

## Ondas atrapadas a la costa en el sector NW de Cuba.

### Coastal trapped waves on the NW Cuban coast.

*Orlando Ramírez Stout y Marcelino Hernández González*

Departamento de Oceanografía Física y Química, Instituto de Oceanología, Ave 1<sup>ra</sup> No. 18406 entre 184 y 186, Rpto Flores, Ciudad Habana, CP 11600, Cuba. Tel: 272 5420  
E-mail: [orlando@oceano.inf.cu](mailto:orlando@oceano.inf.cu)

#### RESUMEN.

Series cronológicas de nivel del mar obtenidas durante el año 2004 en tres estaciones mareográficas ubicadas en la costa noroccidental de Cuba muestran en las frecuencias bajas,  $\omega < 0.2$  ciclos por día (cpd), una propagación hacia el E con velocidad de fase de una onda baroclínica de Kelvin (2-3 m/s). La coherencia entre las localidades alcanza sus valores máximos en la banda de los 0.1-0.2 cpd. Estos resultados permiten verificar la existencia de ondas atrapadas a la costa en la zona de estudio.

**Palabras claves:** nivel del mar, ondas atrapadas a la costa

#### ABSTRACT.

Time series of sea level during 2004, from three tide gauges located in the NW coast of Cuba, show that in low frequencies,  $\omega < 0.2$  cycles per day (cpd), fluctuations propagate eastward with the phase speed of baroclinic Kelvin wave (2-3 m/s). The alongshore coherence reaches its maximum values in the frequency band of 0.1-0.2 cpd. These results allow verifying the existence of coastal-trapped waves in the study zone.

**Key words:** sea level, coastal-trapped waves

#### INTRODUCCIÓN.

En un océano estratificado de profundidad constante, las ondas libres se propagan a lo largo de la costa en forma de ondas internas de Kelvin (Gill, 1982) con una escala típica (el radio de deformación de Rossby) del orden de los 30 km. Por otra parte si se considera un océano homogéneo con topografía en la plataforma entonces también existen ondas libres, las ondas de la plataforma (Gill, 1982), que se propagan a lo largo de la costa y que también tienen una escala del orden de los 30 km. En un océano real la estratificación y la topografía están presentes, coexistiendo las ondas de Kelvin y las de plataforma, obteniéndose como resultado ondas híbridas con características de ambas. Estas ondas fueron denominadas ondas atrapadas a la costa por Gill y Clarke (1974) y sus propiedades han sido calculadas por Allen (1975), Huthnance (1978) y Codiga (1997).

Las ondas atrapadas a la costa no pueden considerarse como una restricción a la costa de un proceso oceánico, sino que son exclusivas de la zona costera donde juegan un importante papel en la variabilidad de frecuencia baja de las corrientes marinas y el nivel del mar.

La relación entre las ondas atrapadas a la costa y la variabilidad del nivel del mar en la escala de las bajas frecuencias ha sido ampliamente estudiada en Smith, 1978; Brink, 1982; Romea y Smith, 1983; Huyer, Paluszkiwicz and Smith, 1987 y Huyer, Knoll, Paluszkiwicz and Smith, 1991. En el caso de la costa NW de Cuba se cuenta con el trabajo de Ramírez y Simanca, (2003); donde se muestran evidencias de la existencia de ondas atrapadas en el sector comprendido entre Cabo de San Antonio y Siboney.

#### MATERIALES Y MÉTODOS.

Los datos de nivel del mar empleados en este estudio corresponden a registros horarios obtenidos durante el año 2004 procedentes de las estaciones mareográficas de Cabo de San

Antonio ( $21^{\circ} 54,0' N$ ,  $84^{\circ} 54,4' W$ ), Mariel ( $23^{\circ}01,2' N$ ,  $82^{\circ} 45,4' W$ ) y Siboney ( $23^{\circ} 05,6' N$ ,  $82^{\circ} 28,2' W$ ).



