

## ESTUDIO DE “SEICHES” EN PUERTO QUEQUÉN DURANTE CONDICIONES DE PASAJES FRONTALES

Paula Martín<sup>1,2</sup>, Walter Dragani<sup>1,2</sup>, Walter Grismeyer<sup>1</sup>, Enrique D’Onofrio<sup>1,2</sup> y Mónica Fiore<sup>1,2</sup>

### RESUMEN

Con el objeto de estudiar las perturbaciones del nivel del agua (sei ches) registradas en el interior del Puerto Quequén durante situaciones caracterizadas por pasajes frontales, se analizaron tres eventos ocurridos en el año 1982 (año de mejor relevamiento sistemático de niveles del mar en la provincia de Buenos Aires) ocurridos en marzo, agosto y septiembre.

Se observó que durante los eventos analizados las amplitudes de las seiches en el interior del puerto superaron los 0.5 m con periodicidades comprendidas entre 15 y 75 minutos. En general se aprecia que estos eventos tienen una duración aproximada de un día y que la energía de las perturbaciones aparece intermitentemente en los registros, espectros y wavelets. Las máximas amplitudes de alta frecuencias se observaron en primer lugar en Quequén y posteriormente en Mar de I Plata, Pinamar y por último en Mar de Ajó. Los seiches dentro del puerto se deben al ingreso de ondas de período generados en la plataforma por pasajes frontales y no al ingreso del oleaje generado en la zona de la costa adedaña.

**Keywords: Ondas de largo período, Seiches, Puerto Quequén, Análisis espectral**

### INTRODUCCION Y OBJETIVO

En algunas regiones costeras y puertos es frecuente detectar oscilaciones del nivel del mar generadas por algún forzante atmosférico, con períodos mayores que las olas e inferiores a los asociados a la marea astronómica y (períodos que van de unos minutos hasta 2 horas), aunque usualmente son de pequeña magnitud, en algunos sitios puede exceder significativamente la amplitud de la marea.

Entre los segundos y las horas encontramos un tipo de oscilaciones que muchas veces pasan desapercibidas, ondas en las que el período entre dos máximos consecutivos es del orden de minutos. Los forzantes que las pueden provocar son normalmente causas meteorológicas: tormentas, variaciones de la presión atmosférica, o fuerzas sísmicas, como terremotos o deslizamientos de tierras en el interior del océano. Estas variaciones regulares del nivel del mar son conocidas, a veces, como “seiches”, y se manifiestan como ritmos que son específicos de cada puerto o bahía. En ciertas ocasiones y bajo determinadas condiciones, la amplitud de los seiches puede aumentar considerablemente provocando efectos catastróficos en las estructuras del puerto y en los barcos allí amarrados.

En la región costera bonaerense se observa frecuentemente el pasaje de frentes fríos provenientes del sur los cuales producen un abrupto descenso de la temperatura del aire, un mínimo relativo de la presión atmosférica y a un marcado cambio en la intensidad y dirección del viento en superficie. Luego del pasaje frontal, el viento sopla intensa y persistentemente del cuadrante sudeste generando un oleaje con alturas superiores a la del clima de olas medio de la región. Por otro lado, en la atmósfera, en la interfaz entre el aire frío y caliente, se generan y propagan ondas de gravedad atmosféricas con fluctuaciones de la presión de hasta 4 hPa las cuales actúan sobre la superficie del mar como un pistón generando perturbaciones del nivel del mar con períodos comprendidos entre 20

---

<sup>1</sup> Servicio de Hidrografía Naval – Ministerio de Defensa. Av. Montes de Oca 2124 (C1270ABV) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.  
[martin@at.fcen.uba.ar](mailto:martin@at.fcen.uba.ar)

**VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria. Seminario Latinoamericano “Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina”**

minutos y una hora y alturas superiores a 0.5 m, las cuales han sido registradas y estudiadas, entre Mar de Ajó y Quequén, desde comienzos de la década del '60. Durante condiciones de pasajes frontales las olas y las perturbaciones más largas penetran en los recintos portuarios pudiendo, en algunos casos, afectar la condición de agua tranquila necesaria para la operabilidad del puerto. Tal es el caso del Puerto Quequén en donde las perturbaciones del nivel del mar pueden amplificarse y superar, durante condiciones óptimas, el metro y medio.

