

# Modelo dinámico estadístico para la predicción del movimiento de los ciclones tropicales desde 12 hasta 72 horas

Autor: MIRIAM E. LIMIA MARTÍNEZ\*

Centro Nacional del Clima. Instituto de Meteorología. E-mail: limia@met.imf.cu

## Resumen.

Se presenta un modelo dinámico-estadístico para el pronóstico de la traslación de los ciclones tropicales. Este modelo se desarrolló utilizando la técnica del "pronóstico perfecto" para la obtención de los predictores potenciales. Utiliza como predictores los valores en puntos de rejilla del nivel de 700 hPa a la hora base del pronóstico, y valores en puntos de rejilla de dicho nivel 24 horas más tarde, los cuales se obtienen a partir de los valores pronosticados por el modelo dinámico en uso operativo en el INSMET. Las ecuaciones de pronóstico fueron calculadas por el método de regresión múltiple "stepwise" en la variante "backward". Se exponen los resultados de algunos pronósticos, los cuales se comparan con otros métodos en uso operativo en Cuba y en el Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos de Norteamérica. Los errores del modelo son comparables con los errores internacionales.

## Introducción

Desde que Veigas (1966) elaboró su método de pronóstico de traslación utilizando un modelo numérico barotrópico, se inició el uso de los métodos dinámico-estadísticos para el pronóstico de la traslación de los ciclones tropicales. Se les denomina dinámico-estadísticos pues utilizan la salida de un modelo de pronóstico numérico para encontrar relaciones estadísticas que permitan pronosticar el movimiento futuro del ciclón tropical. Desde entonces no pocos métodos se han desarrollado para las diferentes regiones del planeta donde tiene existencia este fenómeno natural.

En Cuba diferentes autores (Portela, 1977; Portela y Ballester, 1987; García, Limia y Durán, 1987 y 1988; García et. al, 1989; García y Limia 1991 y 1993, Limia, García y González, 1996a y 1996b, y Ortiz y González, 1996) han elaborado métodos estadísticos de pronóstico de la traslación de los ciclones tropicales, en los cuales se han utilizado diferentes criterios como son la analogía entre organismos, el concepto de corriente de arrastre, la descomposición del campo de alturas geopotenciales por funciones ortogonales naturales, vinculados con diferentes técnicas estadísticas entre las que la regresión lineal múltiple juega un papel preponderante.

En el presente artículo se expone el desarrollo de un modelo dinámico-estadístico para el pronóstico de la traslación de los ciclones tropicales desde 12 hasta 72 horas futuras y se brindan los resultados obtenidos en el pronóstico de varios ciclones tropicales en el área del Caribe.

## Análisis de la información básica utilizada y método empleado

Para el desarrollo del modelo se contó con la información de archivo de 218 ciclones tropicales del período 1965-2000 correspondiente a las alturas geopotenciales de los niveles de la atmósfera de 700 hPa, y los valores de la presión superficial tomados en los 42 nodos de una rejilla rectangular móvil de 6 x 7 nodos con un paso de 555Km, la cual está orientada geográficamente y se desplaza con el ciclón tropical. El centro del ciclón tropical ocupa siempre el punto 25 de la rejilla (Fig. 1). En total se cuenta con 2383 situaciones de pronóstico de ciclones tropicales que han alcanzado al menos la categoría de tormenta tropical (vientos máximos mayores que 62 km/h.). Para la realización del presente trabajo se elaboró la información desde 1995 hasta 2000.

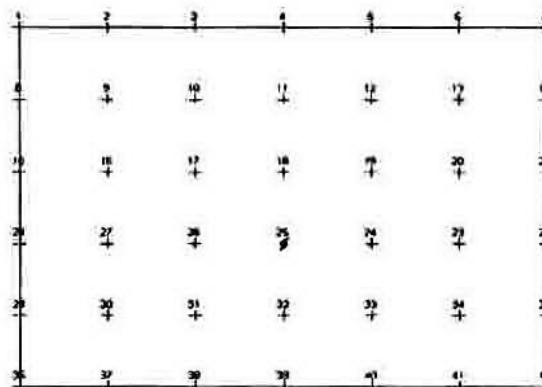


Figura 1. Rejilla rectangular de 6 x 7 nodos con paso de 555 Km utilizada en la extracción de la información de campo.

Se definió como área de interés para Cuba la comprendida entre 62.5° W - 95°W y 8°N - 25°N, teniendo en cuenta el área que abarca el modelo dinámico en uso operativo y los límites de ubicación geográfica de los ciclones tropicales que han afectado a Cuba de forma directa. La utilización de esta área redujo considerablemente la información disponible a sólo 383 situaciones de pronóstico para la obtención de las ecuaciones.

La información utilizada en la obtención de las ecuaciones tiene las siguientes características medias: huracán categoría 1 en la escala Saffir-Simpson con vientos máximos de 123 Km/h, y ubicado en 18.5°N y 74.5°W. La situación sinóptica media de la hora base del pronóstico se muestra en la Fig. 2. La rejilla se encuentra georeferenciada con respecto a la posición media del ciclón tropical, y el centro del ciclón coincide con el punto 25 de la rejilla como se dijo anteriormente.

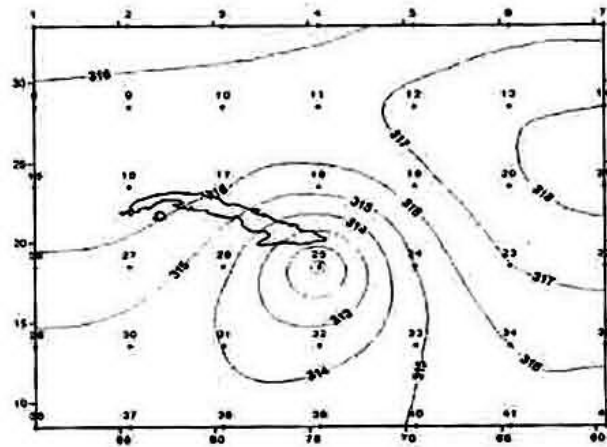


Figura 2. Mapa de la situación sinóptica media de 700 hPa de la hora base del pronóstico.

