Suroeste hasta la costa oriental del continente, influyendo sobre esa área del Atlántico. La franja de bajas presiones subtropicales está limitada entre 25 y 30°N y 50-70°W, con valores mínimos de 1010 hPa al Sudeste de las Bermudas.

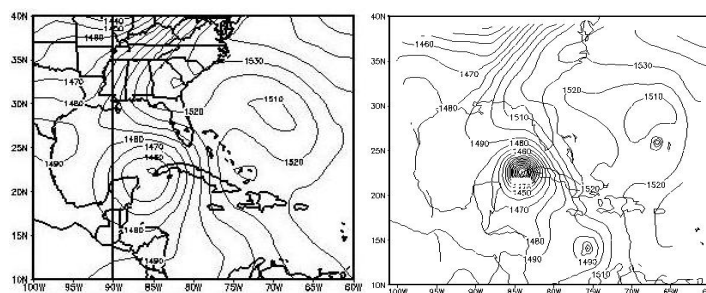
En los **850 hPa** (aproximadamente a 1.5 Km de altura, Fig. 8 A) la circulación ciclónica asociada a “Isidore” se halla sobre el occidente de Cuba, Sudeste del Golfo de México y la Península de Yucatán, con el valor mínimo de 1460 m sobre el Estrecho.



c) Nivel de 200 hPa



B) Nivel de 700 hPa



A) Nivel de 850 hPa

Figura 8. Cartas del campo geopotencial en [m], reales (a la izquierda) y pronosticadas (a la derecha) al paso del huracán “Isidore” el 21/09/02 a las 00:00 UTC, con carta base del 20/09/02 a las 00:00 UTC (Plazo de 24 horas; dominio exterior)

Aparece una débil dorsal anticiclónica entrando en el occidente del Golfo de México. La vaguada polar está más desplazada al Este sobre la mitad oriental de los Estados Unidos. En correspondencia con la superficie, la franja de débiles alturas de geopotencial se observa en este nivel de la troposfera entre los 25 y 30°N y los 50-75°W. El centro anticiclónico oceánico representado por el alto geopotencial sobre los 40° N se extiende en forma de cuña al Oeste y luego al Suroeste hasta el extremo Sudeste de los Estados Unidos y el Atlántico adyacente.

En los **700 hPa** (Fig. 8 B), aproximadamente a 3 Km de altura, se observa mejor definido el centro de alto geopotencial en la región centro- occidental del Golfo de México. Se aprecia también la circulación ciclónica asociada al huracán algo más intensa y amplia, que presenta una isohipsa cerrada de 3120 m donde doce horas atrás había una de 3135 m. Cruza sobre las provincias de Ciego de Ávila y Camagüey la isolínea de 3150 m, mientras que doce horas antes cruzaba la de 3165 m. La faja de bajas subtropicales se mantiene entre 30-32 ° N y 50-75 ° W. El centro de alto geopotencial de 3180 m se ha desplazado algo hacia el Este y aparece más concentrada su influencia en la región noroccidental del Atlántico con su pequeña dorsal al Oeste y Suroeste sobre la costa oriental de los Estados Unidos y el Atlántico adyacente. La dorsal anticiclónica en el Caribe central y oriental se observa al Norte de los 20°N, cubriendo desde República Dominicana hasta Punta de Maisí (Cuba).

En los **200 hPa** (aproximadamente 10-12 Km; Fig. 8 C) permanece la vaguada polar sobre el centro del continente Norteamericano, orientada casi meridionalmente. La baja subtropical al Nordeste, a unos 600 Km del grupo Norte de las Bahamas se

centra en 30°N-70°W; desde ahí se extiende al Nordeste la onda corta sobre el centro del Atlántico Norte.

