

Efectos del tamaño de la rejilla y el número de frecuencias en un modelo espectral de pronóstico de olas

Omar G. Lizano¹

*Departamento de Física Atmosférica, Océanica y Planetaria, Escuela de Física,
Centro de Investigaciones Geofísicas, Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología,
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica*

(Recibido 2 febrero 1997, aceptado 18 abril 1997)

ABSTRACT

The distribution on wave height and wave patterns produced by a spectral wave generation model adapted for hurricanes was analyzed with changes on the size of simulation area, the grid size and the number of frequencies to define the wave energy spectrum. The study shows that is necessary to establish a compromise between these variables, the computer capacity and the computational time. It shows that the grid size must be less than the hurricane eye diameter in order to obtain wave height resolution. Its also shows that 20 number of frequencies are enough to resolve the wave energy spectrum and to obtain wave height resolution.

1. Introducción

La adaptación de un modelo de generación de olas para el pronóstico de oleaje durante huracanes requiere de la adaptación de un modelo de viento que simule la distribución espacial y temporal del campo de viento. Como ha sido demostrado en Lizano (1990),

los resultados obtenidos en altura de la ola dependen del perfil de viento escogido, el cual depende de los diferentes algoritmos desarrollados para obtener el campo de viento (e.g. Depperman, 1947; Myer, 1954; Jelesnianski, 1965; Collins y Viehnaman, 1972 y NOAA, 1979).

Una vez seleccionado el modelo de viento, otros parámetros son importantes en el ajuste de un modelo de generación de olas del tipo espectral (Pierson et al., 1966; Barnett, 1968; Cardone et al., 1976; Resio, 1981) para el pronóstico de oleaje

¹Corresponding author address: Dr. Omar G. Lizano, Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica. E-mail: olizano@carlari.ucr.ac.cr

durante huracanes. Estos modelos resuelven la propagación de la energía de la ola según la ecuación siguiente (Gelei et al., 1957):

$$\frac{dE}{dt} + V \frac{dE}{dx} = S \quad (1)$$

donde $E=E(w,Q,r,t)$, representa la distribución de densidades de energía para todas las componentes de las olas; t = variable temporal; $V(w,Q)$ = vector de velocidad de propagación; $S=S(w,Q,r,t)$, representa una función neta de todos los procesos que agregan, remueven o distribuyen energía en el espectro; $w = 2\pi f$ = frecuencia angular; f = frecuencia; Q = dirección y x = posición.

El tamaño del área para la simulación debe ser seleccionado según la capacidad de memoria de la computadora, según el tamaño de la rejilla, del número de frecuencias que se quiera utilizar para resolver el espectro de energía de la ola, y por último, del tiempo computacional. Por ejemplo, Cardone et al. (1977) utilizaron 40 frecuencias y 24 bandas de dirección de la ola (cada 15 grados para cubrir los 360 grados posibles) para simular oleaje de huracanes en el Golfo de México. Esto significa resolver 960 ecuaciones (40X24) en cada rejilla. Entonces, para realizar una simulación en un área que comprenda 8 grados de longitud por 6 grados de latitud, a un tamaño de rejilla de 20 millas náuticas, significa resolver $(8 \times 3 = 24) \times (3 \times 6 = 18) = 432$ veces (o posiciones) las 960 ecuaciones, lo cual necesita gran capacidad de memoria y velocidad de procesamiento.

La adaptación de un modelo del tipo espectral por tanto, requiere de una selección juiciosa del tamaño del área sobre la cual se realizará la simulación. Debe buscarse una relación adecuada entre la obtención de buenos resultados de pronóstico y el tiempo computacional. Por otro lado, como señalan Sobey et al. (1986), en los modelos de generación de olas se concede poca importancia a la variación de parámetros importantes, como el tamaño de la rejilla y el número de frecuencias o períodos de la ola, utilizándose para resolver un espectro de energía. También argumenta que el problema de la solución

de las ecuaciones numéricas empleadas en generación de las olas es básicamente uno de resolución de la rejilla.

En este trabajo se analizan el tamaño del área de simulación, el tamaño de la rejilla y el número de las frecuencias utilizadas para definir un espectro de energía en un modelo numérico de generación de olas, con el propósito de hacer una selección más juiciosa y obtener resultados más precisos en el pronóstico del oleaje, y a un menor costo computacional.

2. Metodología

Un modelo numérico de generación de olas, del tipo discreto-espectral (Recio, 1981; Recio y Tracy, 1983) ajustado para pronóstico de oleaje ante huracanes (Lizano, 1988) fué utilizado para simular la propagación del oleaje sobre la superficie oceánica. Los parámetros ambientales del Huracán Camille que atravesó el Golfo de México en 1969; presión en el ojo, radio de vientos máximos, posición y trayectoria, fueron utilizados para simular el oleaje con el modelo numérico.

El tamaño del área de simulación se seleccionó de manera que se incluyeran las 6 plataformas de medición de oleaje en el golfo. Este tamaño además, fue seleccionado de manera que el huracán alcanzara el estado de madurez antes de impactar la plataforma S-1 (Figura 1); en función también de la capacidad de memoria de la microcomputadora y del tiempo computacional de procesamiento de datos.

Una Micro-Vax II de la Digital Equipment Corporation fué necesaria para correr el modelo numérico que necesita mas capacidad de memoria que la suministrada por las computadoras convencionales, especialmente para modelaje con tamaños de rejillas pequeños.