Entre las investigaciones más destacadas en la región de estudio se puede mencionar a Balay (1955) quien notó en Mar del Plata y en Quequén la presencia de perturbaciones oceánicas con períodos comprendidos entre 5 y 25 minutos y amplitudes variables entre 0.15 y 0.90 m. El primer estudio espectral relativo a las “ondas de largo período” en la costa bonaerense corresponde a Inman et al. (1962), quienes en base a registros mareológicos obtenidos en las estaciones de Mar del Plata (puerto y mar libre) y Quequén analizaron comparativamente los espectros de energía resultantes. Los bajos niveles de coherencia determinados entre las estaciones Mar del Plata y Quequén, separadas por 124 kilómetros, sugirió que el fenómeno ondulatorio en las dos localidades no estaría relacionado entre sí, al menos, mediante algún mecanismo simple.

Vara et al. (1977) dieron una caracterización general de estas oscilaciones, principalmente en lo que respecta a las amplitudes espectrales en Mar de Ajó, Punta Médanos y Pinamar. Conjuntamente con los datos de las tres localidades mencionadas analizaron los registros mareológicos de Mar del Plata, concluyéndose que si bien en cada localidad las perturbaciones se presentan con características propias, era evidente que subyacentemente había un fenómeno con características globales que involucraba a toda la cuenca abierta, limitada exteriormente por el talud continental. Esto último es compatible con mediciones de corriente realizadas en la plataforma continental bonaerense, que también presentan oscilaciones periódicas del orden de una hora (Lanfredi y Capurro, 1971 y Lanfredi, 1972). Entre junio de 1981 y julio de 1982 se efectuaron mediciones del nivel del agua en Pinamar con un mareógrafo digital. Vara y Mazio (1982) estimaron los espectros correspondientes a dichos datos y notaron una acumulación de energía en frecuencias próximas a un ciclo por hora y una disminución hacia frecuencias más altas.

Dragani (1997) encontró una explicación del proceso físico generador de las ondas de largo período en la costa bonaerense. Para ello, analizó una serie de datos analógicos de niveles del mar simultáneos correspondientes a tres estaciones ubicadas en la costa de la Provincia de Buenos Aires durante el año 1982. Las estaciones fueron Mar de Ajó (36° 50' S, 56° 39' W), Pinamar (37° 08' S, 57° 30' W) y Mar del Plata (38° 05' S, 57° 30' W) (Figura 1).



**Figura 1.** Río de la Plata y plataforma continental adyacente. La batimetría está dada en metros.

**VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria. Seminario Latinoamericano “Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina”**

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es estudiar las perturbaciones del nivel del agua (seiches) registradas en el interior del Puerto Quequén (Figura 2) durante situaciones caracterizadas por pasajes frontales. Para ello, se analizaron tres eventos ocurridos en el año 1982 (año de mejor relevamiento sistemático de niveles del mar en la provincia de Buenos Aires) ocurridos en marzo, agosto y septiembre.

**AREA DE ESTUDIO**

El Puerto de Quequén (Figura 2) está emplazado en la desembocadura del río que le da el nombre, estando las ciudades de Necochea y Quequén ubicadas sobre la margen derecha e izquierda, respectivamente. El comercio consiste principalmente en la exportación de trigo a Brasil, y de importantes cantidades de maíz, de girasol y de aceite vegetal a distintos lugares del mundo. Las importaciones están casi completamente constituidas por fertilizantes a granel. La marea en el Puerto Quequén es mixta preponderantemente semi-diurna con una amplitud máxima de 1.85 m y una media de 1.01 m. Superpuesta a la marea, en condiciones normales, se registran oscilaciones naturales (“seiches”) con amplitudes típicas de 0.15-0.20 m las cuales están asociadas a la particular geometría del recinto portuario. Durante condiciones de pasajes frontales las olas y las perturbaciones más largas penetran en los recintos portuarios pudiendo, en algunos casos, afectar la condición de agua tranquila necesaria para la operabilidad del puerto. Tal es el caso del Puerto Quequén en donde las perturbaciones del nivel del mar pueden amplificarse y superar, durante condiciones óptimas, el metro y medio.



**Figura 2.** Puerto de Quequén (fuente: Dragani et. al 2009)

**DATOS Y METODOLOGÍA**

Si bien el objetivo de este trabajo es el estudio de oscilaciones de alta frecuencia en puerto Quequén, también se estudiaron los registros analógicos del nivel del mar en Mar de Ajó, Pinamar, Mar del Plata y Quequén con el objeto de tener una visión regional del fenómeno. Para ello se digitalizaron los

registros analógicos de niveles del mar obteniéndose un dato por minuto. En general, en las series de niveles del mar se pueden detectar oscilaciones asociadas a la marea, a las ondas de tormenta y a otras oscilaciones de mayor frecuencia (seiches), que van desde unos pocos minutos hasta 2 horas (Figura 3 a), b), c). Para estudiar los seiches se debió remover de las series de datos digitalizadas la onda de marea como así también las ondas de tormenta. Para ello, se utilizó un filtro diseñado a partir de la ventana de Kaiser-Bessel, con una función respuesta de períodos aproximadamente entre 10 y 180 minutos (Figuras 4 a), b) y c)).