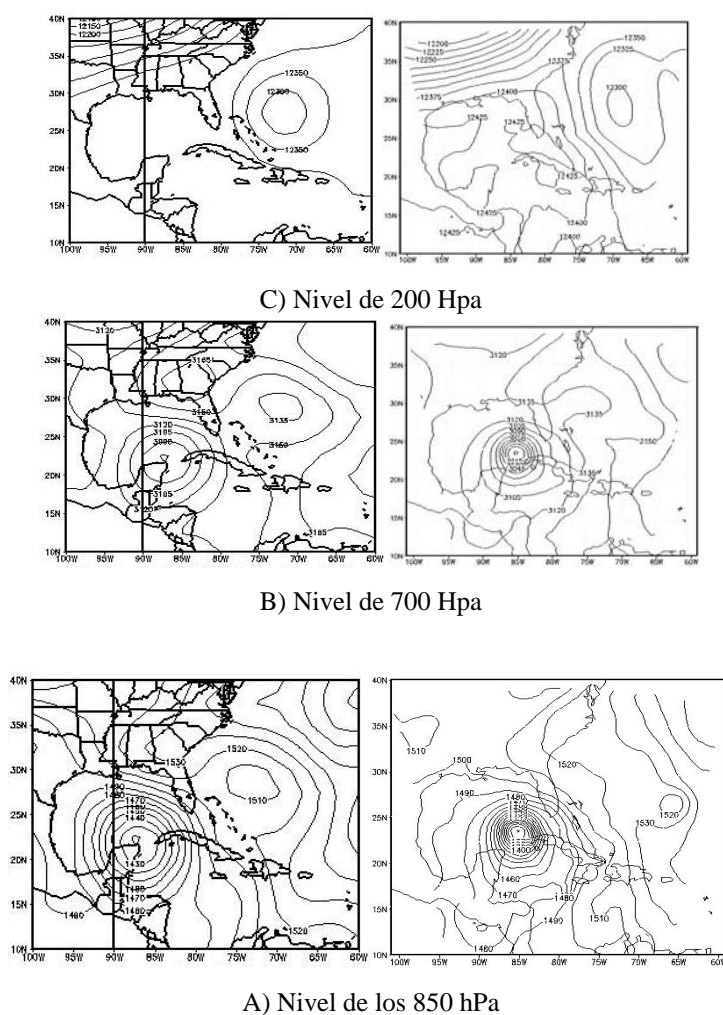


Figura 9. Cartas del campo geopotencial en [m], reales (a la izquierda) y pronosticadas (a la derecha) al paso del huracán “Isidore” el 22/09/02 a las 00:00 UTC, con carta base del 20/09/02 a las 00:00 UTC (Plazo de 48 horas; dominio exterior)

El patrón clásico de una dorsal entre dos vaguadas continúa observándose en este nivel, muy bien representado por la onda larga del continente y la onda corta del Atlántico. Entre ellas se halla la dorsal anticiclónica de la costa oriental de los Estados Unidos, el Atlántico adyacente a la misma, toda la Península de la Florida, todo el Golfo de México, la mitad occidental de Cuba y el occidente del Mar Caribe. Toda esa influencia de alto geopotencial pertenece a un anticiclón muy bien representado en este nivel sobre el huracán.

La situación antes descrita reflejaba un buen flujo de salida y un futuro mediato de intensificación de “Isidore”, en correspondencia con lo expuesto por Merrill (1988),

Gray (1995), Ávila (1998), como efectivamente ocurrió en las horas siguientes. Este patrón se deformó y la nueva configuración (Fig. 6c; Fig. 9) favoreció una posterior profundización y un lento desplazamiento del huracán, lo cual fue reflejado por MM5V3 de forma satisfactoria.

Comportamiento del huracán “Lili” y aplicación de MM5 en la predicción de trayectoria a su paso por territorio cubano.

