

## **Propagación de la marea en la zona de Islas Malvinas y Namuncurá/Banco Burdwood**

*Propagation of the tide in the Malvinas Islands and Namuncurá / Burdwood Bank area*

LUCIANO BANEGAS, FERNANDO A. OREIRO, MARÍA F. CANERO Y MÓNICA M. E. FIORE

Escuela de Ciencias del Mar, Universidad de la Defensa Nacional, Argentina. Servicio de Hidrografía Naval, Ministerio de Defensa, Argentina. Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina

*Se utiliza el modelo hidrodinámico Advanced Circulation Model (ADCIRC) en Islas Malvinas y la región Namuncurá / Banco Burdwood con el propósito de obtener un estudio detallado de la propagación de marea. Se efectúa el análisis armónico de las series de alturas modeladas, para obtener las amplitudes y fases de las 8 ondas componentes de marea predominantes en la zona (M2, S2, N2, K2, O1, K1, P1, Q1) en una grilla regular de 500m de lado, e identificar los regímenes de marea presentes. Se obtiene que la onda con mayor amplitud de marea es la componente M2, con un máximo de 1.1 m. Se detecta en algunas de las ondas semidiurnas la presencia de anfídromos al Sur del*

*Estrecho San Carlos. Por otra parte, se confirmó que la onda de marea tiene mayor velocidad al este de las Islas Malvinas, y se ralentiza en la zona de Namuncurá/Banco Burdwood. Se identificaron los 4 regímenes de marea en la zona, debido a la presencia de anfídomos en las ondas semidiurnas. El RSS misfit entre las amplitudes y fases modeladas, y las obtenidas de observaciones de datos altimétricos y el mareógrafo radar de puerto argentino es inferior a 3 cm, mientras que, si se calcula utilizando predicciones de la zona, obtenidos del Servicio de Hidrografía Británico, asciende a 11cm. Los resultados obtenidos permiten disponer de una herramienta con la cual es posible efectuar predicciones de marea para el instante deseado, tanto en regiones de altamar, como dentro de los canales de las islas.*

## **1. Introducción**

La zona del Atlántico Sur que comprende a las Islas Malvinas y Namuncurá/Banco Burdwood es una región con condiciones climáticas adversas, con vientos fuertes que afectan a la navegación (SHN, 2017) y limitan la obtención de datos oceanográficos y biológicos. A estos factores debemos sumar la compleja dinámica de marea descrita por Glorioso et al. (1995). En general, el grado de dificultad para describir los procesos físicos que se dan en el océano está directamente relacionado con la distribución espacial y la cantidad de mediciones que se tengan de dicha región, así como también con las características de la línea de costa y la batimetría asociada (Nielsen, 2009). El sector de Islas Malvinas y Namuncurá/Banco Burdwood es una zona que se caracteriza por tener tanto una línea de costa como una batimetría compleja y la presencia de una gran cantidad de canales e islas menores.

El único sitio en toda la región que cuenta con un registro de la altura del nivel del mar lo suficientemente largo y de

acceso público como para estudiar a la marea en forma precisa pertenece a Puerto Argentino. En consecuencia, para estudiar en detalle la propagación de la marea, se debe recurrir a la utilización de modelos numéricos.

Los primeros modelos globales de marea fueron empíricos y se construyeron mediante la extrapolación de las constantes armónicas de marea calculadas a partir del análisis de observaciones de mareógrafos (Merchán, 2011). El problema de estos modelos es la escasez de observaciones lejos de la costa, su distribución irregular y el emplazamiento singular de los mareógrafos.

En las últimas décadas, se han desarrollado modelos globales de marea que incorporan observaciones altimétricas y permiten así conocer las amplitudes y fases de las ondas componentes en todo el mundo (Lyard et al., 2006). Esta información hace que sea posible obtener cartas de líneas cotidales e isoamplitudes y los diferentes tipos de regímenes de marea para cualquier área que se desee estudiar.

