

El pronóstico de la trayectoria del huracán Alma de 1996 producida por un modelo numérico

Enrique Buendía C.*
Francisco Villicaña C.**
Enrique Azpra R.**
Orlando Delgado D.**
Ángel Meulenert P.***

Abstract

In this paper, the ability of the two parameters baroclinic model is proven to predict the trajectory of the hurricane Alma 1996. This tropical system appeared over the Northeastern Pacific Ocean and it was characterized by having binary interaction with a Mesoscale Convective Vortex (VCM), with which it merged according to Fujiwhara effect.

To detect the interaction among meteorological systems of minor scale, the used methodology consisted on using three meshes on the fourth meteorological region whose distances among the reticular points were of 432, 108 and 27 km. When using a refinement of the meshes, the forecast of binary systems trajectory is improved because the dynamics of these phenomena is perceived by the equations of the model and the errors generated when not considering this type of systems in the initial field are avoided.

Resumen

En este artículo, se prueba la habilidad del modelo baroclínico de dos parámetros para pronosticar la trayectoria del huracán Alma de 1996. Este sistema tropical aconteció en el Océano Pacífico Nororiental y se caracterizó por haber tenido una interacción binaria con un Vórtice Convectivo de Mesoescala (VCM), con el cual

* Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Circuito Exterior, CU, 04510, México, D.F., México e Instituto de Astronomía y Meteorología U. de G., Guadalajara, Jalisco, México.

** Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Circuito Exterior, CU, 04510, México, D.F., México.

*** Instituto de Astronomía y Meteorología U. de G., Guadalajara, Jalisco, México.

se fusionó de acuerdo con el efecto Fujiwhara. Para detectar la interacción entre sistemas meteorológicos de escala menor, la metodología empleada, consistió en usar tres mallas sobre la cuarta región meteorológica, cuyas distancias entre los puntos reticulares fueron de 432, 108 y 27 km. Al usarse el refinamiento de las mallas, el pronóstico de la trayectoria de los sistemas binarios mejora porque la dinámica de estos fenómenos es percibida por las ecuaciones del modelo y se evitan los errores que se generan al no considerarse este tipo de sistemas en el campo inicial.

Introducción

Al conjunto de dos vórtices que interactúan entre sí, se les llama vórtices binarios o sistema binario. Fujiwhara (1921, 1923 y 1931) observó que dos vórtices ciclónicos tienden a atraerse mientras giran ciclónicamente entre sí alrededor de su centro común, hasta que se unen en un ciclón más grande e intenso que cualquiera de los iniciales.

En el océano Pacífico Noroccidental, Sadler (1976) sostiene que el monzón y la vaguada troposférica superior favorecen la interacción entre los Vórtices Convectivos de Mesoescala (VCM) con las tormentas tropicales de esa región.

Brand (1970) propuso que cuando el efecto Fujiwhara está presente en un sistema binario la distancia entre ambos ciclones no debe de ser mayor que 1450 km y su intensidad debe ser al menos de tormenta tropical. Bajo estas condiciones Dong y Neumann (1983) encontraron que en el periodo 1949-1978 existieron en promedio 1.5 ciclones binarios por año.

En un estudio más completo (cien años), Holland (1993) estableció que anualmente el promedio de ciclones binarios es de 3.1, 1.8 y 0.5 para los océanos Pacífico Noroccidental, Pacífico Nororiental y Atlántico Norte, respectivamente. Posiblemente estos promedios se deban a que en el océano Atlántico Norte existe una cantidad menor de ciclones tropicales nombrados que en los otros dos.

Dong y Neumann (1983), de sus análisis sinópticos notaron que el efecto Fujiwhara no siempre es discernible en un sistema binario, ellos hallaron que cuando el sistema binario se encuentra dentro de la Zona Intertropical de Convergencia (ZITC) giran ciclónicamente. En cambio, cuando el sistema binario está fuera de esta región, existen más posibilidades: (a) los vórtices se atraen, (b) la distancia que exista entre ellos permanece constante y (c) los vórtices se separan; y el giro en cualquier caso puede ser ciclónico o anticiclónico.

Esta variedad de comportamientos observados se debe a la influencia que ejercen los sistemas sinópticos de la región; por ejemplo, las altas subtropicales y las vaguadas localizadas en el lado oriental de los vórtices.