El huracán “Lili” se originó en el seno de una fuerte onda tropical procedente del Atlántico oriental y se desarrolló en horas de la tarde del día 21 /09 a unos 1500 Km al Este-Sudeste de la isla Barbados, grupo Sur de las Antillas Menores como la depresión tropical número trece de la temporada ciclónica del 2002 en el Atlántico Norte. Desde este punto, se movió entre el Oeste y el Oeste-Noroeste, ganando en organización e intensidad. Con igual rumbo, al final de la mañana del 23 /09 fue clasificada como Tormenta Tropical. Afectó la porción Sur del Arco de las Antillas Menores, penetró en la mitad oriental del Mar Caribe y avanzó rápidamente al Oeste. Sufrió un debilitamiento, pero continuó desplazándose entre el Oeste y el Oeste-Noroeste. Aunque se mantenía débil, presentaba vientos máximos de 75 Km/h y una presión central de 1007 hPa cuando se encontraba a unos 500 Km al Sur de Santo Domingo, República Dominicana.

Con estas características pero más debilitada y desorganizada, “Lili” llega al Caribe central, degradada a depresión tropical. Continúa su movimiento al Oeste-Noroeste, observándose una mejor organización y ganancia en intensidad. Al final de la mañana del 27/09, cuando se encontraba a unos 270 Km al sudeste de Kingston, Jamaica, alcanza nuevamente la categoría de Tormenta Tropical. Con poco cambio en organización e intensidad se desplazó en un rumbo próximo al Noroeste con lento movimiento, aproximándose a Jamaica. Continuó lentamente al Oeste-Noroeste, cercana a la costa Sur de Cuba. Con igual velocidad de traslación y rumbo entre el Oeste y Oeste-Noroeste, pero ganando en organización e intensidad, se aproximó a las Islas Caimán Brac. Aumentó gradualmente su velocidad de traslación y se intensificó en su movimiento al Oeste-Noroeste. En la mañana del día 30 se convirtió en el cuarto huracán de la temporada, cuando sus vientos sostenidos alcanzan los 120 Km/h, calificándose de Categoría 1 en la escala Saffir-Simpson. Continuó intensificándose y desplazándose al Este-Noroeste con una velocidad de 17 Km/h. Con este movimiento se aproxima a la Isla de la Juventud.

En la madrugada del día 1/10 “Lili” se profundizó y sus vientos máximos sostenidos llegan a los 140 Km/h; presentaba buena estructura y patrón nuboso muy bien definido. Durante este período, azotó a la Isla de la Juventud con lluvias intensas y vientos huracanados, aumentó su velocidad de traslación y ganó en intensidad. Se desplazó hacia la porción más occidental de Pinar del Río y a las 12:45 PM (hora local), su centro penetró por la Ensenada de Cortés, con vientos máximos de 150 Km/h. Alcanzó la categoría 2 en la escala Saffir – Simpson y con rumbo próximo al Oeste-Noroeste salió al Golfo de México por las inmediaciones de Arroyos de Mantua a las 2:00 PM (hora local). En la Fig. 3 se aprecia la trayectoria descrita por “Lili” sobre el archipiélago cubano y mares adyacentes, así como las pronosticadas con MM5V3. En la Tab. 3 se reflejan los resultados de las posiciones estimadas con MM5V3 para “Lili” a su paso por territorio cubano y mares adyacentes.

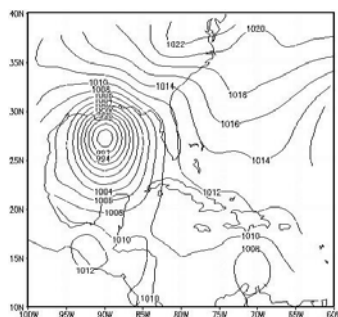


Figura 10. Carta base real del campo bórico (En hPa), al paso del huracán “Lili” el 26 de septiembre del 2002 a las 00:00 UTC (Dominio Exterior). Obsérvese al huracán “Isidore” sobre el Golfo de México.