Para la región de Islas Malvinas y Namuncurá/Banco Burdwood se analizaron los modelos globales Goddard Ocean Tide model GOT4.7 (Ray et al., 2011), el modelo inverso de marea TPXO9-Atlas (Egbert et al., 2002), el Finite Element Solution tide model FES2014b (Carrere et al., 2015), el Empirical Ocean Tide model EOT11a (Savcenko y Bosch, 2012) y el Atlantic Ocean ATLAS, que es un modelo de marea regional que cubre el Océano Atlántico (AO-ATLAS-2011). A pesar de la amplia información que proveen, en algunos casos los modelos carecen de la resolución necesaria para determinar las componentes armónicas en regiones próximas a la costa. Esta imprecisión está vinculada a la batimetría, a la línea de costa, y a la compleja interacción de las diferentes ondas (De Azkue, 2017; Oreiro, 2014). La escasez de datos y la compleja batimetría y línea de costa de la región hacen que la implementación de un modelo hidrodinámico de alta resolución se vuelva una herramienta fundamental para

estudiar la propagación de la marea en el área. El modelo numérico Advanced Circulation model ADCIRC-2DDI, desarrollado por Westerink et al. (1994) y Luettich et al. (1992) elegido para este fin, es un modelo que resuelve las ecuaciones de continuidad y de momento para un sistema de aguas someras, y describe el comportamiento de la marea.

Una forma de analizar los resultados de este modelo y poder visualizar la dinámica de la marea es a partir de las cartas de líneas cotidales y de isoamplitudes de las ondas componentes, así como de los regímenes de marea que se encuentren en el área (diurno, semidiurno o mixto). Las cartas cotidales y de isoamplitudes son mapas de isolíneas que se realizan para cada onda componente de la marea. La carta cotidal muestra el avance de la onda que se está analizando y cada isolínea representa la región en donde ocurre al mismo tiempo la pleamar, bajamar o cualquier altura intermedia. La carta de isoamplitudes muestra la amplitud de la onda de marea que se esté analizando y las isolíneas indican las zonas en donde la amplitud de la onda es la misma.

El objetivo de este trabajo es estudiar la propagación de la marea en la zona de Islas Malvinas y Namuncurá/Banco Burdwood a través de cartas de líneas cotidales y de isoamplitudes de las ocho principales ondas de marea (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1), obtenidas utilizando los resultados de la implementación del modelo hidrodinámico ADCIRC en la región. Además, se busca identificar la presencia de anfídomos (posiciones con amplitud nula) para cada una de las respectivas ondas y determinar los regímenes de marea de la zona.

## **2. Área de estudio**

La zona del Atlántico Sur elegida para estudiar la propagación de la marea, Islas Malvinas y Namuncurá/Banco Burdwood es de importancia estratégica no solo para la soberanía argentina, sino también para el manejo,

explotación y protección de los recursos naturales. Las Islas Malvinas están ubicadas en la parte sudoccidental del océano Atlántico y emergen a 550 km de la costa patagónica a la latitud de Río Gallegos. Se hallan comprendidas entre las latitudes  $51^{\circ}00'00''\text{S}$  y  $52^{\circ}30'00''\text{S}$  y entre las longitudes  $57^{\circ}30'00''\text{W}$  y  $61^{\circ}30'00''\text{W}$ . El archipiélago está formado por dos islas mayores: Gran Malvina y Soledad, y por un grupo de más de 200 islas menores e islotes (Figura 1). El grupo entero cubre una superficie de 11.410 kilómetros cuadrados asentados dentro de la plataforma continental argentina (IGN, 2020).

Namuncurá/Banco Burdwood es una meseta submarina ubicada a unos 150 km al este de la Isla de los Estados y 160 km al sur de las Islas Malvinas. La profundidad mínima en la meseta es de 50 m; en contraste con las aguas circundantes que superan los 3000 m (Figura 1). El 1° de agosto de 2013 fue promulgada la Ley 26.875 que declara a Namuncurá/Banco Burdwood área marina protegida.