Se escogió el nivel de 700 hPa considerando experiencias anteriores en el desarrollo de métodos estadísticos, en los cuales ha resultado este nivel como el más representativo de la corriente de arrastre, siempre que la circulación ciclónica no sobrepasa los 500hPa. Esto se corresponde con las tormentas tropicales y los huracanes categoría 1 en el área de trabajo considerada.

Se utilizó la técnica del "pronóstico perfecto" para la obtención de las ecuaciones de pronóstico. Esta técnica consiste en utilizar la información real de los plazos de tiempo futuros como la información pronóstico para el desarrollo de las ecuaciones. En el uso operativo, la información real se sustituye por la información pronóstico (resultante de un modelo dinámico). Esta técnica ha sido usada ampliamente en la elaboración de modelos dinámico-estadístico de pronóstico de la traslación de los ciclones tropicales (Neumann, 1988 y Neumann y Mc Adie, 1991). Tiene

como principal ventaja que al poderse utilizar la salida de cualquier modelo dinámico de pronóstico de campo toda mejora en dichos modelos dinámicos quedará introducida en el método dinámico-estadístico. Su desventaja es que los errores del modelo de pronóstico de campo utilizado se incorporan también al pronóstico del ciclón tropical.

### Selección de predictandos y predictores

Se calcularon las correlaciones de los valores de las alturas geopotenciales del nivel seleccionado con cada uno de los predictandos (longitudinal DX y meridional DY) y para cada plazo de pronóstico (12, 24, 36, 48, 60 y 72 horas). El signo de las correlaciones tiene correspondencia con la forma de calcular el arrastre geostrofico, o sea, distribución N-S para el desplazamiento longitudinal y W-E para el desplazamiento meridional. Las Figs. 3 y 4 muestran un ejemplo de dichas correlaciones para las componentes latitudinal DY y zonal DX para el plazo de 24 horas futuras.

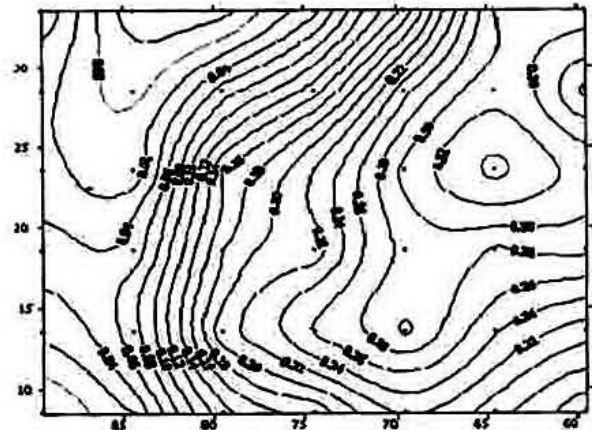


Figura 3. Correlaciones entre los 42 puntos de la rejilla del campo de 700 hPa con el predictando DY24.

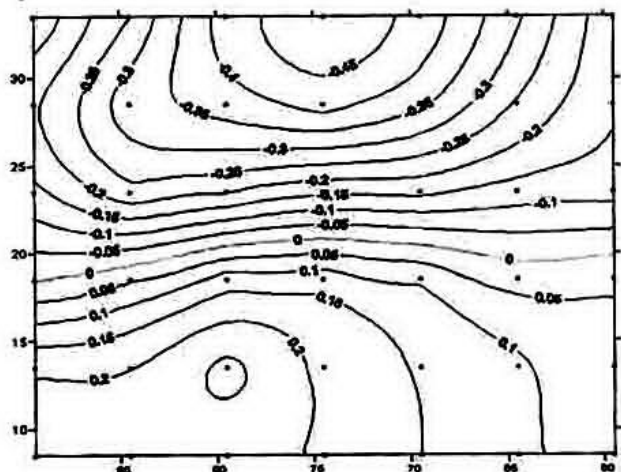


Figura 4. Correlaciones entre los 42 puntos de la rejilla del campo de 700 hPa con el predictando Dx24.

Dada la limitada cantidad de casos fue imposible considerar los 42 puntos de la rejilla como predictores potenciales. Primeramente no se tomó la última fila de puntos de la rejilla (del 36 al 42), pero esto no fue suficiente. Entonces, para la selección de los predictores potenciales se tomó en cuenta la correlación con el predictando, puesto que esta respondía al arrastre geostrofico, principalmente para los desplazamientos longitudinales (zonales). Se consideraron aquellos predictores con las mayores correlaciones positivas y negativas, hasta que su número no violara la relación entre el número de predictores potenciales y el número de casos. También, se incluyó la persistencia como predictor potencial en el cálculo de todas las ecuaciones.

En las ecuaciones para los plazos de pronóstico de 12h. y 24 h., los predictores considerados fueron los valores de las alturas geopotenciales del campo de 700 hPa a la hora base del pronóstico en los puntos de mayor correlación con el predictando (como se explicó anteriormente). Además, se realizó una prueba tomando la media de los valores de todos los puntos con correlaciones positivas mayores de 0.4 y con todos los valores de correlaciones negativas. En los plazos de 36 a 72 horas se tomaron como predictores potenciales los valores del campo de 700 hPa de las siguientes 24 horas a la hora base del pronóstico, aplicando la técnica del pronóstico perfecto, también en los puntos de mayor correlación. De forma general se incluyeron entre 12 y 18 predictores potenciales.