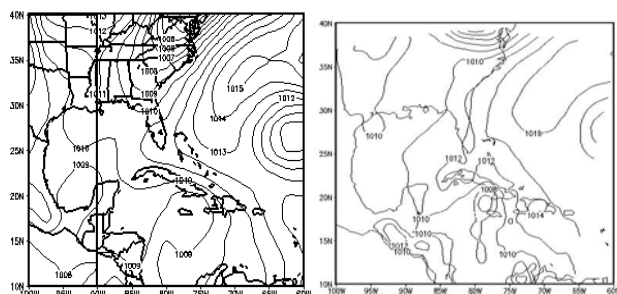


Figura 11. Carta real del campo bórico [En hPa] (a la izquierda) y pronosticada (a la derecha) al paso del huracán “Lili” el 28/09/02 a las 00:00 UTC, con carta base del 26/09/02 a las 00:00 UTC (Plazo de 48 horas; dominio exterior)

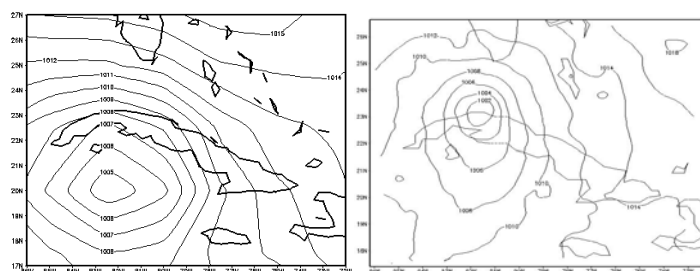


Figura 12. Carta real del campo bórico en hPa (a la izquierda) y pronosticada (a la derecha) al paso del huracán “Lili” el 01/10/02 a las 00:00 UTC, con carta base del 29/09/02 a las 00:00 UTC (Plazo de 48 horas; dominio interior)

Se puede apreciar que el rango de los errores es alto en la primera corrida, con carta base del 26 /09 a las 00:00 UTC (Fig. 10). En la Fig. 11 se aprecian los campos bóricos (en hPa) real y pronosticado para 48 horas, del 28 /09 a las 00:00 UTC.

Estos errores se atribuyen a que en este horario “Lili” presentaba un debilitamiento y desorganización en su estructura, sin un centro bien definido.

Se manifiesta como limitación del modelo la poca habilidad en la predicción de una situación meteorológica con cambios importantes que aún no aparecen reflejados en la información inicial.

En la Fig. 12 se aprecian el campo bórico real y el pronóstico para 48 horas de los campos bórico y eólico correspondientes al huracán “Lili” cuando afectó al territorio cubano el 1 /10 del 2002. Obsérvese que los rasgos generales de la circulación están reflejados en la carta pronóstico de forma aceptable, con una mejor correspondencia con la realidad

Tabla 3. Posiciones estimadas para el huracán Lili utilizando MM5V3

Primera corrida							
Fecha	Hora UTC	Plazo	Latitud Real	Longitud Real	Latitud MM5V3	Longitud MM5V3	Error en Km
26 09 02	00:00	-	14	70	14	70	0
26 09 02	06:00	6	14.3	70.5	13.85	71.75	147.47
26 09 02	12:00	12	15	72.1	15.9	72	100.51
26 09 02	18:00	18	15.2	72.8	16.3	72.4	129.92
27 09 02	00:00	24	15.5	73.2	16.52	73.6	121.61
27 09 02	06:00	30	15.9	73.9	17.25	75.1	200.49
27 09 02	12:00	36	16.1	74.6	18.3	77.1	369.65
27 09 02	18:00	42	16.7	75	18.75	77.9	394.21
28 09 02	00:00	48	17.4	75.1	19.1	78.5	421.95
Segunda corrida							
28 09 02	00:00	-	17.4	75.1	17.4	75.1	0
28 09 02	06:00	6	17.5	75.5	18.15	76.05	94.51
28 09 02	12:00	12	18.1	75.5	18.45	75.8	51.17
28 09 02	18:00	18	18.4	75.6	18.65	75.4	35.54
29 09 02	00:00	24	18.8	76	19.6	75.7	94.84
29 09 02	06:00	30	18.9	76.8	19.5	75.7	139.08
29 09 02	12:00	36	18.7	77.3	19.98	77.5	143.8
29 09 02	18:00	42	18.7	77.6	21	77.85	256.8
30 09 02	00:00	48	18.9	78.1	21.15	77.7	253.67
Tercera corrida							
29 09 02	00:00	-	18.8	76	18.8	76	0
29 09 02	06:00	6	18.9	76.8	18.43	76.9	53.34
29 09 02	12:00	12	18.7	77.3	19.73	77.3	114.33
29 09 02	18:00	18	18.7	77.6	19.85	77.9	131.92
30 09 02	00:00	24	18.9	78.1	20.7	78.55	205.95
30 09 02	06:00	30	19.1	78.7	20.83	78.85	192.75
30 09 02	12:00	36	19.6	79.6	21.78	79.5	242.23
30 09 02	18:00	42	20	80.2	22.57	80.75	291.73
01 10 02	00:00	48	20.6	81.2	23.05	81.75	278.72
Cuarta corrida							