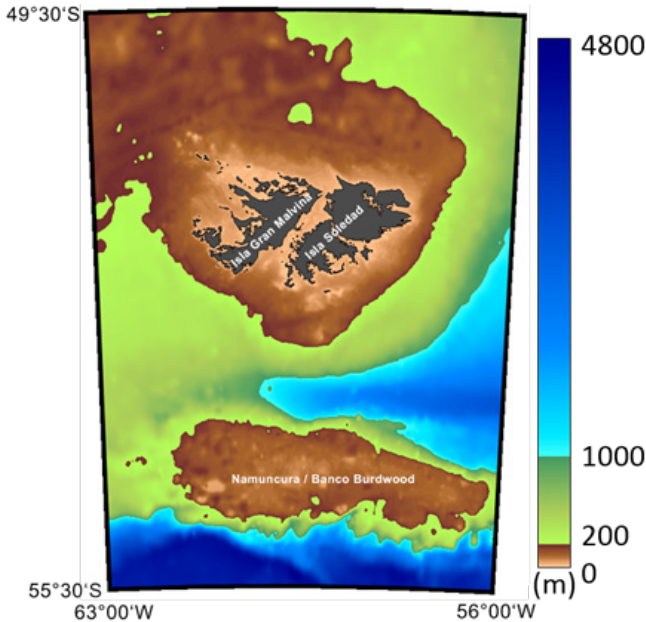
En la región, sólo hay disponibles mediciones de marea en Puerto Argentino, obtenidas con un mareógrafo radar. En el resto de las ubicaciones de las que se dispone información sobre la costa, distribuidas alrededor de las islas, solo se cuenta con predicciones de marea publicadas en H-610 Tablas de Marea, por el Servicio de Hidrografía Naval Argentino (SHN, 2020), y por United Kingdom Hydrographic Office (UKHO) en el sitio web <http://www.ukho.gov.uk/easytide/EasyTide/>.

Otra fuente de información es la proveniente de las misiones altimétricas satelitales Topex/Poseidon (T/P), Jason1 (J1), Jason2 (J2) y Jason3 (J3) publicados por Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic (AVISO), de las que solo se dispone de información de altura del agua sobre las trazas de los altímetros y hasta 10km de la costa (Lyard et al., 2006).

La batimetría de la zona, que se utiliza en las corridas del modelo (Figura1), fue extraída del modelo batimétrico de alta resolución (500m x 500m) desarrollado por Dato (2017).

## FIGURA 1

*Representación de la línea de costa y batimetría de la zona, utilizada en la corrida del modelo ADCIRC.*



### 3. Metodología

El modelo ADCIRC ha sido descrito en numerosas publicaciones (Luetlich et al., 1992; Dawson et al., 2006; Westerink et al., 2008) en los cuales se detalla su formulación y parametrización. En este trabajo, se utilizan los resultados obtenidos con la versión bidimensional del modelo hidrodinámico, barotrópico integrado en la vertical, que simula las condiciones del océano bajo aproximaciones para aguas poco profundas.

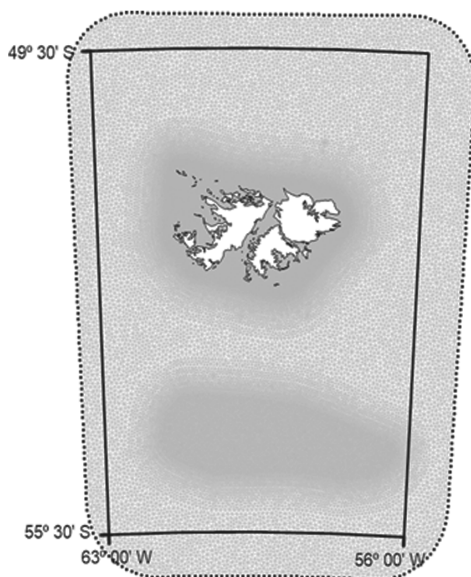
El modelo obtiene la elevación de la superficie del mar a partir de la solución de la ecuación de continuidad integrada en profundidad, y utiliza el método de elementos finitos y de diferencias finitas que permite un alto grado de flexibilidad

en el análisis y el uso de grillas no estructuradas. Este tipo de discretización tiene la ventaja de poder utilizar grillas con una mayor resolución en la zona costera o donde se requiera mayor información, como es el caso de Namuncurá/Banco Burdwood.

En la Figura 2 se muestra en línea punteada los bordes en los cuales se fuerza con marea el modelo, y los triángulos que componen la grilla de 182.774 nodos, que es donde se resuelven las ecuaciones hidrodinámicas. El dominio de trabajo y donde se muestran los resultados de las amplitudes y fases de las componentes de marea está delimitado por la línea negra. Los lados de los triángulos varían entre 500 m para la zona costera y para el área que comprende a Namuncurá/Banco Burdwood, e incrementan su tamaño hasta llegar a 8 km en el límite exterior.