Figura 1. Ubicación de las estaciones seleccionadas para el estudio.  
Figure 1. Location of tide gauge selected for study.

Todas las series originales fueron inicialmente graficadas para eliminar la información errónea y detectar posibles discontinuidades; las que fueron completadas utilizando un procedimiento orientado a mantener las características espectrales de las series. En primer lugar se calcularon los coeficientes de Fourier a ambos lados de la discontinuidad, tomando un segmento de largo igual a ésta. Posteriormente se empleó el promedio de los coeficientes obtenido de los datos a ambos lados de la discontinuidad para construir una serie sintética que fue sumada a la recta que unía ambos extremos.

Con el objetivo de separar la marea y otras fluctuaciones de frecuencia alta, las series de nivel del mar fueron filtradas con el filtro de paso bajo Doodson de 39 ponderaciones. Los datos están expresados en centímetros.

La metodología empleada para el procesamiento de los datos fue el análisis espectral doble, que es una herramienta matemática muy empleada en el procesamiento de series cronológicas, ya que permite pasar del dominio del tiempo al dominio de las frecuencias. Este método se encuentra ampliamente descrito en la literatura y puede ser visto en detalles en Bath (1974) y Jenking y Watts (1968).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En los espectros de las series en las tres estaciones, figura 2, se observan valores máximos de energía en los períodos de 2.5 días, y en la banda de 3.3 a 4 días.

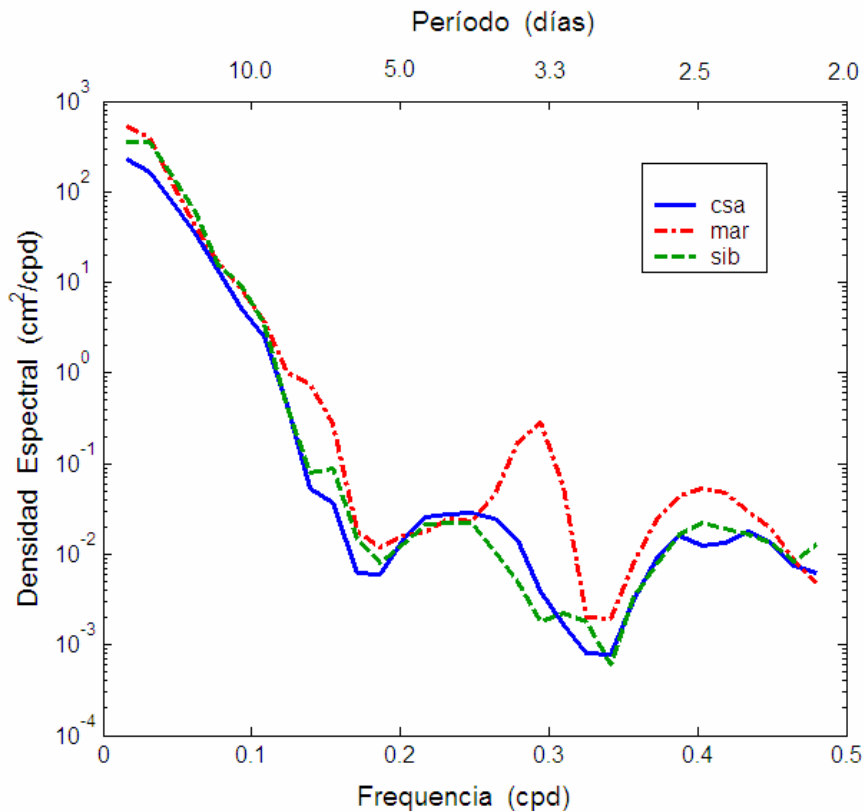


Figura 2. Densidad espectral de las series en Cabo de San Antonio (csa), Mariel (mar) y Siboney (sib).

Figure 2. Autospectra of sea level from Cabo de San Antonio (csa), Mariel (mar) and Siboney (sib).