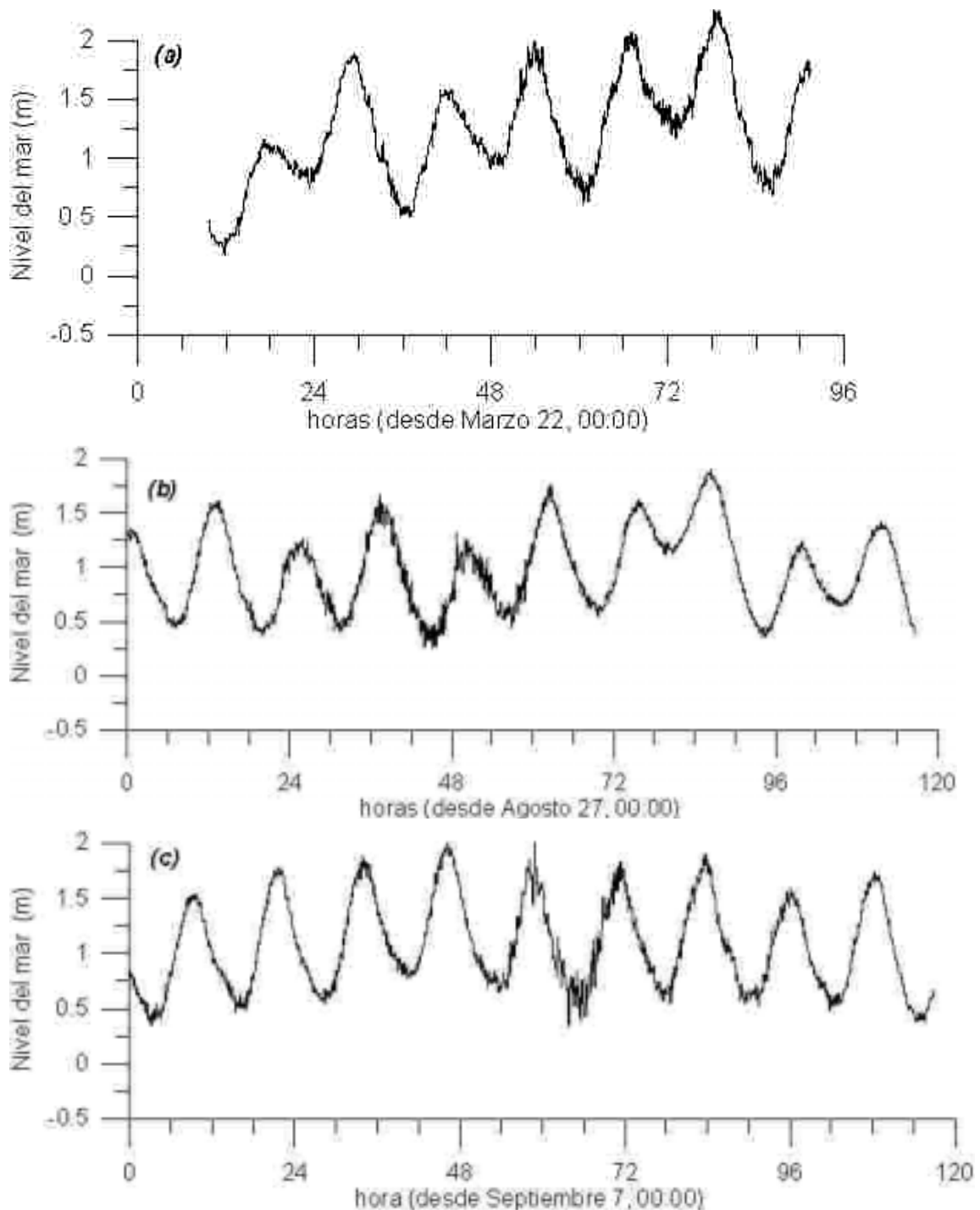


Figura 3. Nivel del mar (m) en Quequén los eventos a) Marzo, b) Agosto y c) Septiembre de 1982.

**VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria. Seminario Latinoamericano “Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina”**

Para describir el comportamiento del oleaje en la región de estudio, se debió implementar el modelo numérico SWAN (Simulating WAVes Nearshore), ya que para el año 1982 no se disponía de observaciones directas. Este modelo fue implementado y validado en el Río de la Plata exterior y plataforma continental adyacente por Dragani et. al (2008). SWAN es un modelo numérico de tercera generación utilizado para obtener buenas estimaciones de los parámetros de olas en aguas someras costeras a partir del viento y la batimetría.

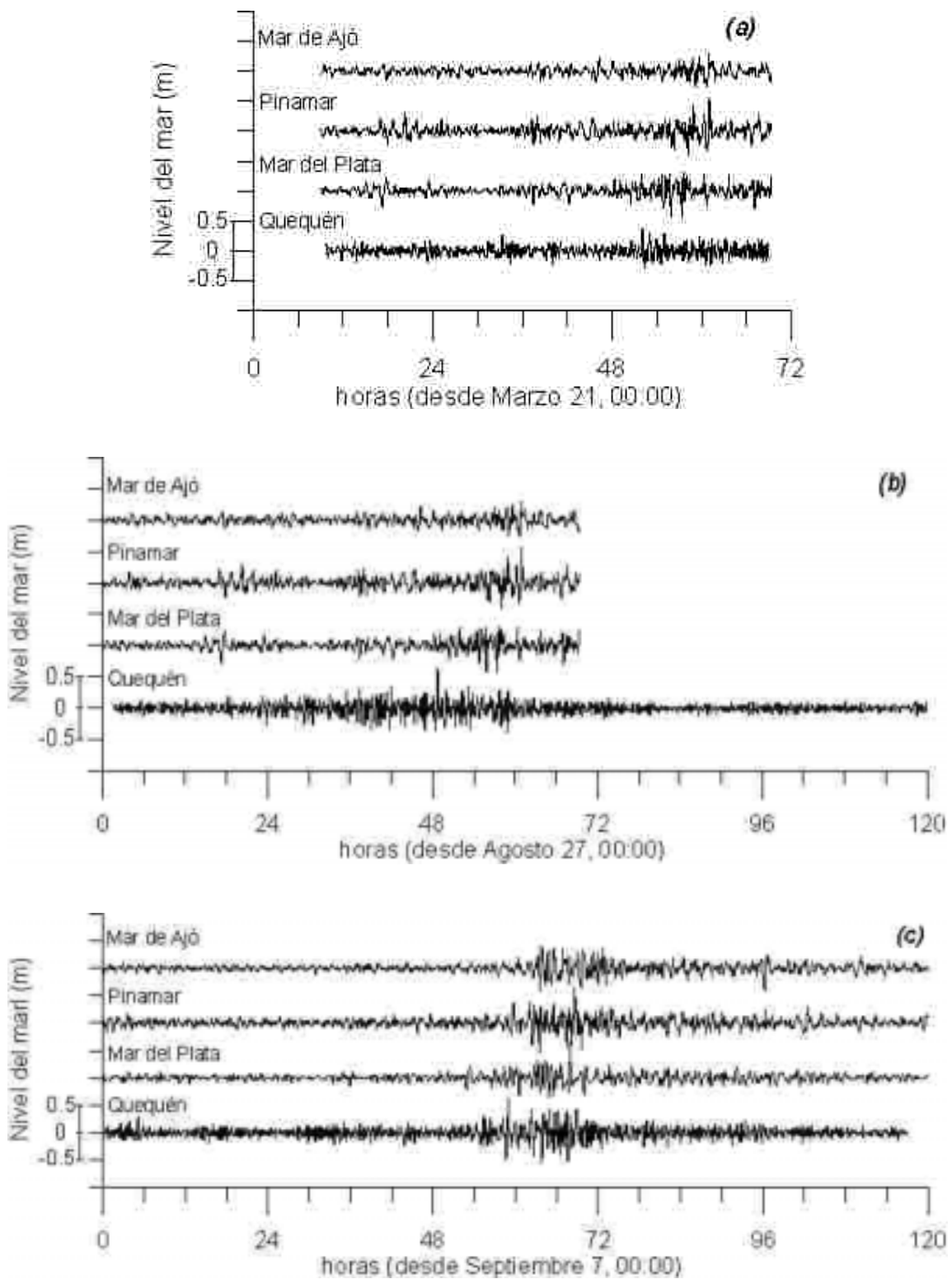
## RESULTADOS

Durante el evento de marzo (desde el día 21/03, 00:00 al 23, 22:00) se registraron seiches (con alturas comprendidas entre 0.20 – 0.30 m) como se puede apreciar durante las primeras horas del registro (Figura 4 a) asociadas, probablemente, a un pasaje frontal débil. El comienzo de este evento fue aproximadamente simultáneo en Quequén y Mar del Plata (23/03, 05:00) y la gran actividad de alta frecuencia se inició 3 h más tarde en Pinamar y 6 h después en Mar de Ajó. Las máximas amplitudes observadas (Tabla I) fueron 0.33, 0.37, 0.36 y 0.23 m en Quequén, Mar del Plata, Pinamar y Mar de Ajó, respectivamente.

En la Figura 4 b se presenta el evento de agosto (27/08, 00:00 a 01/09, 00:00). Puede apreciarse que también los seiches se observan en primer lugar en Quequén y posteriormente en las otras tres localidades. Las máximas amplitudes estuvieron entre los 0.40 y 0.48 m (ver Tabla I). El inicio de la actividad en