## FIGURA 2

*Zona de estudio (línea llena negra), límites donde el modelo es forzado (línea punteada) y triángulos que componen el grillado del dominio (línea llena gris).*



En este trabajo, se presentan los resultados de las 8 ondas principales de marea de la región (M2, S2, N2, K2, O1, K1, P1, Q1) obtenidas de una corrida del modelo ADCIRC correspondiente a 400 días con un paso de tiempo de 5 seg. Los bordes abiertos del dominio fueron forzados con marea astronómica del área, obtenida a partir de amplitudes y fases de las ondas componentes de marea provenientes de análisis armónicos de datos de altimetría satelital y del modelo global FES2014b, por ser el que presentó una mejor coincidencia con las constantes obtenidas de las observaciones altimétricas.

A partir de las series de marea de cada punto de la grilla, se procede a efectuar el análisis armónico de cada una, y se analizan las amplitudes y fases de las 8 ondas más importantes en la región, para cada uno de los 182.774 puntos presentes en el dominio modelado. Se utiliza una proyección cilíndrica conforme que permite trabajar con la información provista en coordenadas planas, y luego se procede a realizar la interpolación de las amplitudes y fases obtenidas utilizando el método de Kriging, en una grilla regular con una resolución de 500 m de lado. Luego, utilizando las amplitudes y fases interpoladas para cada nodo de la grilla regular, se calculan las cartas cotidales y de isoamplitudes, que permiten visualizar los resultados obtenidos.

Además de las cartas cotidales, se calculan los regímenes de marea para toda la zona de estudio, utilizando las grillas de amplitudes de las ondas M2, S2, O1 y K1. La clasificación de la marea en distintos regímenes está dada por el criterio de Courtier, (Courtier, 1938), cuyo cálculo está definido por la ecuación:

$$F = \frac{\text{Amplitud O1} + \text{Amplitud K1}}{\text{Amplitud M2} + \text{Amplitud S2}}$$

Courtier establece cuatro regímenes de marea posibles a partir de los valores de F obtenidos:

- $F < 0.25$  Régimen semidiurno, con dos pleamares



y dos bajamares diarias.

-  $0.25 \leq F < 1.5 R$  Régimen mixto preponderantemente semidiurno. Generalmente, hay dos pleamares y dos bajamares, y se detecta desigualdad diurna.

-  $1.5 \leq F < 3 R$  Régimen mixto preponderantemente diurno. Generalmente, hay una pleamar y una bajamar y se detecta desigualdad diurna.