Los resultados obtenidos por el modelo numérico fueron comparados con los registrados para el Huracán Camille en el Golfo de México e incluidos en el informe de Puri y Pearce (1981).

Programas en fortran fueron desarrollados para obtener una salida gráfica de la distribución de

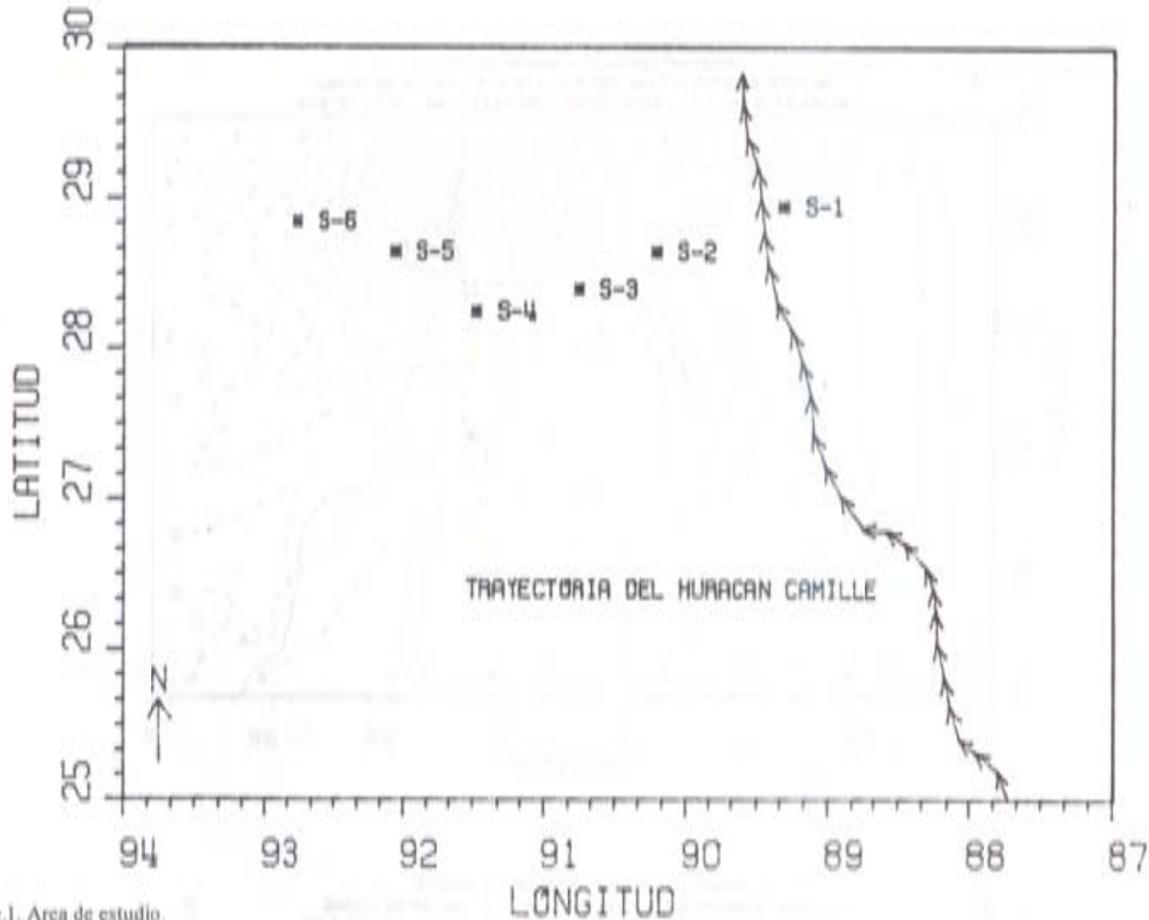


Fig.1. Área de estudio.

variables importantes como: distribución de la velocidad y dirección del viento, distribución de la magnitud y dirección de las olas, trayectoria y radio de viento máximo del huracán. Información de las variables espaciales se tienen para cada rejilla, cada 3 horas, en toda el área seleccionada para la simulación. Programas adicionales en fortran fueron preparados para graficar espectros de energía, perfiles de viento y alturas de ola.

El Cuadro 1 muestra los tamaños de rejilla utilizados para estudiar la variación en altura y distribución de las olas. Se seleccionaron dos tamaños menores que el diámetro promedio del Huracán Camille (64.08 km) y uno mayor. Tres

diferentes rangos de números de frecuencias fueron utilizados para resolver el espectro de energía de la ola, que también se incluyen en el Cuadro 1.