### Ecuaciones de pronóstico

Las ecuaciones se calcularon por el método de regresión múltiple "stepwise" en la variante "backward" con valor de F de entrada 11 y de salida 10, sin considerar intercepto. Para el cálculo de la regresión múltiple y la matriz inversa se utilizaron los

algoritmos descritos por Stevens (1986) y Dempster (1969) y las pruebas de significación estadística de la ecuación por Darlington(1990) y Stevens (1986). Para el cálculo del tamaño óptimo de la muestra se utilizó la dócima de rachas (World Meteorological Organization, 1979). En el cálculo de las ecuaciones en primera instancia se consideró intercepto, pero este no resultó significativo en ninguna de las ecuaciones, por lo que se calcularon las regresiones por el origen. Esto conlleva a que los valores de R<sup>2</sup> de las ecuaciones no puedan compararse con los valores de R<sup>2</sup> de las ecuaciones con intercepto, debido a que para las ecuaciones sin intercepto, R<sup>2</sup> representa la parte explicada de la varianza respecto al origen. Las ecuaciones resultantes son, en forma genérica:

$$DY_i = B_{(i)} * DY_{-12} + \sum C_{(i,j)} * H700_{(i,k)} \quad i = 12, 24, \dots, 72; j = 1, 2, \dots, 36;$$

$$y \quad k = 00 \text{ si } i = 12, 24 \text{ ó } k = 24 \text{ si } i = 36, 48, \dots, 72$$

$$DX_i = B_{(i)} * DX_{-12} + \sum C_{(i,j)} * H700_{(i,k)} \quad i = 12, 24, \dots, 72; j = 1, 2, \dots, 36;$$

$$y \quad k = 00 \text{ si } i = 12, 24 \text{ ó } k = 24 \text{ si } i = 36, 48, \dots, 72$$

Donde: DY es la ecuación para el movimiento meridional, DX la ecuación para el movimiento zonal, B y C son los coeficientes de regresión, i representa el plazo de tiempo del pronóstico, j los puntos de rejilla y k indica si los datos son reales (00) o pronosticados (24), DY-12 y DX-12 la persistencia y H700 el valor del geopotencial en el nivel de 700 hPa.

La Tabla 1 muestra las características de las ecuaciones de pronóstico para cada plazo de tiempo, R es el coeficiente de regresión y F el estadígrafo de Fisher, donde puede apreciarse que todas resultaron significativas al nivel de 0.05.

Tabla 1. Características principales de las ecuaciones de pronóstico.

Ecuación	R	R <sup>2</sup>	Error standard	F regresión	Suma de cuad. Regresión.	Suma de cuad. Residuos
DY <sub>12</sub>	.825644	.681689	76.40	197.0252	3449973	1610949
DY <sub>24</sub>	.839620	.704961	142.71	219.8233	13430700	5620970
DY <sub>36</sub>	.830444	.689638	73.97	181.4700	2978776	1340558
DY <sub>48</sub>	.852649	.727010	136.62	217.4892	12177800	4572733
DY <sub>60</sub>	.844942	.713927	211.72	203.6662	27406300	10981800
DY <sub>72</sub>	.842211	.709319	288.63	199.2830	51079700	32630800
DX <sub>12</sub>	.909633	.827432	87.49	436.3286	10018500	2089445
DX <sub>24</sub>	.904971	.818973	170.84	411.6870	36044900	7967419
DX <sub>36</sub>	.902443	.814403	82.60	330.5651	2843462	1542100
DX <sub>48</sub>	.902799	.815046	155.47	331.9763	10541300	5462804
DX <sub>60</sub>	.882117	.778131	249.64	197.2780	23324900	14021600
DX <sub>72</sub>	.842878	.710444	375.80	138.0129	41879600	31776200

Los puntos de rejilla donde se encuentran los predictores seleccionados en las ecuaciones de regresión se muestran en las Figs. 5 y 6. DY es para las ecuaciones del movimiento meridional y DX para las ecuaciones zonal.

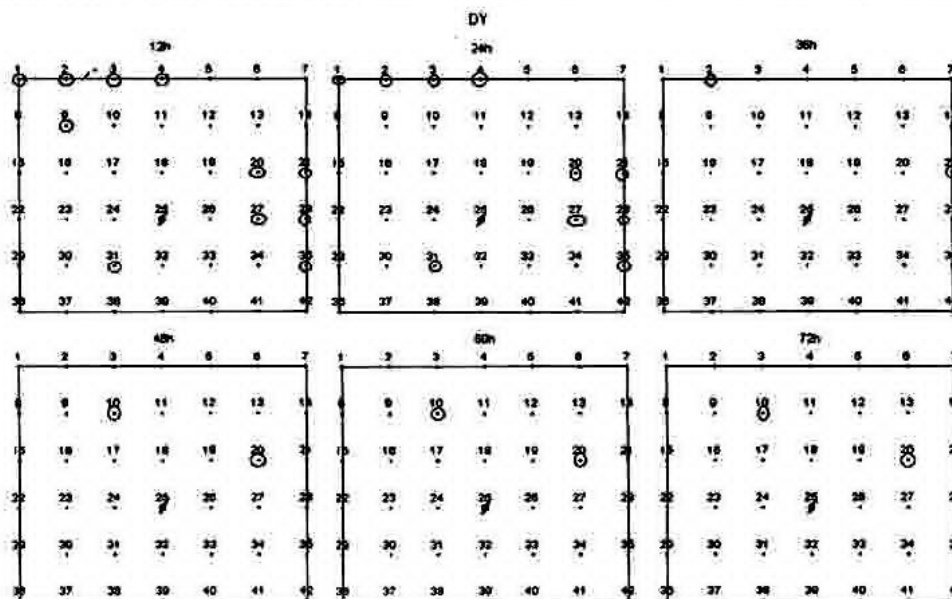


Figura 5. Los puntos de rejilla encerrados en círculos son aquellos donde se encuentran los predictores seleccionados en las ecuaciones obtenidas de la componente meridional para los diferentes plazos de pronóstico.