Tomando en cuenta los resultados del efecto Fujiwhara, los estudios de Dong y Neumann (1983), así como la interacción de los ciclones binarios con el continente, Lander y Holland (1993) propusieron un nuevo modelo de interacción entre los ciclones tropicales binarios, que puede resumirse de la siguiente manera: los ciclones, que formaran el sistema binario, se desarrollan lejos uno del otro y se acercan, sin la evidencia de una interacción mutua, a menudo con rotación anticiclónica o sin giro entre ellos. Ocurre entonces la captura en unas cuantas horas.

Durante este periodo de interacción el sistema se caracteriza por una rotación ciclónica durante la cual generalmente convergen, pero pueden mantener su distancia de separación constante o incluso escapar.

Esta interacción puede terminar con la fusión del par de vórtices o, en su caso, por la separación de ellos debida a la influencia de otros sistemas meteorológicos de mayor escala que los afectan o bien, por el debilitamiento de uno o ambos vórtices al moverse al menos uno sobre el continente.

La motivación del trabajo consiste en mejorar el pronóstico del huracán Alma considerándolo binario y detectar el rizo que tuvo su trayectoria, el cual no fue manifestado por los modelos en tiempo real, Avila (1996).

El huracán Alma

Alma se formó cerca de la costa sur mexicana en la ZITC por la interacción de ésta con una onda tropical que cruzó el continente proveniente del Suroeste del Mar Caribe.

Por medio de las imágenes de los satélites GOES 8/9 de las 00:00 UTC, el 20 de junio de 1996 Alma fue identificada como una depresión tropical localizada aproximadamente a 400 km al Sursureste de Acapulco, Avila (1996).

También se percibió un VCM aproximadamente a 630 km al Sureste de la depresión (Figura 1), con el cual horas antes había iniciado una interacción, reflejada en la atracción, que disminuyó la distancia de separación.

La distancia continuó disminuyendo y se presentó el giro característico del sistema binario, Lander y Holland, (1993), intensificándose Alma y alcanzando la categoría de tormenta tropical el 20/18.00UTC en 14.40° N y 100.30° W con una intensidad de 17 m s^{-1} y una presión central de 1005 hPa, posteriormente el eje del sistema tenía una orientación zonal (Figura 2). Continuando con este proceso, Alma fue declarado como huracán el 22/00:00 UTC con presión central de 987 hPa y rapidez en sus vientos de 32.5 m s^{-1} .

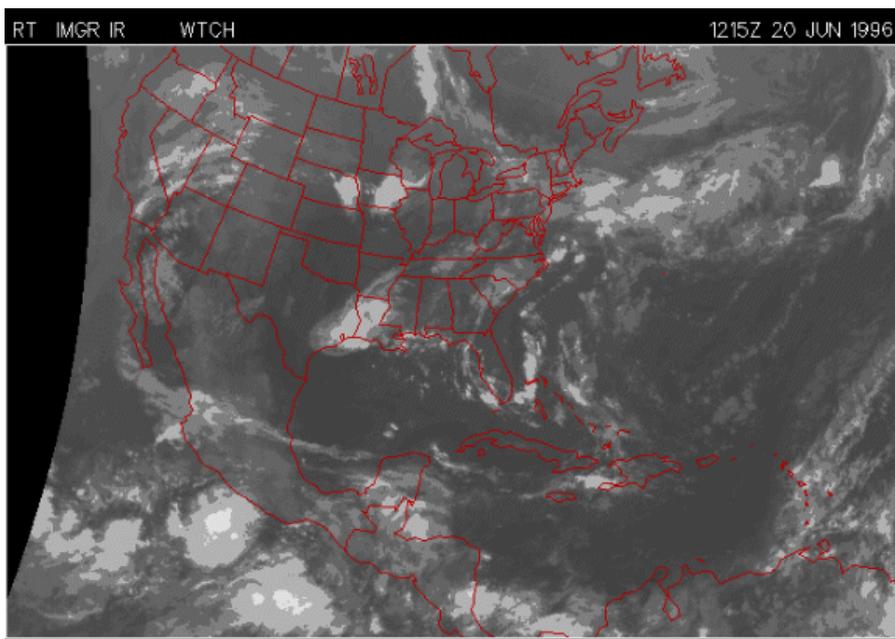


Figura 1. Imagen infrarroja del día 20 de junio de 1996 de las 12:00 UTC.