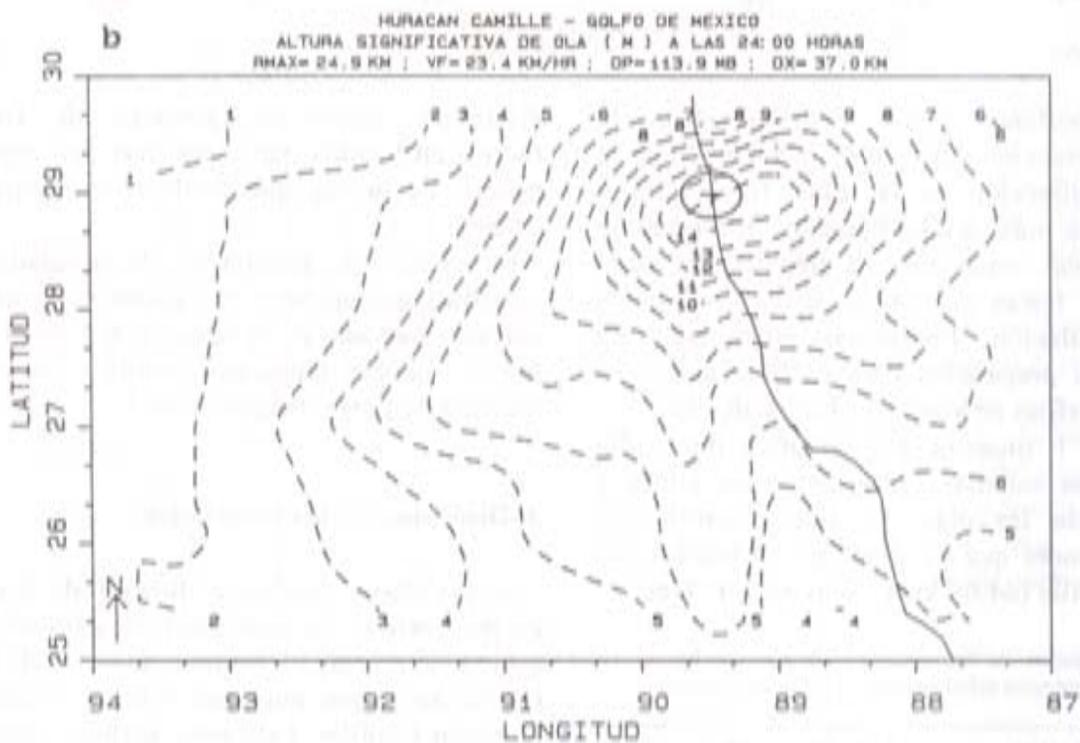
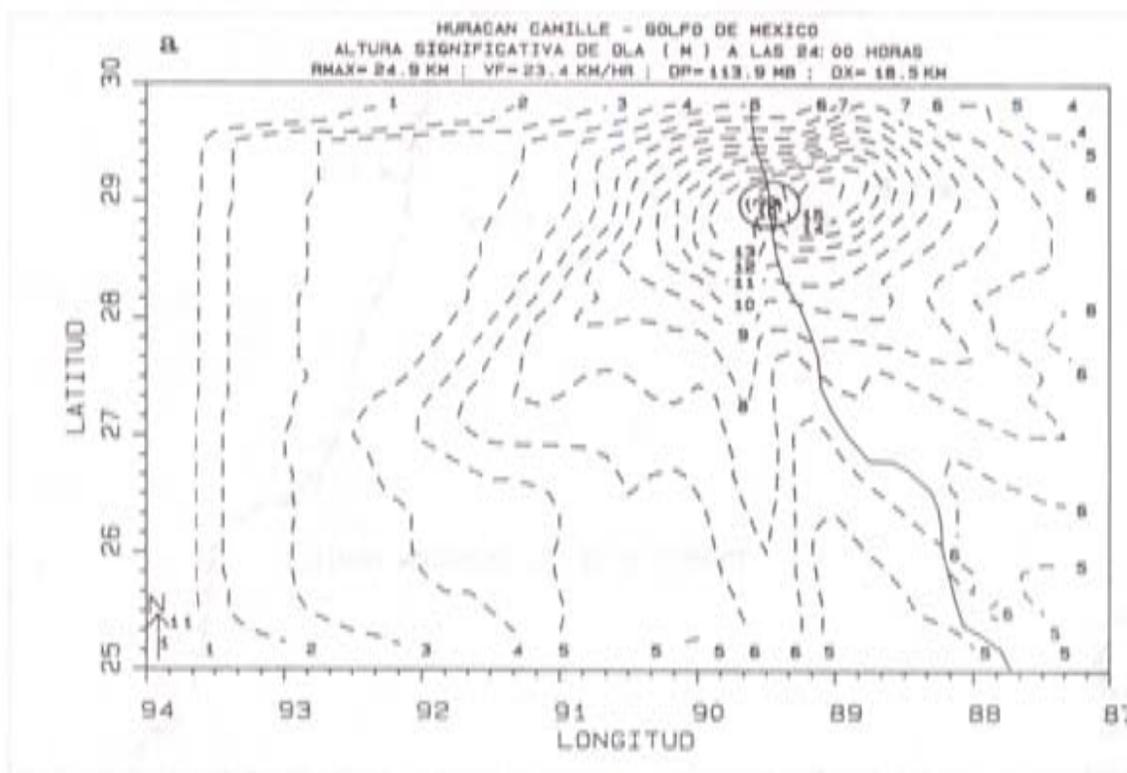
El espectro de energía de ola simulado para las variables que incluye el Cuadro 1 es comparado con el observado en la estación S-1 en el Golfo de México para el Huracán Camille e incluido en el informe de Puri y Pearce (1981).