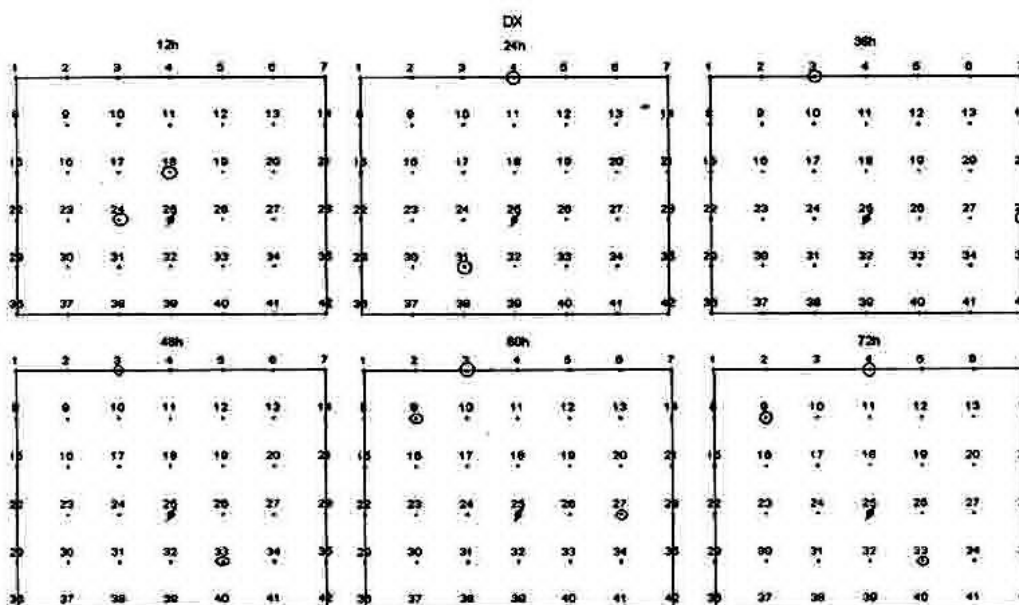


Figura 6. Los puntos de rejilla encerrados en círculos son aquellos donde se encuentran los pronósticos seleccionados en las ecuaciones obtenidas de la componente zonal para los diferentes plazos de pronóstico.

### Comprobación con muestra independiente

Para la comprobación con una muestra independiente del modelo desarrollado, al cual se denominará DINES, se tomaron las situaciones pronóstico de los ciclones tropicales desde 1995 hasta 2000 que se ubicaron dentro del área de pronóstico y de los cuales se poseía información, pues el modelo

dinámico requiere de un mínimo de información de estaciones meteorológicas para poder ejecutarse. En total se contaron con 29 situaciones pronóstico de 11 ciclones tropicales. En la Tabla 2 se muestran los errores vectoriales medios de los pronósticos realizados con la muestra independiente y dos casos en prueba operativa (en tiempo real) en la tormenta tropical Chantal los días 17 y 20 de agosto de 2001. El

modelo dinámico utilizado en la muestra operativa es un modelo baroclínico de área limitada en su versión diabática (Mitrani, 1995) basado en el sistema de ecuaciones primitivas en forma divergente y que

incluye procesos diabáticos de menor escala, tales como: capa fronteriza, nubes convectivas, condensación masiva, difusión turbulenta y transferencia radiativa superficial.

Tabla 2. Errores (Km) del modelo dinámico-estadístico para una muestra independiente y otra operativa.

	12H	24H	36H	48H	60H	72H
DINES (independiente)	90.6	187.1	265.6	393.2	548.5	692.5
Numero de casos	29	29	28	27	25	23
DINES (operativo)	94.2	235.6	353.0	344.3	561.3	617.4
casos	2	2	2	2	1	1

Los errores obtenidos son comparables con los obtenidos por McAdie (1991) en una comparación entre los modelos NHC90 y NHC90A, los que se muestran en la Tabla 3. Aunque no es una muestra homogénea, da una referencia sobre el orden de magnitud de los errores. En la Tabla 4 se muestran los errores de 24 horas de los métodos en uso operativo en el período 1992-1998 en la misma región que la con-

siderada en el presente modelo. Como puede apreciarse, comparando las Tablas 2 y 4, los errores del modelo elaborado están dentro del diapasón de los errores de los modelos operativos, tanto dinámicos como dinámico-estadísticos, en el Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos (NHC), para el plazo de 24 horas.

Tabla 3. Comparación entre los métodos NHC90 y NHC90A en 1990. Errores (Km). (McAdie, 1991)

METODO	12H	24H	36H	48H	72H
NHC90	107	183	311	433	727
NHC90A	107	192	305	416	672
Numero de Casos	146	131	118	105	82

Tabla 4. Errores (Km) para el plazo de 24 horas de los modelos operativos del NHC en el período 1992-98. (Pennington JT y S.S. Chen, 2000)

MODELO	REGION SW (25°N-55°W)
CLIPER	174.5
NHC90	150.0
BAMS	142.7
BAMD	220.9
VBAR	158.2
GFDL	152.1
AVN	187.2

Los modelos utilizados por el Centro Nacional de Huracanes de los EE.UU. han sido descritos brevemente por DeMaria, 1997 en el sitio Web de ese Centro.

Lawrence, McAdie y Gross (1997) realizaron una evaluación de los pronósticos oficiales del Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos desde 1970 hasta 1996 cuyos valores medios de los

errores para dos períodos se muestran en la Tabla 5. Debe tenerse en cuenta al comparar las Tablas 2 y 5 que los pronósticos oficiales son siempre superiores a los de cualquier método, ya que los mismos son el resultado de la valoración integrada de los modelos objetivos, el análisis de la situación sinóptica y la experiencia de los pronosticadores. No obstante, los errores del método (DINES) para la muestra independiente son comparables con los errores oficiales.