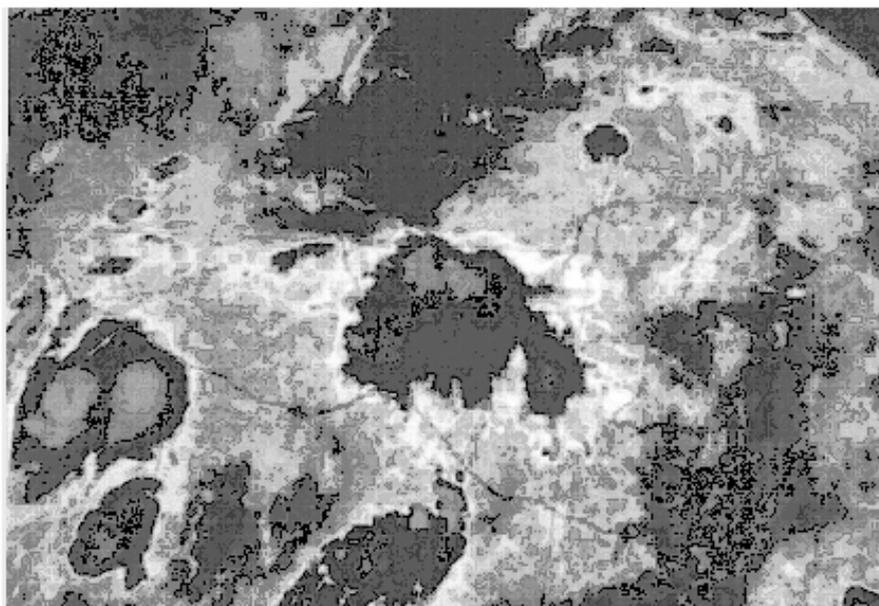
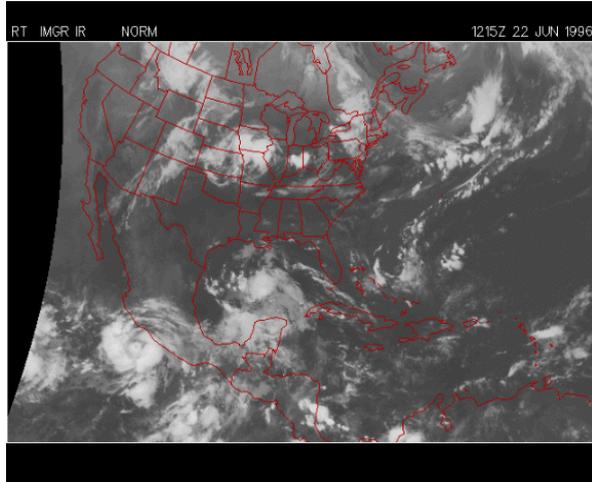
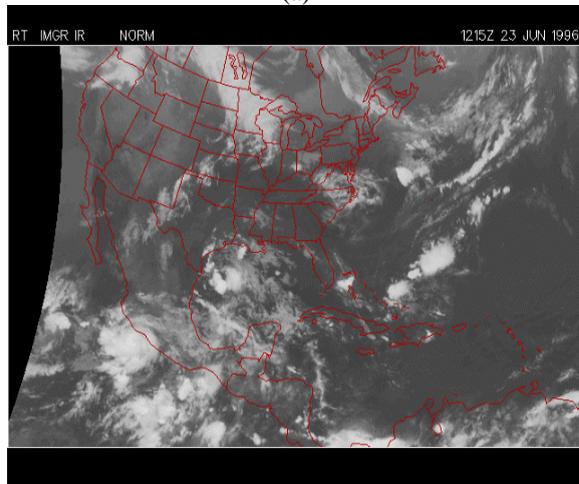


Figura 2. Imagen infrarroja del día 21 de junio de 1996 a las 00:00 UTC.