Quequén fue el 27/08 23:00 y, en Mar del Plata, la gran actividad comenzó 11 h después (Tabla I, Figura 4 b). Por último, en la Figura 4 c se presenta lo acontecido en septiembre (07/09, 00:00 al 13/09, 00:00). Se puede apreciar que las oscilaciones de alta frecuencia se presentaron primeramente en Quequén, y posteriormente en Mar del Plata, Pinamar y Mar de Ajó, observándose así la propagación de estas oscilaciones hacia el Norte. Las máximas amplitudes observadas fueron 0.62, 0.47, 0.42 y 0.41 m, respectivamente (Tabla I).

**Tabla 1.** Eventos analizados durante el año 1982. Comienzo de la actividad en Quequén (QUE) y Mar del Plata (MDP), desfases en horas entre ambas localidades. Máxima amplitud de los seiches en QUE, MDP, Pinamar ((PIN) y Mar de Ajó (AJO).

Evento	QUE inicio	MDP inicio	Desfase (h)	QUE (m)	MDP (m)	PIN (m)	AJO (m)
1	23/03 05:00	23/03 05:00	0	0.33	0.37	0.36	0.23
2	27/08 23:00	28/08 10:00	11	0.47	0.40	0.48	0.47
3	09/09 07:00	09/09 10:00	3	0.62	0.47	0.42	0.41



**Figura 4.** Nivel del mar filtrado (m) en Mar de Ajó, Mar del Plata, Pinamar y Quequén para los eventos a) Marzo, b) Agosto y c) Septiembre del año 1982.

En la Figura 5 se presenta la evolución temporal de las alturas de olas simuladas por el modelo SWAN en la zona costera adyacente al Puerto Quequén para el evento de septiembre de 1982. En ella

se puede observar que las alturas significativas (Hs) de ola variaron entre los 0.58 y 1.27 m, registrándose el máximo el 08/09 06:00.

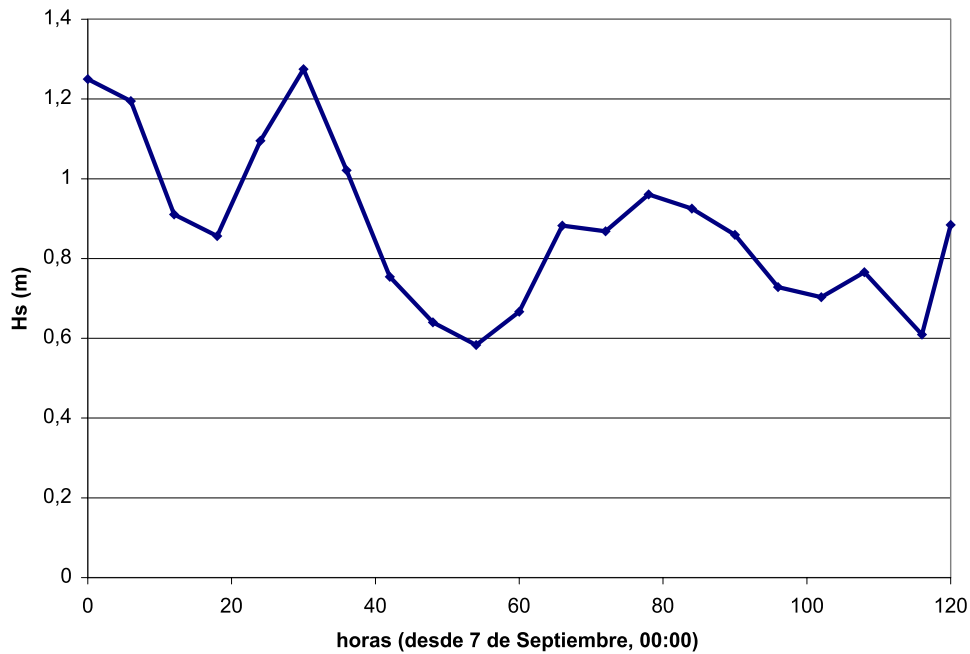


Figura 5. Evolución temporal de Hs en las cercanías del Puerto Quequén utilizando el modelo SWAN para el evento de septiembre de 1982.