La coherencia significativa y la dependencia lineal de la fase para valores de frecuencia menores a los 0.2 cpd, indican una propagación hacia el E, figuras 3-5.

Si las perturbaciones fueran ondas no dispersivas, es decir, que viajan con igual velocidad independientemente de su período, la variación del ángulo con la frecuencia en el espectro de fase, debería ser una recta, cuya pendiente depende de la velocidad con que viajan las perturbaciones. Basándose en esta suposición se ajustó una recta a los valores de la fase con frecuencias menores a 0,2 cpd. De acuerdo a esta estimación, la velocidad de propagación fue de 244 Km/día (2.83 m/s). Para los cálculos fue empleado el espectro entre las estaciones de Cabo de San Antonio y Siboney, pues por ser las más distantes da la posibilidad que el espectro brinde una mejor representación de la propagación de la onda. El valor estimado para la velocidad de propagación se ajusta al reportado por Ramírez y Simanca, (2003); lo que evidencia que la onda se propaga con la velocidad de fase de una de Kelvin (Moore and Philander, 1977).

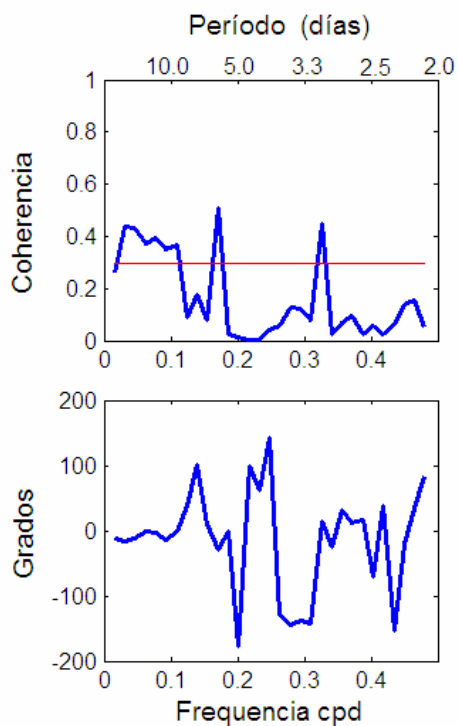


Figura 3. Espectros de coherencia y fase entre las estaciones de Cabo de San Antonio y Mariel. La línea horizontal en la coherencia indica las frecuencias significativas.

Figure 3. Coherence and phase spectrals from Cabo de San Antonio and Mariel. The horizontal line in the coherence diagram represents the significatives frequencies.

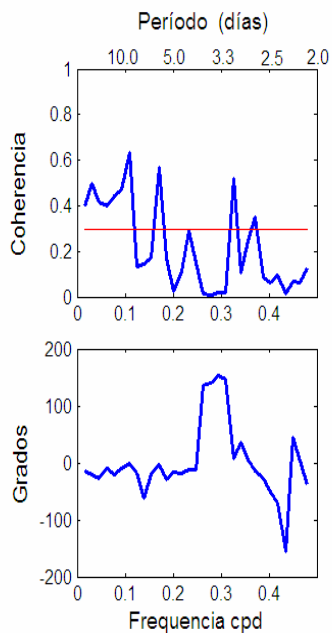


Figura 4. Espectros de coherencia y fase entre las estaciones de Mariel y Siboney. La línea horizontal en la coherencia indica las frecuencias significativas.

Figure 4. Coherence and phase spectrals from Mariel and Siboney. The horizontal line in the coherence diagram represents the significant frequencies.