La interacción binaria continuó y la fusión se consuma, cuando el VCM se incorpora a las bandas nubosas de la circulación de Alma, incrementando las dimensiones de ésta; afectando la costa de México (en Lázaro Cárdenas, Michoacán) produciendo lluvias intensas y tres pérdidas de vida. A pesar de la interacción del sistema binario con el continente e incluso con la Sierra Madre del Sur, Alma siguió incrementándose hasta alcanzar una presión mínima de 969 hPa e intensidad del viento de 45 m s^{-1} el 23/ 12:00 UTC, Figuras 3a y 3b.



(a)



(b)

Figura 3. Imágenes infrarrojas (a) 22 y (b) 23 de junio de 1996 a las 1200 UTC.

Alma se mantuvo desplazándose paralelo al continente y debilitándose, el día 24/18:00 fue degradado a tormenta tropical y veinticuatro horas más tarde a depresión tropical, el último aviso fue emitido el 27/ 12:00 UTC. La Figura 4, muestra la trayectoria de Alma donde sobresale un rizo frente a las costas de Michoacán y Guerrero, México.

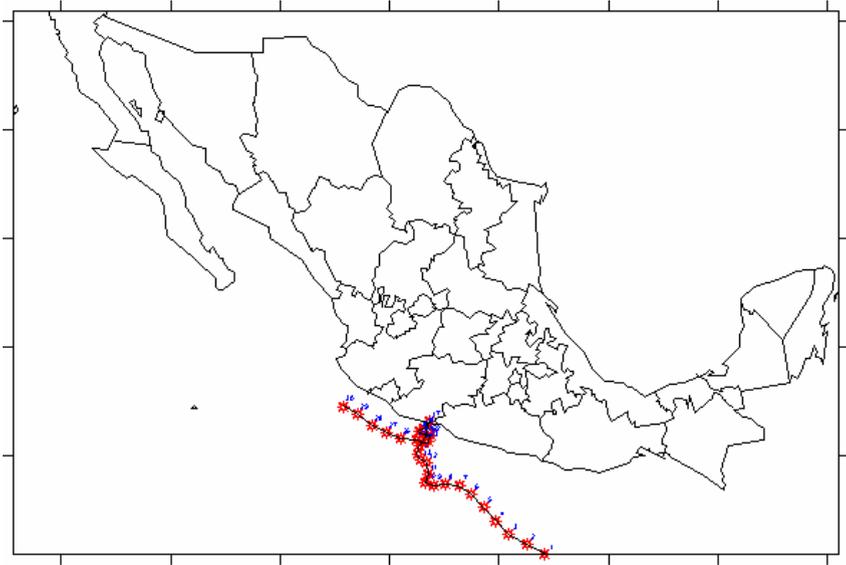


Figura 4. Trayectoria observada del huracán Alma del 20 de junio (00:00Z) hasta el 27 de junio (06:00Z).

El modelo

Se corre el modelo baroclínico de dos parámetros, Buendía *et al.* (1984, 1993, 2002), el cual se usa en el Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para pronosticar la trayectoria de ciclones tropicales en tiempo real. Se integra en un área limitada con fronteras Oeste-Este cíclicas y Norte-Sur de canal. La proyección utilizada es cónica de Lambert secante a 30° N y 60° N, donde el eje X es perpendicular al meridiano 111° W aproximadamente y contiene a la región cuarta meteorológica. Se emplea la ecuación de vorticidad en 250 y 750 hPa y la ecuación de energía termodinámica en 500 hPa. El sistema se resuelve con diferencias finitas centradas en la parte espacial y temporal ($\Delta t = 1800$ segundos), a excepción del primer paso de tiempo que es adelantado.

Basado en la información meteorológica de altura e imágenes de satélite, se realiza un análisis subjetivo en una malla homogénea de 19 x 22 puntos separados 432 km. Con el objetivo de detectar la presencia de ciclones tropicales es necesario mayor refinamiento de la malla, por lo cual se hace más densa (73 x 85 nodos), por medio de una función bilineal de interpolación, con separación de 108 km.