30 09 02	00:00	-	18.9	78.1	18.55	78.68	75.19
30 09 02	06:00	6	19.1	78.7	18.8	79	47.09
30 09 02	12:00	12	19.6	79.6	20.25	79.35	77.3
30 09 02	18:00	18	20	80.2	21.37	81	176.1
01 10 02	00:00	24	20.6	81.2	21.75	81.75	141.5
01 10 02	06:00	30	21	82.2	22.55	82.72	181.47
01 10 02	12:00	36	21.6	83.2	23	84.1	184.74
01 10 02	18:00	42	22.4	84.4	23.87	84.95	174.22
02 10 02	00:00	48	23	85.7	24.6	86	180.69

Tabla 4. Errores medios [en Km] de pronóstico de trayectoria obtenidos con MM5V3 en el INSMET y los publicados por el NHC (Lawrence, 2002) con distintos métodos utilizados durante la evolución del Huracán "Lili".

	PLAZOS DE LOS PRONÓSTICOS EN HORAS			
	12	24	36	48
MM5V3 (INSMET)	86	141	235	284
Criterios INSMET	65	187	246	305
OTROS MODELOS				
CLP5	70	161	263	395
GFDI	56	94	133	165
LBAR	61	107	141	156
AVNI	67	122	167	183
AEMI	83	143	183	193
BAMD	74	124	161	178
BAMM	65	106	130	132
BAMS	80	133	165	167
NGPI	69	98	148	165
UKMI	70	130	169	189
GUNS	56	91	120	124
GUNA	50	91	120	126
OFCL	56	100	135	156
Error medio	66	115	157	179
NHC Oficial (media 1992-2001)	80	150	213	274

En la Tab. 4 se asentaron los errores medios del caso, los criterios INSMET, los resultados de otros modelos y el error medio del NHC, tomados de Lawrence (2002). Los resultados no fueron satisfactorios, estropeados por la corrida del 26/09/02. Sin embargo, no se alejan mucho de la media del NHC y se mantienen por debajo de los criterios del INSMET, por lo que pueden clasificarse de aceptables.

CONCLUSIONES

El uso de MM5V3 al paso de los huracanes "Isidore" y "Lili", demostró la habilidad del modelo en presencia de huracanes, tanto en la predicción de los campos meteorológicos como de las trayectorias. El modelo muestra habilidad en la predicción de trayectoria incluso en caso de movimiento muy lento, con tendencia a la disminución de su velocidad de traslación y posible estacionamiento. Esto pudo apreciarse cuando el huracán "Isidore" afectaba al occidente de Cuba. Los errores fueron bajos en comparación con otros métodos, con los criterios del INSMET y con los errores medios de NHC; tanto en superficie como en el aire superior, las características generales de los campos meteorológicos se reflejaron de forma satisfactoria. Se evidencian las limitaciones del modelo en el caso "Lili", cuando la información inicial se toma en un momento en que el ciclón se encontraba debilitado y en franca desorganización.