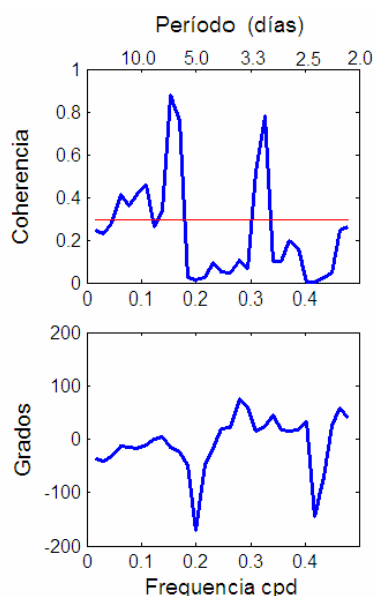


Figura 5. Espectros de coherencia y fase entre las estaciones de Cabo de San Antonio y Siboney. La línea horizontal en la coherencia indica las frecuencias significativas.

Figure 5. Coherence and phase spectrals from Cabo de San Antonio and Siboney. The horizontal line in the coherence diagram represents the significant frequencies.

## CONCLUSIONES.

Las variaciones de frecuencia baja del nivel del mar con períodos mayores a 2 días presentan una energía alta. Los máximos se encuentran en la banda comprendida entre 2.5 y 5 días.

Estas perturbaciones fueron espacialmente coherentes y en general, en un rango de frecuencias menores a 0,2 cpd, se comportan como ondas no dispersivas que viajan de W a E con una velocidad estimada de 244 Km/día (2.83 m/s).

## AGRADECIMIENTOS.

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a los investigadores y técnicos del Departamento de Oceanografía del Instituto de Oceanología por la colaboración brindada para la realización de este artículo, en especial a las M. Sc. Libertad Rodas y Jacqueline Simanca, por la detallada revisión del original y los acertados señalamientos realizados.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Allen J. S. 1975. Coastal trapped waves in a stratified ocean. *J. Phys. Oceanogr.* 5 pp. 300-325.  
 Bath, M. 1974. *Spectral Analysis in Geophysics*. Amsterdam, Elsevier. 563 pp.

- Brink, K.H. 1982. A comparison of long coastal trapped wave theory with observations off Peru. *J. Phys. Oceanogr.*, 12 pp. 897-913.
- Codiga, D. L. 1997. Trapped-wave modification and critical surface formation by mean flow at a seamount with application at Fieberling Guyot. *J. Geophys. Res.* 102 (C10). pp. 23025-23039.
- Gill A. E. and A. J. Clarke. 1974. Wind-induced upwelling, coastal currents, and sea level changes. *Deep-Sea Res.*, 21, 325-345.
- Gill, A. E. 1982. Atmosphere-Ocean Dynamics. *International Geophysics Series*. Volume 30. London, 662 pp.
- Huthnance J. M. 1978. On coastal trapped waves: Analysis and numerical calculations by inverse iteration. *J. Phys. Oceanogr.* 8, pp. 74-92.
- Huyer, A., R.L. Smith and T. Paluszkiwicz. 1987. Coastal upwelling off Peru during normal and El Niño times, 1981-1984. *J. Geophys. Res.*, 92(C13) pp. 14297-14307.
- Huyer, A., M. Knoll, T. Paluszkiwicz and R.L. Smith. 1991. The Peru Undercurrent: a study in variability. *Deep-Sea Res.*, 38, Supl. 1 pp. S247-S271.
- Jenking, G. M. y D. G. Watts. 1968. Spectral Analysis and Its Applications. Holden-Day. Oakland. 525 pp.
- Moore D. W. and S. G. Philander. 1977. Modeling of the tropical oceanic circulation. En: *The Sea*. Vol 6, Wiley, pp. 319-361.
- Ramírez O. y J. Simanca. 2003. Evidencias de ondas atrapadas a la costa en el sector noroccidental de Cuba. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*. **Vol. 4**. ISBN 959- 7136-20-1
- Romea, R.D. and R.L. Smith. 1983. Further evidence for coastal trapped waves along the Peru coast, *J. Phys. Oceanogr.*, 13 pp. 1341-1356.
- Smith, R.L. 1978. Poleward propagating perturbations in currents and sea level along the Peru coast. *J. Geophys. Res.*, 83 pp. 6083-6092.