El análisis de las cartas de presión constante contienen las características meteorológicas que se desean pronosticar; sin embargo es necesario resaltar la presencia de sistemas tropicales que tienen menores dimensiones. En el caso de ciclones tropicales se introducen valores de altura geopotencial que detecten más adecuadamente la presencia del sistema de baja presión de acuerdo con la imagen del satélite, para lo cual se modifica el resultado de la interpolación sobre la región donde se encuentra el sistema o sistemas de interés. Esta área puede ser de 9 x 9 ó 10 x 10 ó 11 x 11 nodos etc., dependiendo de las dimensiones del vórtice ciclónico o del número de vórtices ciclónicos presentes.

Resultados

Las condiciones iniciales para realizar el pronóstico corresponden a junio 21/12:00 UTC de 1996, con los campos isohépticos de 700 y 250 hPa de la cuarta región.

En la Figura 5a se muestra el análisis sobre México, que refleja la presencia de Alma y el VCM en concordancia con la imagen satelital (Figura 5b). En este análisis ya se ha enfatizado la presencia del sistema binario.

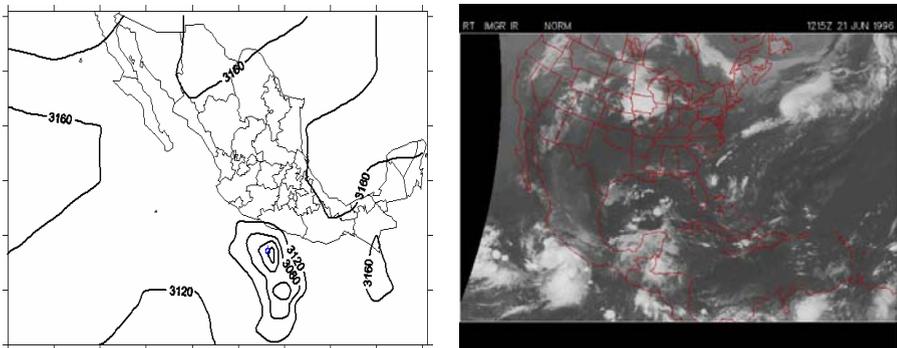


Figura 5. a) Campo geopotencial de 700 hPa observado (cotas en metros geopotenciales) e imagen de satélite (b) a las 12:00 UTC para el 21 de junio de 1996.

En los resultados de las primeras dieciocho horas (Figuras 6a-6f), es evidente que el sistema binario gira en sentido contrario a las manecillas del reloj, al

observar que el eje mayor de la envolvente gira ciclónicamente, de tal forma que seis horas después de iniciada la integración del modelo (18:00 UTC) este eje tiene una orientación aproximadamente zonal (Figura 6b), lo cual es consistente con la imagen satelital de la Figura 2. La interacción binaria continuó y la envolvente hace contacto con las costas de Michoacán y Guerrero (Figura 6f).