3. Discusión de los resultados

Se realizaron pruebas en función de la capacidad de memoria de la computadora, para encontrar la mayor área, con el mínimo tamaño de la rejilla (18.52 km), que pudiera simular oleaje para el Huracán Camille. Esta área además, debía incluir hasta 24 horas de simulación, de manera que se garantizara la completa maduración del huracán

CUADRO 1. Tamaños de las rejillas y número de frecuencias utilizados en la simulación del oleaje para el Huracán Camille

Tamaño de la rejilla (km)	18.52	37.04	55.56	111.12
Número de frecuencias	10	20	40	



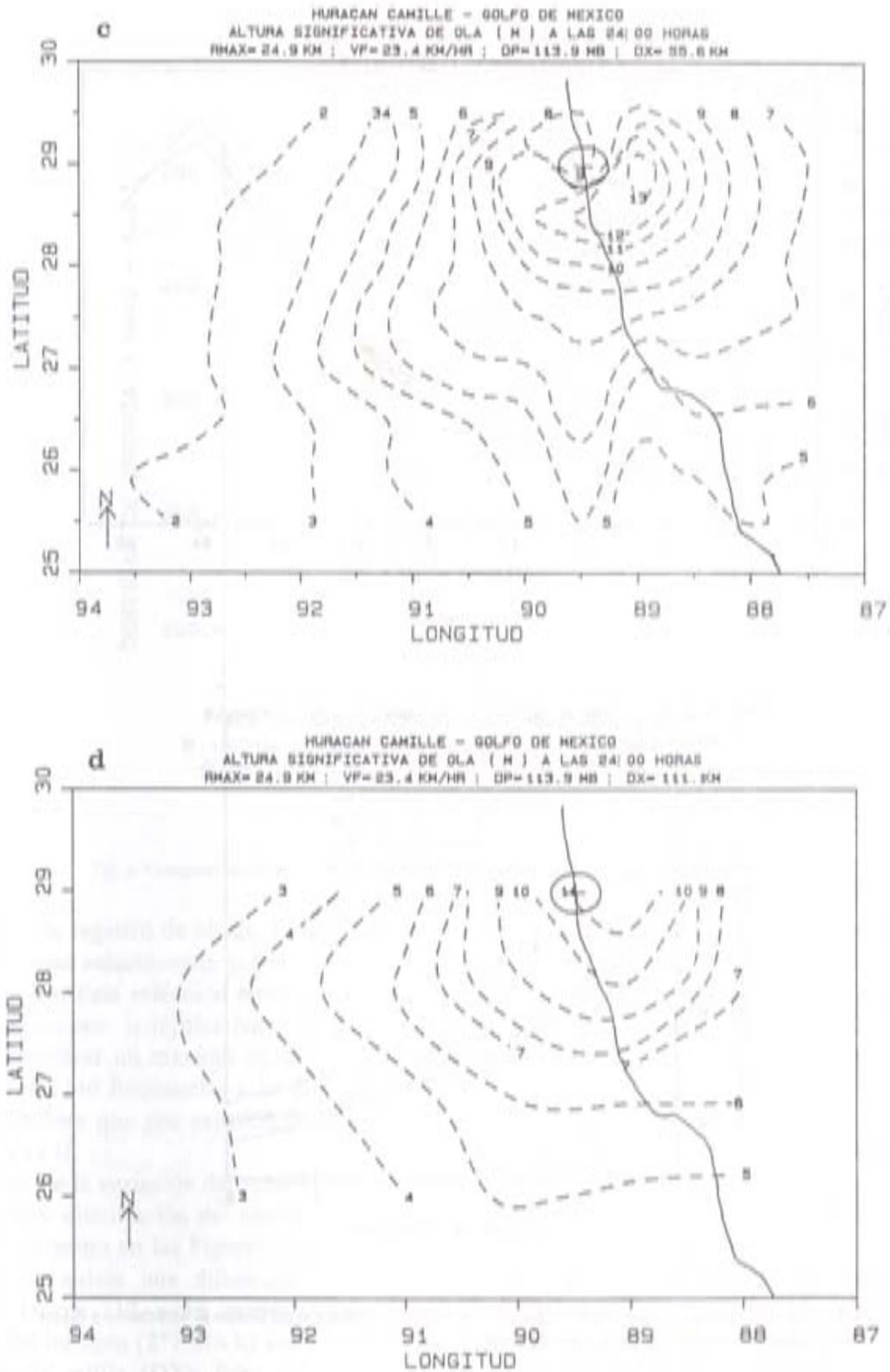


Fig. 2. Contornos de altura de ola (m) para un tamaño de rejilla (c) $DX=55.6$ km y (d) $DX=111.2$ km a las 24 horas de simulación.