Tabla 5. Valores medios (Km) de los errores de los pronósticos oficiales del Centro de Huracanes de los EE.UU. para los periodos 1970-1996 y 1981-1996.

PRONÓSTICO OFICIAL	24H	48H	72H
1970-1996	194	406	624
1981-1996	188	371	575

Se realizaron pronósticos para algunos huracanes que resultaron de interés, ya sea por la trayectoria seguida o porque afectaron a Cuba, con el objetivo de comparar de forma uniforme la ejecución del método aquí desarrollado con varios de los modelos que están en uso operativo en el INSMET. No fue posible comparar todos los casos que formaron la muestra independiente, debido a las características propias de los modelos en uso operativo relacionadas con la información disponible.

Entre los métodos en uso operativo en Cuba, se encuentran los denominados GRK, Gruza, y Gresko, (1982); RGR, García, Limia y Durán (1987 y 1988); CNMT, García et. al (1989); FON, García y Limia (1991); CMP, García y Limia (1993); CTIN, Limia, García y González (1996a).

La Tabla 6 muestra los errores medios en Km de varios métodos operativos y los del DINES en el caso de la tormenta tropical Chantal en tiempo real, los días 17 y 20 de agosto de 2001. Las trayectorias pronosticada y real se muestran en la Fig. 7.

#### Huracán Chantal

Tabla 6. Errores (Km) en tiempo real (Chantal) de algunos modelos en uso operativo en el INSMET y el DINES.

MODELO	12H	24H	36H	48H	60H	72H
CNMT	301	528.5	697.5	824	1307	1428
GRESKO	324	565.5	715.5	912.5	1554	1576
CTIN	240.5	393	433.5	527	745	738
CMP	64	228	351.5	424.5	808	970
RGR	133	236	186.5	413	195	148
FON		202		345.5		564
<b>DINES</b>	<b>94.2</b>	<b>235.6</b>	<b>353.0</b>	<b>344.3</b>	<b>561.3</b>	<b>617.4</b>
casos	2	2	2	2	1	1

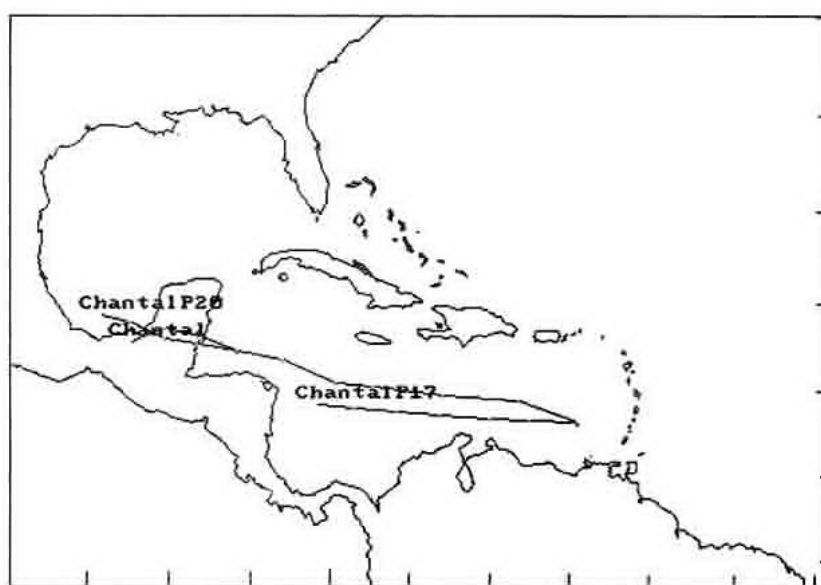


Figura 7. Trayectorias pronosticadas en tiempo real del huracán Chantal los días 17 y 20 de agosto de 2001. La P indica la trayectoria pronosticada por el modelo Dines.

Fue posible hacer pronósticos simultáneos con los modelos en uso operativo en el caso de los huracanes Lili el 17 de octubre de 1996, Georges el 23 de septiembre de 1998 y Lenny el 15 de noviembre de 1999, cuyos errores se muestran en las Tablas 7, 8, 9 y 10.

El pronóstico realizado el día 17 para el huracán Lili resultó el peor pronóstico de 72 horas del modelo. Las Figs. de la 8 a la 13 muestran las trayectorias reales y pronosticadas de estos huracanes. En el caso de Georges se contó además con los pronósticos de algunos de los modelos en uso operativo del Centro Nacional de Huracanes de los EE.UU. (Figs. 11 y 12).

### Huracán Lili

Tabla 7. Errores (Km) de modelos operativos del INSMET y el DINES. Huracán Lili 17 de octubre de 1996.

MODELO	12H	24H	36H	48H	60H	72H
CNMT	115	143	340	688	1155	1508
GRESKO	87	94	194	554	962	1249
CTIN	61	126	325	738	1162	1503
CMP	125	303	581	1018	1469	1784
RGR	173	341	363	728	1151	1459
FON		58		666		1438
DINES	54.9	168.3	260.7	590.3	1014.4	1346.2

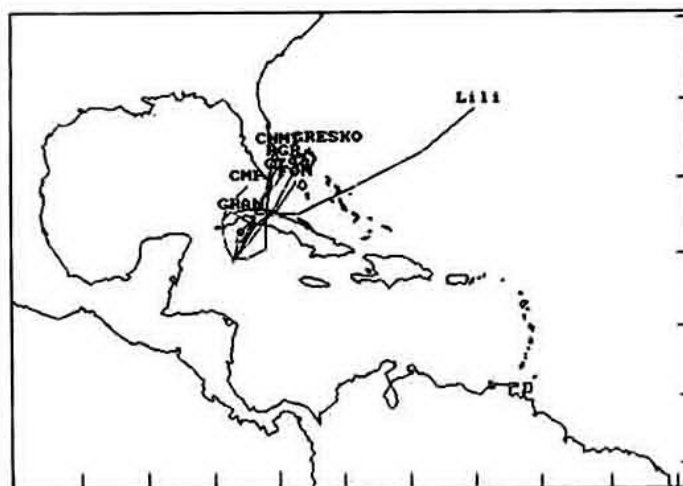


Figura 8. Trayectorias pronosticadas por los modelos operativos del INSMET para el huracán Lili del 17 de octubre de 1996.