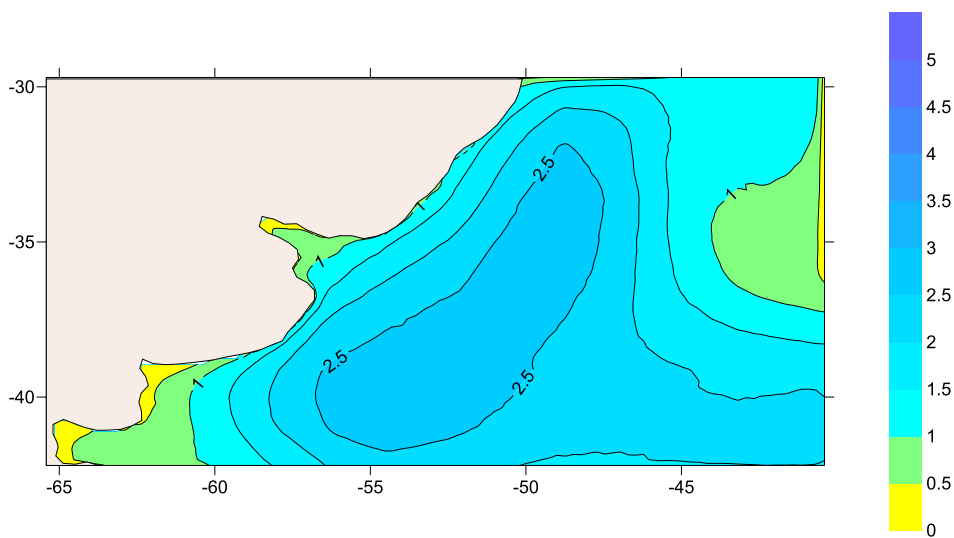


Figura 6. Hs para el 8 de septiembre a las 06:00, contornos en metros.

El campo de altura de olas correspondiente a este dominio para el 08/09, 06:00, se presenta en la Figura 6. En ella puede observarse que las alturas de olas en las cercanías al Puerto de Quequén alcanza el metro de altura mientras que más hacia el este el oleaje supera los 2.5 m.

Por último, con el fin de estudiar la variabilidad temporal no -estacionaria de la serie de alturas de olas en Quequén para los tres eventos del año 1982, se aplicó el análisis de Wavelet.

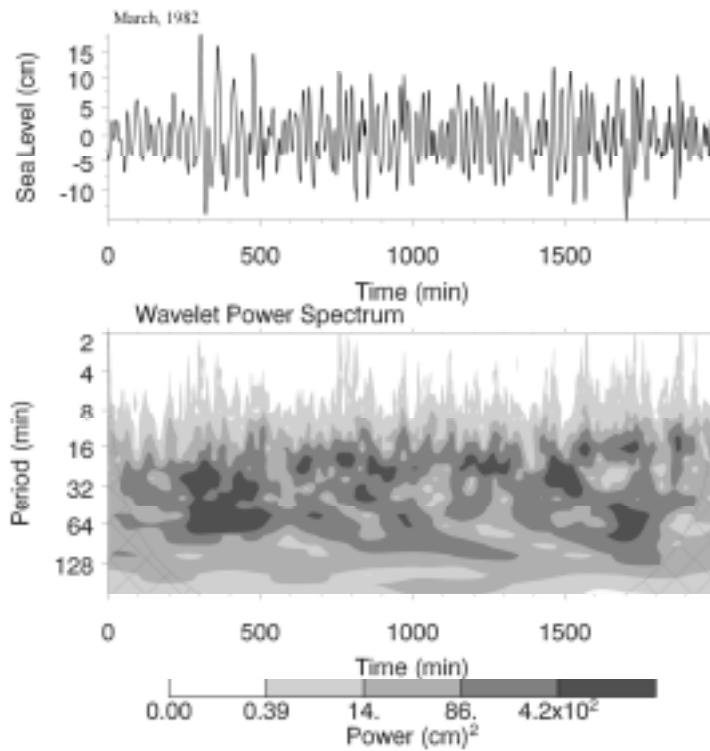


Figura 7. Panel superior: Nivel del mar filtrado en Quequén (0 min. corresponde al 25/03 09:00). Panel inferior: Evolución temporal del espectro ("wavelets").