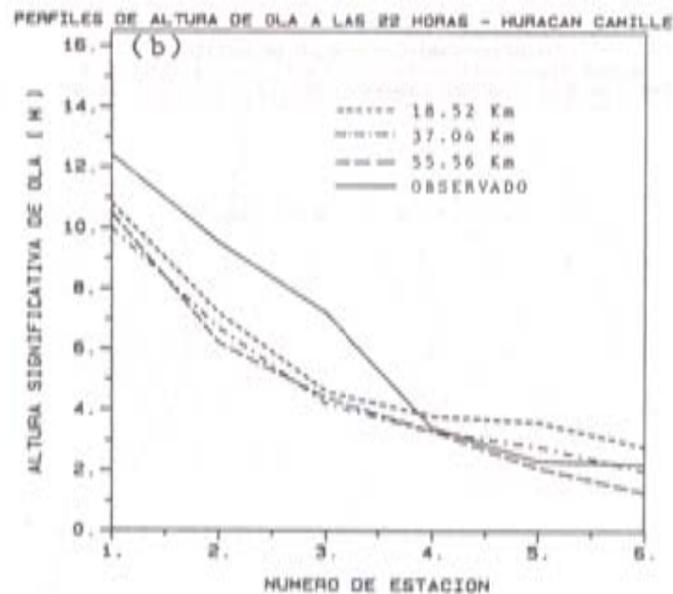
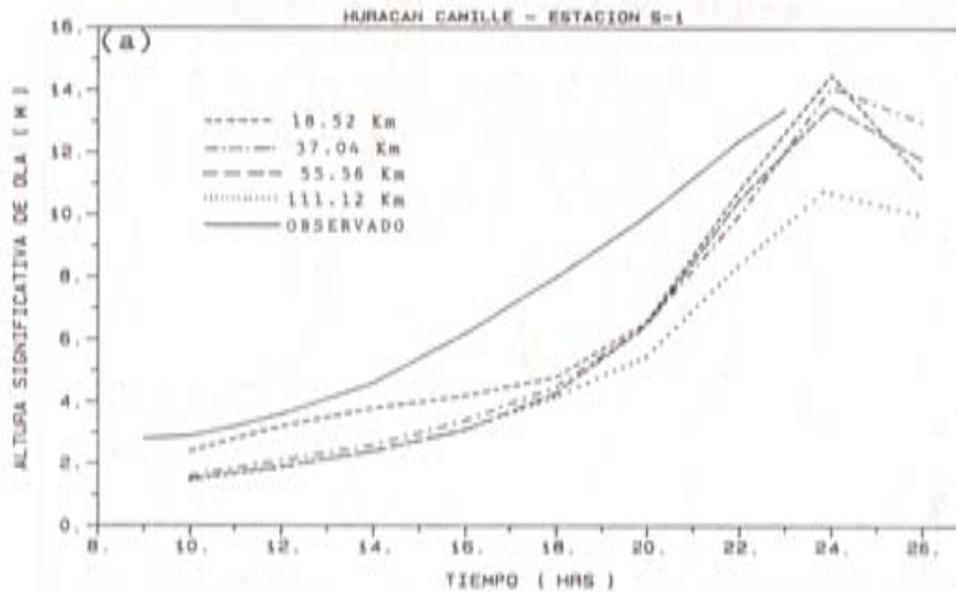


Fig. 3. Perfiles de altura de ola para diferentes tamaños de rejilla (a) en función del tiempo de simulación y (b) en función de las estaciones de registro de altura de la ola.