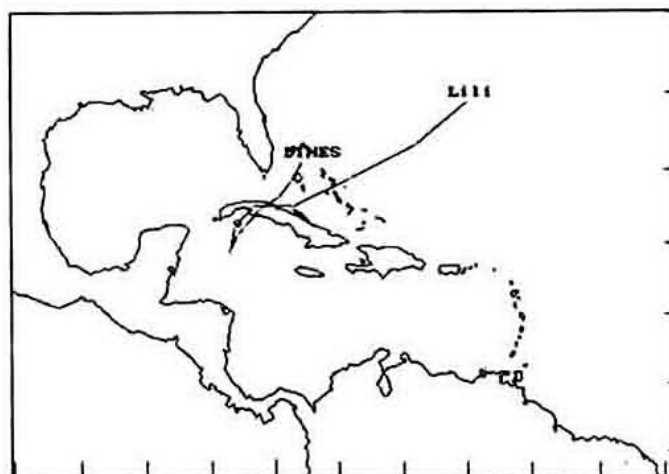


Figura 9. Trayectoria pronosticada por el modelo DINES del huracán Lili del 17 de octubre de 1996

El pronóstico del Lili del día 17 es un caso característico de pronóstico en el caso de recurva de un ciclón tropical. En estos casos los pronósticos estadísticos presentan grandes errores como puede verse en la Tabla 7 y las Figs. 8 y 9. Sólo los modelos

dinámicos son capaces de pronosticar con cierta exactitud este giro en la traslación del ciclón tropical. Lili efectuó la recurva en la latitud modal climatológica (Dunn, 1964) para el mes de octubre.

**Huracán Georges**

Tabla 8. Errores de algunos modelos en uso operativo en el INSMET y del modelo DINES. Huracán Georges, 23 de septiembre de 1998.

MODELO	12H	24H	36H	48H	60H	72H
CNMT	83	102	31	143	239	332
GRESKO	85	106	1	148	290	469
CTIN	62	45	122	252	372	533
CMP	37	138	335	484	560	708
RGR	35	99	199	361	523	639
FON		41		312		492
DINES	80.2	56.7	61.6	151.2	164.3	298.6

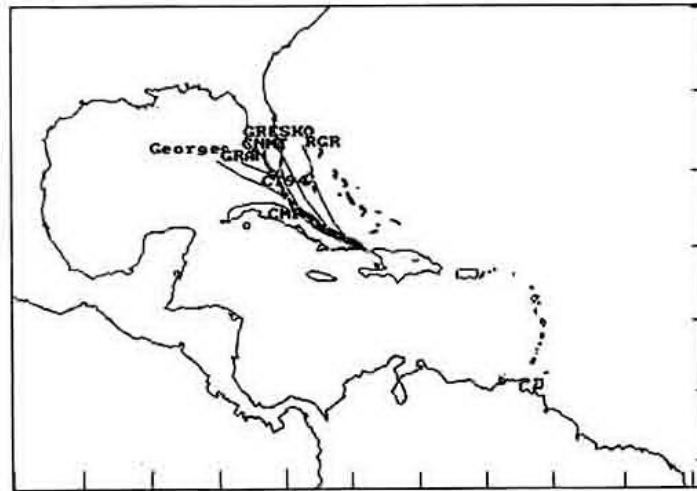


Figura 10. Trayectoria pronosticada por los modelos operativos del INSMET. Huracán Georges del 23 de septiembre de 1998.

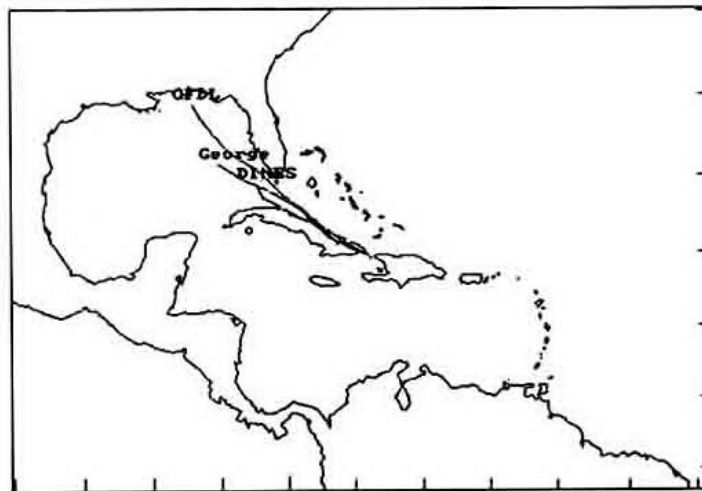


Figura 11. Trayectoria pronosticada por los modelos DINES y GFDL (Centro Nacional de Huracanes de los EE.UU.). Huracán Georges el 23 de septiembre de 1998



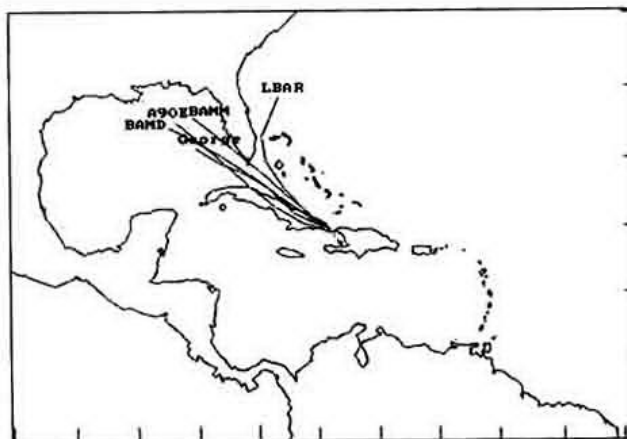


Figura 12. Trayectoria pronosticada por los modelos en uso operativo en el Centro Nacional de Huracanes de los EE.UU. del huracán Georges del 23 de septiembre de 1998.