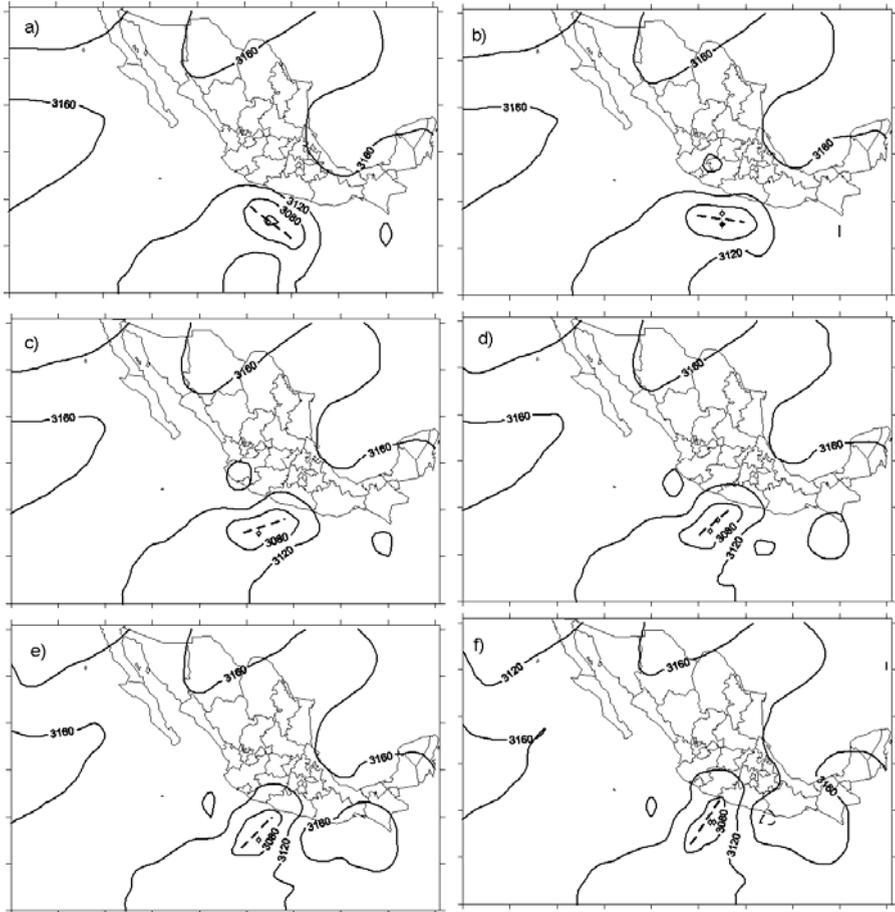


Figura 6. Pronósticos del campo geopotencial en 700 hPa: a) 3 h; b) 6 h; c) 9 h; d) 12 h; e) 15 h y f) 18 h iniciando el día 21 de junio a las 12:00 UTC. Las cotas se dan en metros geopotenciales.

El proceso binario continuó y la fusión fue detectada por el modelo en los resultados de 24 h, tal y como se ve en la Figura 7b, además de encontrarse parte

del sistema sobre el Estado de Michoacán y su centro sobre el océano, lo que se confirma con las imágenes satelitales correspondientes a junio 24/00:00 y 24/12:00 UTC (Figura 8a y 8b respectivamente).

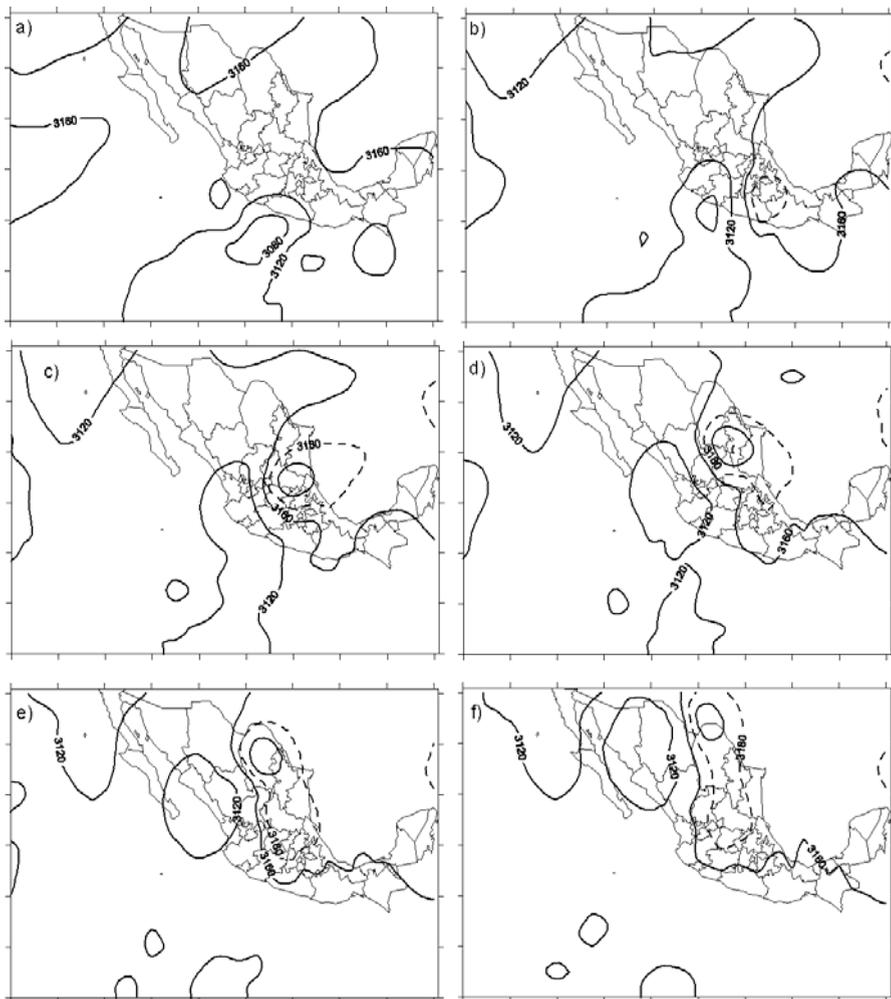


Figura 7. Pronósticos del campo geopotencial en 700 hPa desde el 21 de junio a 12:00 UTC: a) 12 h; b) 24 h; c) 36 h; d) 48 h; e) 60 h y f) 72 h.