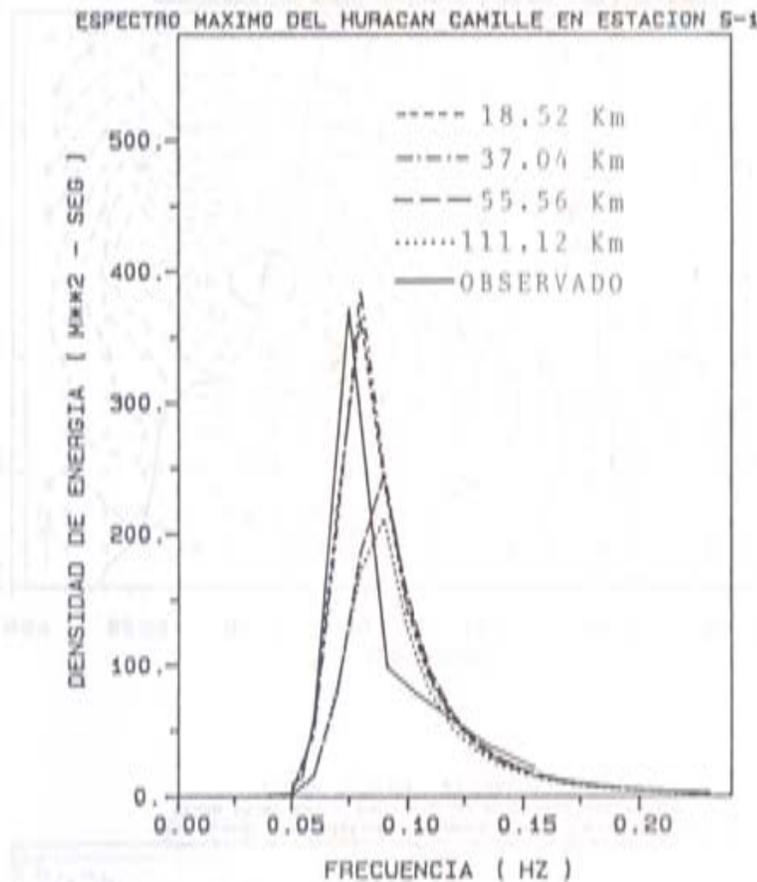


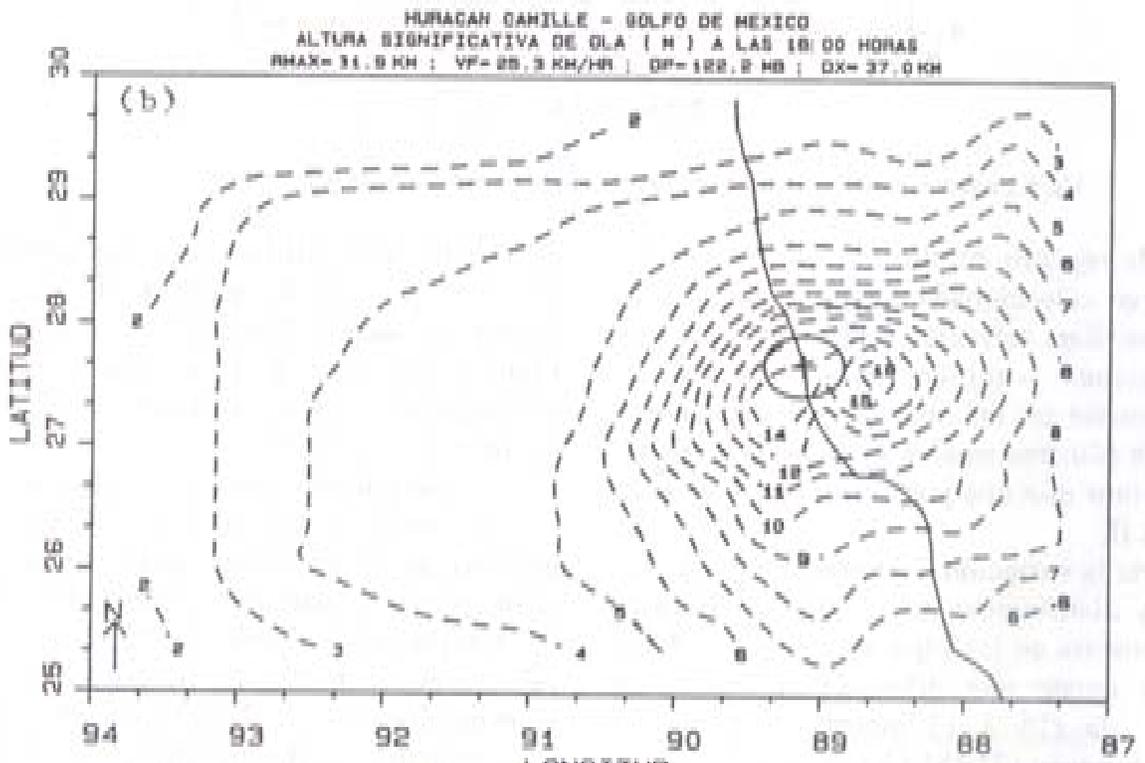
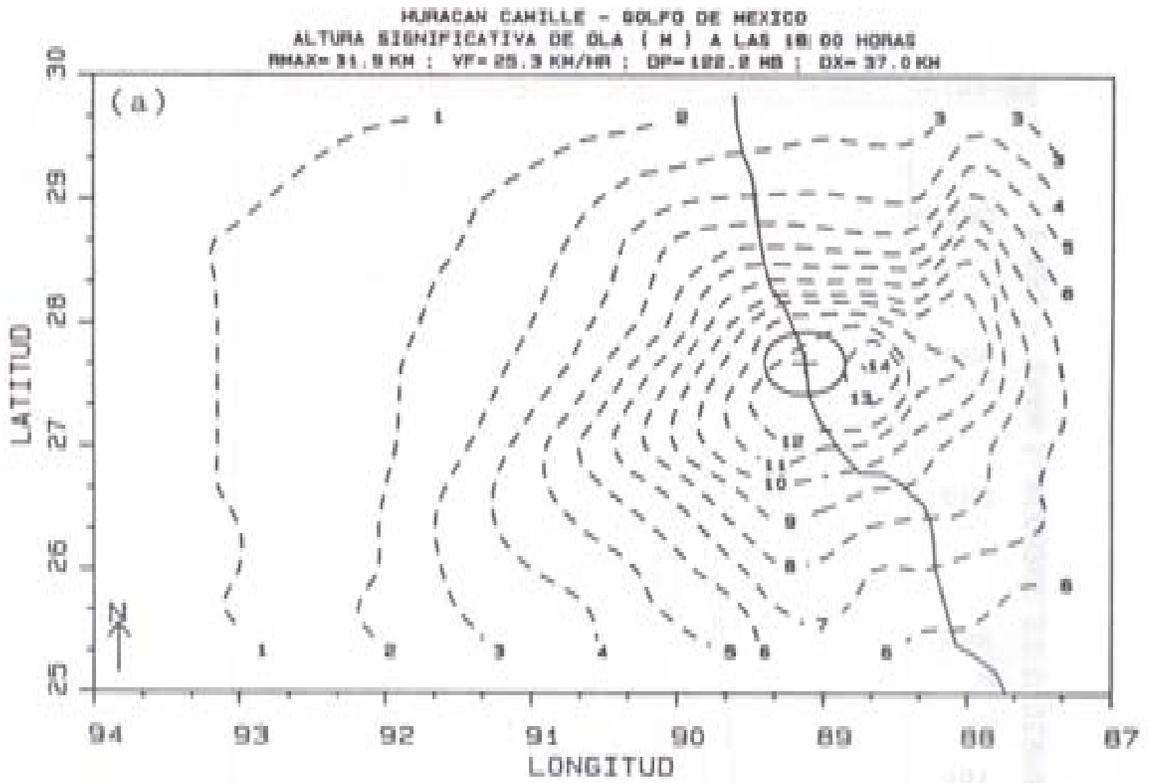
Fig. 4. Comparación del espectro de energía de la ola para diferentes tamaños de la rejilla.

plataformas de registro de oleaje. La Figura 1 nos muestra el área seleccionada según el análisis de estas variables. Esta selección representa $7 \times 6 \times 5 \times 6 = 1260$ posiciones o rejillas (cada 18.52 km=10 mn), para resolver un máximo de 640 ecuaciones en cada rejilla (40 frecuencias \times 16 direcciones de olas), el máximo que nos permitió la memoria de la Micro-Vax II.