-  $F \geq 3 R$  Régimen diurno, con una pleamar y una bajamar diarias

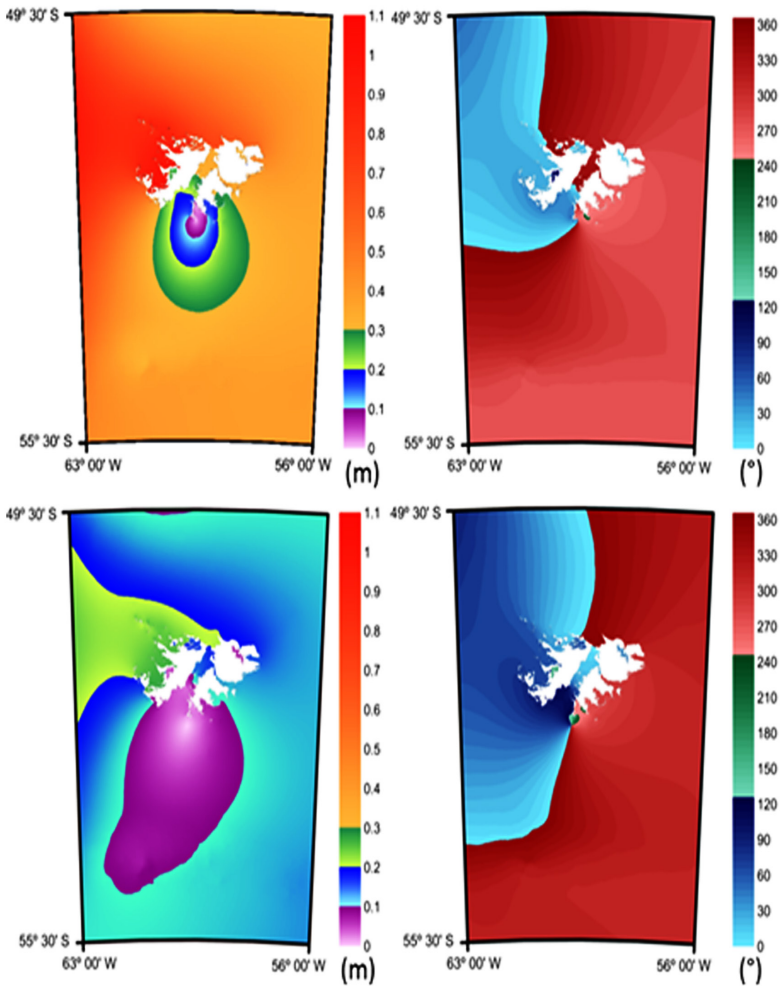
#### 4. Resultados

Se presentan los resultados de amplitudes y fases de las 8 ondas dominantes en la región. Para ello se utiliza una única barra de colores para las amplitudes y otra para las fases, de manera tal que pueda efectuarse una comparación visual entre las distintas imágenes. Las Figuras 3 y 4 muestran las amplitudes y fases de las componentes semidiurnas, mientras que las Figuras 5 y 6 las de las componentes diurnas.

### FIGURA 3

*Ondas Semidiurnas (M2, S2, N2 y K2)*

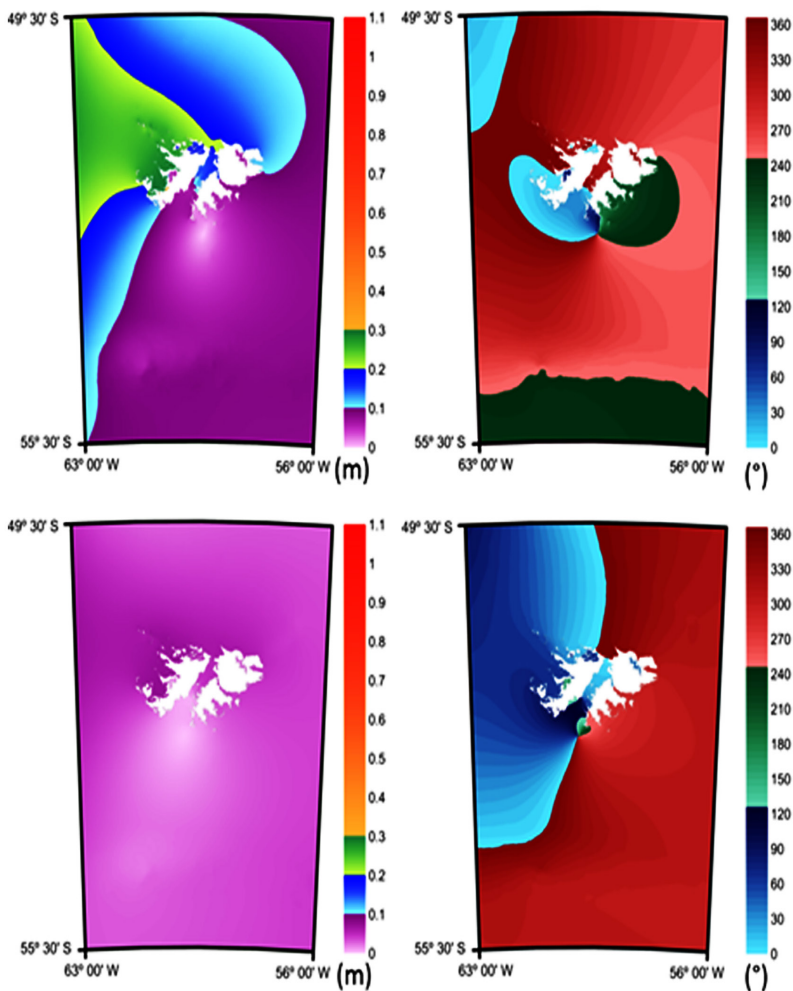
*Cartas de cotidales y de Isoamplitudes. Onda M2 Amplitud (izq. sup.), Fase (der. sup.), Onda S2 Amplitud (izq. inf.), Fase (der. inf.).*