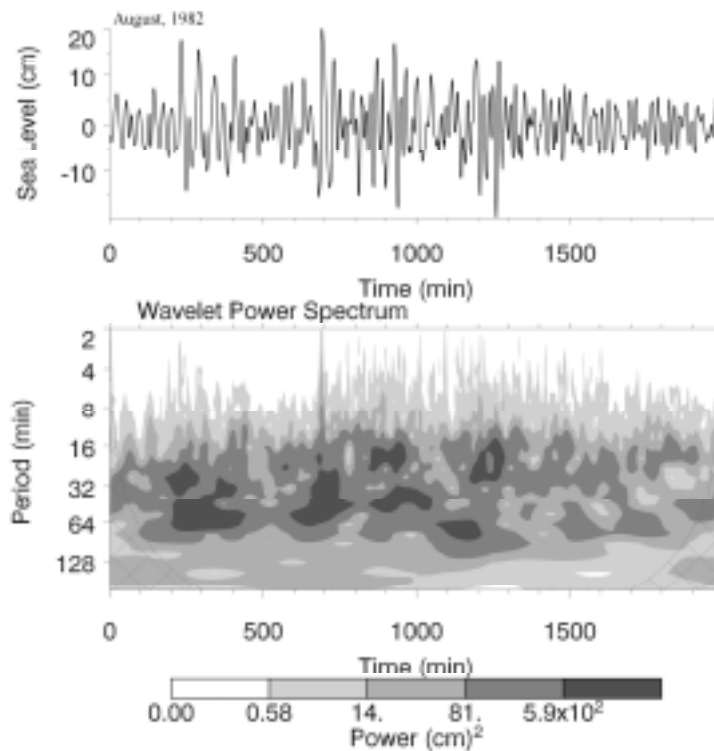


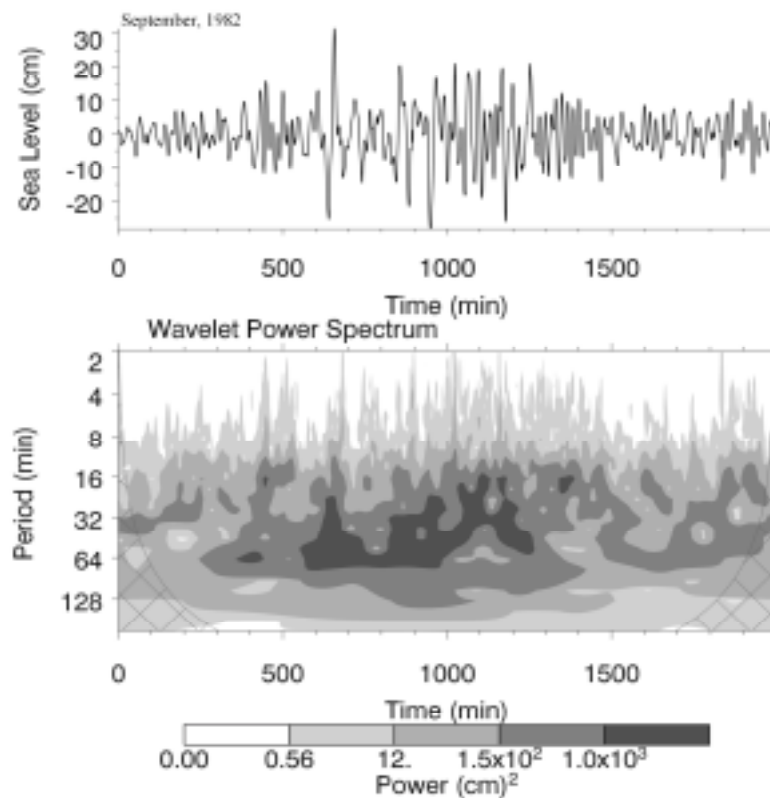
Figura 8. Panel superior: Nivel del mar filtrado en Quequén (0 min. corresponde al 29/08 06:00). Panel inferior: Evolución temporal del espectro ("wavelets").