El análisis de la variación del tamaño de la rejilla en la altura y distribución del oleaje del Huracán Camille se muestra en las Figuras 2-a, b, c y d. Se nota que no existe una diferencia marcada en altura de la ola (13 a 15 metros) mientras el diámetro del huracán ($2 \cdot R_{MAX}$) sea mayor que el tamaño de la rejilla (DX). Esto se cumple para DX= 18.5, 37.0 y 55.5 km, como se muestra en las Figuras 2-a, b y c respectivamente. La distribución

el tamaño de la rejilla, como una consecuencia de variar la función de energía "E" en el término advectivo de la Ecuación 1. Comparando las Figuras 2-a, b, c y d se nota una distribución menos densa y más suavizada conforme aumenta el tamaño de la rejilla.

La variación en altura de la ola con respecto al tiempo sobre la estación S-1, donde se dió la máxima altura de la ola, antes de que el huracán destruyera esta plataforma (alrededor de la hora 23 de simulación, Lizano, 1990), o respecto a las estaciones, se muestran en las Figuras 3-a y b respectivamente. Se nota que esta variación es prácticamente uniforme mientras el tamaño de rejilla sea mayor que el diámetro del huracán. Igualmente Puri y Pearce (1981), en un estudio de pronóstico de este mismo huracán Camille,



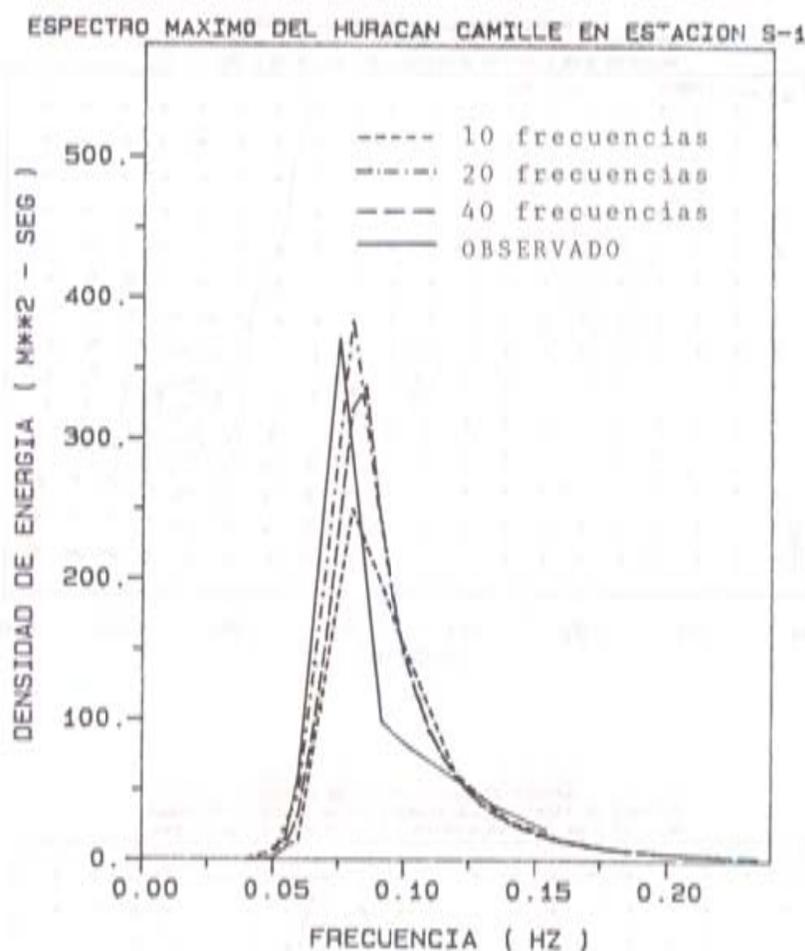


Fig. 7. Espectro de energía de la ola para diferente número de frecuencias.

no encontraron diferencias significativas en la altura de la ola. A medida que el tamaño de la rejilla se expande, se encuentra una disminución en altura de las olas alrededor del ojo del huracán, como se muestra en las Figuras 2-d y 3-a para $DX=111.12$ km.

La Figura 4 muestra como el tamaño de la rejilla produce una densidad de energía de ola mas baja conforme el tamaño de la rejilla se hace menor que el diámetro del huracán, lo cual significa, pérdida en la altura del oleaje en todas las frecuencias o períodos.

Las Figuras 5-a y b muestran la variación de la distribución de la altura de ola con los distintos números de frecuencias utilizadas para definir el

espectro de energía de ola. Como señala Sobey (1984), un número suficiente de frecuencias y bandas de dirección son necesarios para resolver el espectro direccional en todas las etapas de crecimiento y evolución de las olas, pero entre mayor sea el número de bandas de frecuencia, mayor es el costo computacional. El presente análisis indica que no se obtiene una marcada diferencia en la altura de ola alrededor del ojo (14 a 16 m) con el aumento en el número de frecuencias, pero si podría obtenerse una ligera variación en la dirección de propagación de las olas. Esto se nota por ejemplo, en las Figuras 6-a y b, al observar con detenimiento algunos vectores de la ola alrededor del ojo del huracán. Esta

diferente dirección de propagación explica las diferencias de distribución en la altura del oleaje que muestra las Figuras 5-a y b; de nuevo, asociada al cambio de la función de energía "E" del término advectivo de la Ecuación 1.