AGRADECIMIENTOS:

Se agradece el apoyo de los proyectos "Aplicación de modelos numéricos de alta resolución en la simulación de la circulación atmosférica a escala local y regional en áreas del Caribe", donde fue Investigadora Principal la Dra. Ida Mitrani Arenal, dentro del PROYECTO CRN-073 "Variabilidad climática y su impacto en regiones de México, América Central y el Caribe" en el cual obra como Investigador Principal el Dr. Víctor Magaña Rueda, especialista de CCA/UNAM, México DF. El uso de MM5V3 fue posible por cortesía de "Microscale and Mesocale Division of the National Center of the Atmospheric Research (NCAR)", sustentado por el "National Science Foundation".

BIBLIOGRAFÍA

- **Avila L. (1998)** "Forecasting tropical cyclone intensity change: an operational challenge." Symposium on Tropical Cyclone Change, Phoenix, Amer. Meteor. Soc. 1-3
- **Ávila L. (2002)** "Tropical Cyclone Report, Hurricane Isidore (14-27 september 2002" NHC 20/12/2002 [Http://www.nhc.gov/](http://www.nhc.gov/)
- **EGT02.09 (2002)** Estado General del Tiempo. Archivo del Centro de Pronósticos del INSMET. La Habana., Cuba.

- **EGT02.10 (2002)** Estado General del Tiempo. Archivo del Centro de Pronósticos del INSMET. La Habana., Cuba.
- **Gray W. (1989)** "Upper level ancyclonic flow " Topic 3, Tropical Cyclone Formation, WMO/CAS/OFDA Second International Workshop on Tropical Cyclone
- **Lawrence M. B. (2002)** "Tropical Cyclone Report, Hurricane Lili (21 september - 04 october 2002" NHC 20/12/2002 [Http://www.nhc.gov/](http://www.nhc.gov/)
- **INSMET (2000)** Manual de Procedimientos. Sistema Nacional de Pronósticos, INSMET/CITMA, La Habana, 63 Pág.
- **Merrill R. (1993)** "Tropical Cyclone Structure: Synoptic analysis" WMO/TD-No. 560 Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting, Chapter 2
- **Merrill R. (1988)** "Environmental Influences on Hurricane Intensification" J. Atmos. Sci. Vol. 45, 1678:1687
- **Mitrani I., J.L. Pérez (1999)** "Aplicación de un modelo de alta resolución en la predicción del tiempo sobre territorio cubano, con posibilidad de pronosticar el movimiento de los ciclones tropicales" Boletín SOMETCUBA., Vol. 3, No. 2, Publicación Electrónica: <http://www.met.inf.cu/sometcub/boletin/default.htm>
- **Mitrani I., Álvarez, I. Borrajero (2003)** "Aplicación optimizada del MM5V3 sobre el territorio cubano mediante el uso de computadora personal" Rev. Cub. Met., vol. 10, N 1, 3:7
- **NOAA-CIRES (2002)** National Oceanic and Atmospheric Administration Página WEB <http://www.cdc.noaa.gov/>
- **Pérez J. L., Magaña V. (1998):** Modelación Numérica de Mesoescala en una computadora Personal. Memorias del VIII Congreso de la Organización Mexicana de Meteorólogos, A. C. (OMMAC), 229-232.
- **Pérez Parrado R., T. T. Keller, T. T. Warner (1998):** Hurricane "Lili" prediction using the MM5 model (an experiment). Memorias de la Conferencia Científica RODRIGUEZ IN MEMORIAM La Habana, 7 - 9 de mayo de 1998, WMO-INSMET-SOMETCUBA, 57-70
- **PSU/NCAR (2000):** Tutorial Class Notes and User's Guide, PSU/NCAR Mesoscale Modeling System, MM5, Version 3. Mesoscale and Microscale Meteorology Division; National Center for Atmospheric Research.
- **Simpson, R. H. (1974):** The hurricane disaster potential scale. Weatherwise. 27, p. 169-186.