El evento de marzo (Figura 7) fue el que presentó mayor duración (aproximadamente 1500 min.) y el que presentó una actividad de alta frecuencia (“seiches”) más variable. El inicio del evento corresponde al día 25/03, 09:00. Entre 600 y 1600 minutos, el espectro se distribuye irregularmente entre 15 y 30 minutos.

El espectro de energía para el evento de agosto (Figura 8) presenta una actividad claramente intermitente. Inicialmente entre 200 y 400 min. y entre 600 y 750 min. la energía se distribuye entre 20 y 75 min., aproximadamente. Luego, entre 850 y 1000 min. se encuentran los períodos de baja frecuencia alrededor de 40 y 20 min. Finalmente, entre 1100 y 1300 min. la alta concentración de energía se observa entre los 20 y 60 min., respectivamente.

En la Figura 9 se presenta el espectro de energía de Wavelet para el evento más intenso. En ella se puede observar, un período de actividad intermitente entre los 400 y 1380 min. (0 min. corresponde al 09/09 00:00 h). Además, se observa un episodio de corta intensidad alrededor de los 400 min. y luego un período de actividad irregular entre los 580 y 1380 min. Entre los 580 y 1000 min. la energía espectral se distribuye entre los 75 y 30 min.



**Figura 9.** Panel superior: Nivel del mar filtrado en Quequén (0 min. corresponde al 09/09 00:00). Panel inferior: Evolución temporal del espectro (“wavelets”).

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Se observó que durante los eventos analizados las amplitudes de las seiches en el interior del puerto superaron los 0.5 m con periodicidades comprendidas entre 20 y 60 min. En general se aprecia que estos eventos tienen una duración aproximada de un día y que la energía de las perturbaciones aparece intermitentemente en los registros, espectros y wavelets. Los resultados obtenidos en este

**VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria. Seminario Latinoamericano “Desarrollo Sustentable de la Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América Latina”**

trabajo indican que las seiches detectadas en Quequén (durante condiciones de pasajes frontales) podrían deberse, principalmente, al ingreso de perturbaciones de alta frecuencia (20 min. A 2 h) generadas por ondas de gravedad atmosféricas en la plataforma continental y, en un grado menor, al ingreso del oleaje a través de la boca del puerto. Asimismo, sobre la base de la comparación de registros históricos del nivel de mar registrados simultáneamente en Puerto Quequén, Mar de Plata (Club de Pescadores), Pinamar y Mar de Ajó se concluye que las perturbaciones de alta frecuencia constituyen un fenómeno regional que afectan una gran extensión de la costa bonaerense.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

Balay, M., (1955). La determinación del nivel medio del Mar Argentino, influencias de las oscilaciones del mar no causadas por la marea. Dir. Gral. de Nav. Hidrog., Min. de Marina, 46pp.

Dragani, W., D’Onofrio, E., Grismeyer, W. and Fiore, M (2009). Atmospherically – induced water oscillation detected in the port of Quequen, Buenos Aires, Argentina. Physics and Chemistry of the Earth. Vol 34. 998-1008 pp.

Dragani, W., Garavento, E., Simionato, Nuñez, M., Martin, P. and Campos, M. (2008). Wave simulation in the outer Rio de la Plata estuary: Evaluation of SWAN model Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 134. 299 – 305 pp.

Dragani, W.C., (1997). Una explicación del proceso físico generador de ondas de largo período en la costa bonaerense argentina. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 222pp.

Inman, D., Munk, W., Balay, M., (1962). Spectra of low frequency ocean waves along the Argentine shelf. Deep-Sea Research 8, 155–164.

Lanfredi, N.W., (1972). Resultados de mediciones directas de corrientes en el Atlántico Sudoccidental. Rep.H-650/2, Departamento de Oceanografía. Servicio de Hidrografía. Naval. Buenos Aires, 107pp.

Lanfredi, N.W., Capurro, L., (1971). Resultados de mediciones directas de corrientes en el Atlántico Sudoccidental. Rep. H-650/1, Departamento de Oceanografía. Servicio de Hidrografía Naval. Buenos Aires, 109pp.

Vara, C.D., Mazio, C.A., D’Onofrio, E.E., Weichelbaun, M.L.D., (1977). Oscilaciones de largo período en el área de Punta Médanos, Parte I. Tech. Rep. 11, Departamento de Oceanografía. Servicio de Hidrografía Naval. Buenos Aires, 24pp.

Vara, C.D., Mazio, C.A., (1982). Espectro de ondas largas en Pinamar. Tech. Rep. 54, Departamento de Oceanografía. Servicio de Hidrografía Naval Buenos Aires, 39pp.