La Figura 7 muestra la variación del número de frecuencias para resolver el espectro de energía de ola. Se nota que el empleo de 20 frecuencias compara muy bien con el espectro observado, además que el empleo de 40 frecuencias no necesariamente implica una mejor resolución del espectro, mientras que la utilización de 10 frecuencias sí muestra una pobre resolución, y por ende, menor altura de las olas al integrar todas las frecuencias, como se mostró en las figuras 5-a y b.

4. Conclusión

Este trabajo demuestra que el tamaño de la rejilla utilizado para resolver las ecuaciones de un modelo numérico de pronóstico de oleaje produce variación significativa en la dispersión de la energía de las olas sobre el océano. El radio del huracán debe resolverse dentro del tamaño de la rejilla para evitar una pérdida en la altura de la ola. La utilización de 20 frecuencia es suficiente para resolver el espectro de energía de olas. Un mayor número de frecuencias y bandas de dirección no implica un cambio significativo de la altura de la ola o resolución del espectro de energía, pero sí, un mayor costo computacional.

Agradecimientos

Este artículo forma parte de uno de los capítulos de la tesis sometida a la Universidad de Puerto Rico como requisito parcial para obtener un doctorado en Ciencia Marinas. Mi gratitud a mis profesores consejeros: Dr. Manuel Hernández A. y Dr. Aurelio Merdado, por su ayuda, sugerencias y aliento durante mis años en el Departamento de Ciencias Marinas.

Agradezco también, al Dr. Walter Fernández del Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y

Planetaria, Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, por la revisión y crítica de este trabajo.

RESUMEN

Se analizó la variación en la distribución y altura del oleaje en un modelo numérico espectral de generación de olas al cambiar el tamaño del área utilizada en la simulación, el tamaño de la rejilla y el número de frecuencias que definen el espectro de energía de la ola. Este análisis demuestra que debe establecerse un compromiso entre estas variables, la capacidad de memoria de la computadora y el tiempo computacional. Se encuentra que el tamaño de la rejilla debe ser menor que el diámetro del ojo de un huracán para obtener resolución en la altura de la ola. Se demuestra también, que 20 frecuencias son suficientes para resolver el espectro de energía de la ola y obtener resolución en la altura de la ola.

Referencias

- Barner, A.H., 1968. A freshwater "Kill" on the coral reefs of Hawaii. Hawaii Inst. Mar. Biol. Tech. Rep. 15. 29 pags.
- Cardone, V.T., W. Pierson y E. Ward, 1976. Hincasting the directional spectra of hurricane-generated waves. *J. Petrol. Technol.*, 28: 385-394.
- Cardone, V.T., D.B. Ross y M.R. Ahrens., 1977. An experiment in forecasting hurricane generated sea states. Proc. 11th Tech. Conf. on Hurric. and Trop. Meteor. of the Amer. Meteor. Soc. Miami Beach, Fl.
- Collins, J. y M. Viehman, 1971. A simplified empirical model for hurricane wind fields. Paper No. OTC 1346. Offsh. Technol. Conf.
- Depperman, C.E., 1947. Notes on the origin and structure of Philippine Typhoons. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 28: 399-404.
- Gelci, R., H. Cazale y J. Vassal, 1957. Prevision de la houle. La methode des densites spectroangulaires. *Bull. Infor. Comite Central Oceanogr. d'Etude Cotes* 9.
- Jelesnianski, C.P., 1965. A numerical calculation of storm tides induced by a tropical storm impinging on a continental shelf. *Mon. Weather Rev.* 93: 343-360.
- Lizano, O., 1988. Modelo de predicción de olas generadas por huracanes en el Mar Caribe. Tesis de Doctorado, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. 118 p.
- Lizano, O., 1990. Modelo de viento ajustado a un modelo de generación de olas para el pronóstico durante huracanes. *Revista Geofísica*, 33: 75-103.
- Myer, V.A., 1954. Characteristics of U.S. hurricanes pertinent to levee design for Lake Okeechobee, Florida. U.S. Weather Bureau. Hydromet. Rep. No. 32, 106 pp.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 1979. Meteorological criteria for standard project hurricane and probable maximum hurricane windfields, Gulf and East coast of the United States.

Pierson, W.J., L.G. Tick y L. Baer, 1966. Computer-based procedures for predicting global wave forecasts and wind field analysis capable of using wave data obtained by space craft. Proc. Nav. Hydrodyn. Symp. 6th: 499-529.

Puri, K. y B. Pearce., 1981. Numerical hindcasting of storm generated waves User's Manual. Depart. of Mathem. and Civil Engin. University of Maine. 38 pags.

Resio, D., 1981. The estimation of wind-wave generation in a Discrete Spectral Model. J. of Phys. Oceanog. 11(4).

Resio D. y Tracy B., 1983. A numerical model for wind-wave prediction in deep water. Wave Information Study Report 12, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, Miss. 73 p.

Sobey, R.J., 1984. Numerical alternation in a transient stream response. J. Hydraul. Eng. ASCE. 110: 749-772.

Sobey, R.J. y R. Young., 1986. Hurricane wind waves-A discrete spectral model. J. of Waterway, Port, Coastal an Ocean Engineering. 112(3).