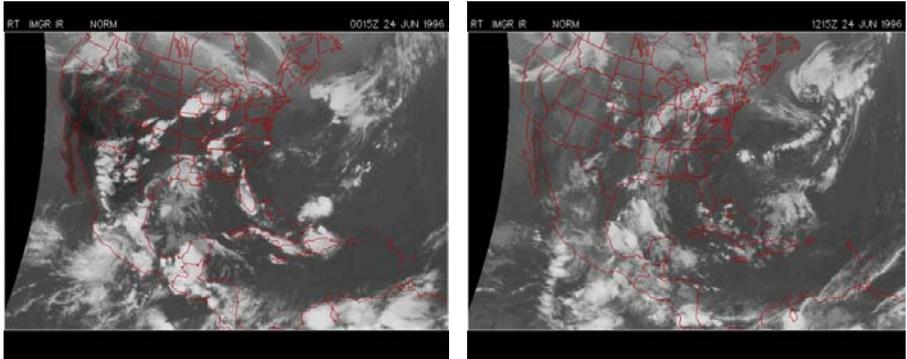


Figura 8. Fotografías satelitales del día 24 de junio a las 00:00 (a) UTC y 12:00 UTC (b).

También es notable, que el pronóstico a treinta y seis horas ya no detecta la presencia de Alma, ni como depresión tropical y para las predicciones a 48, 60 y 72 h (Figuras 7d, 7e y 7f respectivamente) se observa que el modelo desplaza a los remanentes del huracán Alma sobre los estados de Nayarit, Sinaloa y Sonora, dejando su huella sobre Puerto Libertad, Sonora, asentamiento humano que tenía casi dos lustros sin haberse presentado lluvia, tales efectos los muestra las imágenes satelitales del día 25 de junio de 1996 cuando Alma se degradó a depresión tropical (Figuras 9a y 9b).

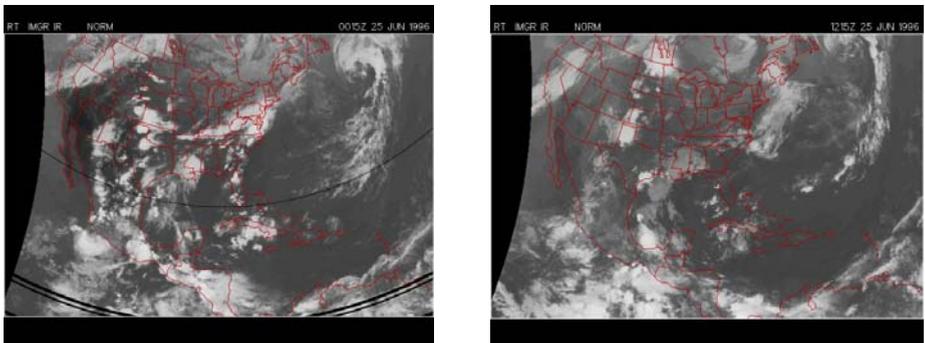


Figura 9. Imágenes satelitales del día 25 de junio a las 00:00 (a) y 12:00 UTC (b).

Pasch y Avila (1999), manifestaron que ningún modelo fue capaz de detectar el rizo que realizó Alma (Figura 4), sin embargo, cuando se reanalizó el campo inicial para introducir al sistema binario se observa en el proceso de la integración

como se va produciendo el rizo, por lo cual se deduce que esta interacción es la responsable de este comportamiento.