Tabla 9. Errores (Km) en el huracán Georges el 23 de septiembre de 1998 de algunos modelos del Centro Nacional de Huracanes de los EE.UU. en uso operativo y el DINES.

MODELO	12H	24H	36H	48H	72H
BAMD	76.1	174.8	197.6	202.5	268.2
BAMB	73.6	171.1	165.2	186.9	245.5
A90E	94.0	161.9	165.8	143.7	253.3
LBAR	78.5	201.8	212.0	331.6	818.0
GFDL	129.7	190.6	179.6	259.0	431.3
<b>DINES</b>	<b>80.2</b>	<b>56.7</b>	<b>61.6</b>	<b>151.2</b>	<b>298.6</b>

Los resultados de los modelos en uso operativo del Centro de Huracanes de los EE.UU. y los del INSMET son en tiempo real, es decir, son los resultados del día 23 de agosto de 1998 a las 12 UTC en el pronóstico de este huracán. Este es el único caso en que la muestra es homogénea con los modelos de Estados Unidos. Como puede apreciarse en la Tabla 9 los errores del DINES están dentro del diápasón

del resto de los métodos y en los plazos de 24 h y 36 h es el de menor error. En este análisis debe tenerse en cuenta que el resto de los modelos de la Tabla 9 son modelos dinámicos, por lo que deben ser más efectivos que los estadísticos y dinámico-estadísticos, principalmente para los plazos de tiempo mayores.

#### Huracán Lenny

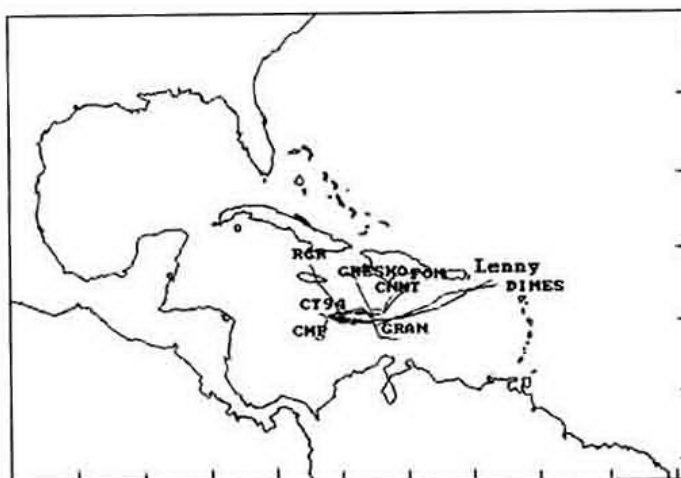


Figura 13. Trayectorias pronosticadas del huracán Lenny del 15 de noviembre de 1999.

Tabla 10. Errores (Km) de algunos modelos en uso operativo en el INSMET y el DINES para el huracán Lenny, 15 de noviembre de 1999.

MODELO	12H	24H	36H	48H	60H	72H
CNMT	131	316	564	697	802	813
GRESO	80	270	552	797	989	1088
CTIN	123	361	689	973	1294	1428
CMP	288	631	950	1240	1451	1542
RGR	145	405	800	1084	1344	1452
FON		377		712		653
<b>DINES</b>	<b>72.9</b>	<b>184.3</b>	<b>295.7</b>	<b>310.2</b>	<b>349.6</b>	<b>63.5</b>

Lenny presentó una trayectoria rumbo este desde su formación, cosa poco usual en latitudes tan bajas, donde el movimiento predominante es de componente oeste. Como puede apreciarse en la Fig. 13 solamente tres métodos, además del DINES, pronostican desplazamiento con marcada componente este y sólo el modelo aquí desarrollado pronostica una trayectoria similar a la que siguió el huracán. No debe pensarse por esto que el DINES es mejor que el resto de los métodos pues, generalmente, unos métodos dan resultados mejores en unos casos y peores en otros. Debido a lo anterior es que para realizar una buena comparación se requiere de una muestra homogénea extensa.

## Conclusiones y recomendaciones

Las ecuaciones de pronóstico obtenidas cumplen con los requerimientos estadísticos, por lo que las mismas son válidas y se ajustan a los fines para los que fueron creadas.

El modelo desarrollado ofrece la ventaja de no depender de información recibida vía Internet, lo que garantiza su ejecución.

Los errores del método están dentro del rango de errores existente a escala nacional e internacional, tanto en ajuste como en validación en las muestras independiente y real.

El modelo es aplicable solamente a aquellos ciclones tropicales que alcanzaron la categoría de tormenta tropical o huracán.

Se requiere de una mayor valoración en tiempo real.

La elaboración de un sencillo software de interfaz amigable facilitaría aun más el uso del modelo.

## Agradecimientos

Se agradece a la Tec. Mirna Hernández por la labor realizada en el completamiento de la información básica utilizada, a Paulo Ortíz por facilitar el soft-

ware utilizado y las aclaraciones hechas sobre su manejo, a Rafael Pérez por brindar los pronósticos dinámicos en tiempo real para las pruebas operativas, a Miguel A. D'Estefano por la revisión del manuscrito, a Raimundo Vega por la traducción del resumen y finalmente a todos aquellos que de una forma u otra colaboraron en la realización de este trabajo.