En la Figura 10, se disminuyó el tamaño de malla a 27 km entre los nodos y un paso de tiempo de trescientos segundos, con el objeto de definir más claramente la interacción binaria. En ella se aprecia el giro ciclónico del eje de la envolvente del sistema en forma similar a la obtenida por Holland y Dietachmayer (1993) con ciclones binarios teóricos. En nuestro caso, el eje de la envolvente inicialmente se encuentra orientado Noroeste-Sureste (cuadro superior izquierdo) y doce horas después termina con una orientación Suroeste-Noreste (cuadro inferior derecho).



Figura 10. Pronóstico numérico cada media hora hasta 12 h en los alrededores inmediatos del huracán Alma. El tiempo se incrementa de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

Conclusiones

Los resultados de este artículo muestran que es posible realizar el pronóstico numérico de ciclones tropicales binarios con un modelo simple que no requiere de mucho tiempo de máquina, tal y como lo es el modelo baroclínico filtrado que fue capaz de:

- a) Reproducir la interacción binaria de ciclones tropicales adecuadamente por el hecho de simular en su campo inicial al VCM, a pesar de que el modelo mueve más rápido a los sistemas.
- b) Verificar que en el océano Pacífico Nororiental, así como en el Noroccidental, los ciclones binarios que se encuentran en la (ZITC), su interacción se realiza tal y como se ha descrito.
- c) Dar una explicación a la generación de los rizos en la trayectoria de un ciclón, al proponer una situación razonablemente aproximada a la realidad.
- d) Estos resultados muestran la necesidad de considerar a la atmósfera en más detalle con el fin de optimizar los pronósticos.

Reconocimientos

Los autores expresan su gratitud a Rafael Patiño Mercado, Alfonso Salas Cruz, Igor Yuri Buendía Beltrán y Delibes Flores Román por su cooperación en este trabajo.

Referencias

- Avila, L., 1996. Hurricane Alma 20-27 June 1996, *Preliminary Report TPCNHC*, Microsoft Internet, 2-7.
- Brand, S., 1970. Interaction of binary tropical cyclones of the western North Pacific, *Ocean J. Appl. Meteor.*, 9, 433-441.
- Buendía, E., Delgado, O., Villicaña, F., Del Valle, E., Patiño, R. y Gallegos, A., 1984. El modelo baroclínico simple y su resolución en la Cuarta Región, *Rev. Geofísica*, IPGH, No. 21, 125-145.
- Buendía, E., Delgado, O., Villicaña, F., Del Valle, E., and Gómez, F., 1993. On the trajectory of cyclones likely to affect the Mexican Republic, *Atmósfera*, 5, 21-30.
- Buendía, E., Delgado, O., Villicaña, F., Azpra, E. y Meulenert A., 2003. Sobre el comportamiento de los huracanes binarios en el Océano Pacífico Nororiental, *OMMAC*, Número especial 1, 01-32.
- Dong, K. and Neumann, C. 1983. On the relative motion of binary tropical cyclones, *Mon. Wea. Rev.*, 111, 945-953.
- Fujiwhara, S., 1921. The natural tendency towards symmetry, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 47, 287-293.
- , S., 1923. On the growth and decay of vortical systems, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 49, 75-104.

- , S., 1931. Short note on the behavior of two vortices, *Proc. Phys. Math. Soc. Japan, Ser.*, 13, 106-110.
- Holland, G., 1993. Tropical Cyclone Motion. Global guide to tropical cyclone forecasting WMO/TD-No. 560, *Report No. TCP 31*, Chap. 3, 3.1-3.48.
- Holland, G. J. and Dietachmayer, G. S., 1993. On the interaction of tropical-cyclone-scale vortices, III: Continuous barotropic vortices, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 119, 1381-1389.
- Lander, M. and Holland, G. J., 1993. On the interaction of tropical-cyclone-scale vortices. Observations, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 119, 1347-1361.
- Pasch, R., Avila, J., Lixion, A., 1999. Atlantic Hurricane Season of 1996, *Monthly Weather Review*, Vol.127 , No. 5, pp. 581-610.
- Ritchie, E. A., and Holland, G. J., 1993. On the interaction of tropical-cyclone-scale vortices. II: Discrete vortex patches, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 119, 1363-1379.
- Sadler, J. L., 1976. A role of the tropical upper tropospheric trough in early season typhoon development, *Mon. Wea. Rev.*, 116, 1044-1056.