## Referencias Bibliográficas

**Darlington, R. B., (1990):** Regression and Linear Models. New York: McGraw-Hill.

**Demaria, M., (1997):** Summary of the Tropical Prediction Center/National Hurricane Center Tropical Cyclone Track and Intensity Guidance Models, <http://www.nhc.noaa.gov/aboutmodels.html>.

**Dempster, A. P., (1969):** Elements of Continuous Multivariate Analysis. San Francisco: Addison-Wesley.

**Dunn, G. y I. Miller, (1964):** Atlantic Hurricanes, Louisiana State University Press.

**García A., M. Limia. Y J. Duran, (1987):** Método estadístico preliminar de pronóstico del movimiento de los CT para 12-24 h con la utilización de predictores sinópticos e inercia [en ruso], Tropicheskaya Meteorologiya, Trudy III Symposium, Leningrado, Guidrometeoizdat, 313-321 pp.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_, (1988): Obtención de ecuaciones para el pronóstico estadístico del movimiento de los CT en 36?72 horas. Rev. Cubana de Met. 1(1):61?65.

**García A., M. Limia, A. Moreno Y M. Gonzalez, (1989):** Método climatológico?estadístico para el pronóstico de la traslación de los CT para plazos de 12 y 24 h [en ruso], Tropicheskaya Meteorologiya, Trudy IV Symposium, Leningrado, Guidrometeoizdat, 204-208 pp.

**García A. Y M. Limia, (1991):** Método de pronóstico del movimiento de los CT utilizando la Funciones Ortogonales Naturales (FON) [en ruso], Tropicheskaya Meteorologiya, Trudy V Symposium Leningrado, Guidrometeoizdat, 198-205.

————— y —————, (1993): Método de pronóstico de la traslación de los ciclones tropicales basado en el campo medio de seis niveles [inédito]. Simp. Inter. de Met. Trop. "Benito Viñes in Memoriam", La Habana.

**Gruza, G.B. Y P.Gresko, (1982):** Informe intermedio del tema de investigación: "Realización del análisis físico-estadístico del pronóstico de la traslación y evolución de los ciclones tropicales". VNIIGMI-CMD. Obninsk.

**Lawrence, M.B., C.J.McAdie Y J.M. Goss, (1997):** Operational Tropical Cyclone Track Forecast Verification at The National Hurricane Center. 22nd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, American Meteorological Society, 475pp.

**Limia M, A. García Y M. González, (1996a):** Sistema integral de pronóstico estadístico para el movimiento de los ciclones tropicales, [inédito] Informe final del Resultado "Modelos estadísticos, dinámico-estadísticos y sistema experto sobre la evolución y el movimiento de los ciclones tropicales" UCT, Instituto de Meteorología, 43-48p.

————— y —————, (1996b): Modelo dinámico estadístico para la predicción del movimiento de los CT desde 12 hasta 72 horas, [inédito] Informe final del Resultado "Modelos estadísticos, dinámico-estadísticos y sistema experto sobre la evolución y el movimiento de los ciclones tropicales". UCT, Instituto de Meteorología, 38-42p.

**McAdie, C.J., (1991):** A comparison of tropical cyclone track forecasts produced by NHC90 and alternative version (NHC90A) during the 1990 hurricane season. 19th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, American Meteorological Society, 290-294pp.

**Mitrani, I., (1995):** Short-range forecasting of the tropical cyclone movement through baroclinic limited-area model, International Workshop on Limited-Area and Variable Resolution Models, Beijing, China, 1995, WMO N° 699, pág. 163-167

**Neumann, C.J., (1988):** The National Hurricane Center NHC83 Model. NOAA Technical Memorandum NSW NHC 41, 44pp.

**Neumann, C.J., y C.J. McADIE, (1991):** A revised National Hurricane Center NHC83 model (NHC90). NOAA Technical Memorandum NWS NHC-44, 35 pp.

**Ortiz R. Y M.González, (1996):** Pronóstico de la RECURVA de los huracanes mediante un sistema experto, Informe final del Resultado "Modelos estadísticos, dinámico-estadísticos y sistema experto sobre la evolución y el movimiento de los ciclones tropicales", 19-22p.

**Pennington, J.T. Y S.S. Chen:** Geographic Distribution of Hurricanes Model Track Forecast errors. 24th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, American Meteorological Society, 390-395pp.

**Portela, M.A.,(1977):** Sistema integral de Pronóstico Analógico e información climatológica para Cuba, de los ciclones tropicales. Informe Científico técnico No.31, Instituto de Meteorología, ACC. 6p.

**Portela, M.A. Y M. Ballester,(1987):** Método sinóptico-estadístico de obtención de ecuaciones para el pronóstico de trayectoria de los ciclones tropicales, [en ruso] Tropicheskaya Meteorologiya, Trudy III Symposium, Leningrado, Gidrometeoizdat, 321-328 pp.

**Stevens, J. (1986):** Applied multivariate statistics for the social sciences. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

**Veigas, K.W., (1966):** The development of statistical physical hurricane prediction Model. Final Report, USWB contract CWB-10966, the travelers research center, Hartford CT, 19 pp.

**World Meteorological Organization, (1979):** "Operational Techniques for Forecasting Tropical Cyclone Intensity and Movement ".WMO Report-N°528,127 pp.

#### **Abstract**

*An statistical-dynamic model for prediction of movement of Tropical Cyclones is presented, based on the "Perfect prognosis" technique for selecting potential predictors. Value in grid points 700 hPa level obtained by the INSMET operative dynamical model are used as predictors at the time of forecast and at 24 hours later. The forecast equations are obtained by the stepwise backward multiple regression method. Some results obtained by this method and a comparison with another methods used in Cuba and EE.UU. are presented. Models errors are comparable with international errors.*