### FIGURA 4

*Ondas Semidiurnas (M2, S2, N2 y K2)*

*Cartas de cotidales y de Isoamplitudes. Onda N2 Amplitud (izq. sup.), Fase (der. sup.), Onda K2 Amplitud (izq. inf.), Fase (der. inf.).*



En el caso de las cuatro ondas semidiurnas analizadas, se observa que el máximo valor de las amplitudes se encuentra al oeste de la isla Gran Malvina. La amplitud máxima es para la onda M2 y alcanza 1.1 m de altura. Las ondas que mayor amplitud presentan son la M2, S2 y N2, que en algunas regiones superan los 0.2 m de amplitud, mientras que la onda K2 no supera los 0.1 m en ningún punto del dominio.

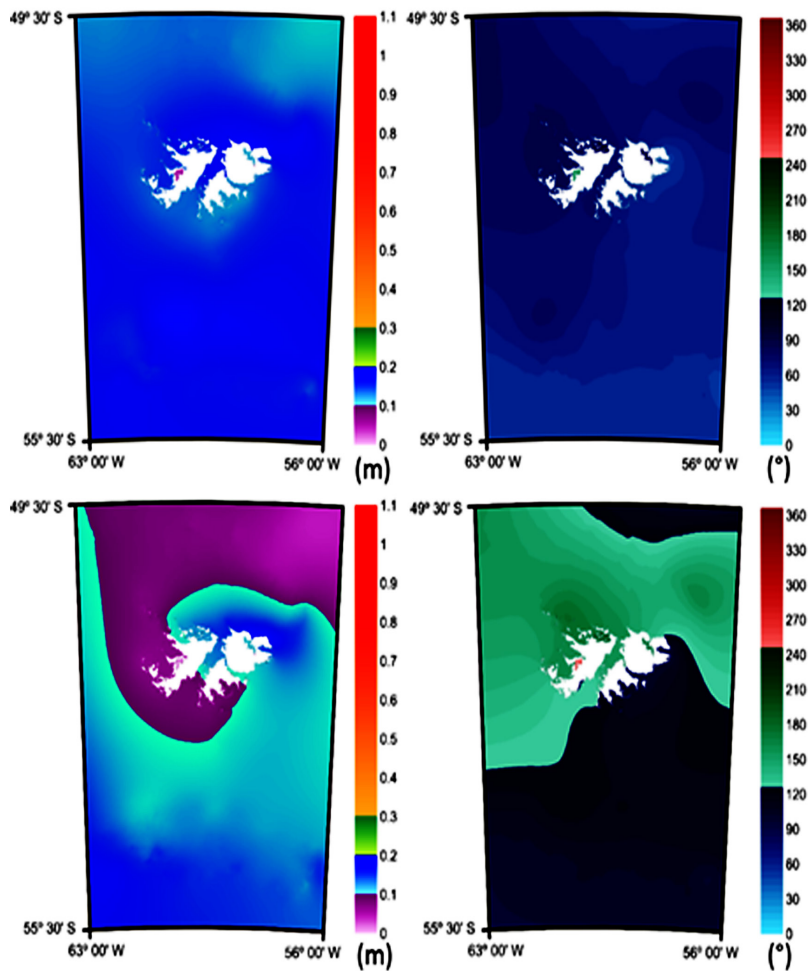
Los diagramas de cotidales (fases) muestran en todos los casos un avance de cada onda desde el sur hacia el norte, y se ve una componente desde el este hacia el oeste, que adopta de esta forma un curso hacia el continente. La componente M2 muestra que la onda en su avance desde el sur, al encontrarse con el Banco y la plataforma continental, se ralentiza. Esto se identifica al observar la densificación de las isolíneas de fase. Por otro lado, en la región este donde la profundidad es mayor, la onda propaga rápidamente e ingresa por el norte, y por la región ubicada entre el Banco y las Islas, y se encuentra con la onda que atravesó las regiones más someras.

Existen puntos anfidrómicos para las ondas S2, N2 y K2 al Sur del estrecho San Carlos, y esto puede apreciarse en los diagramas de fases, donde convergen los tres colores. Por su parte, si bien la onda M2 no muestra clara convergencia de fases, por lo que no puede afirmarse que haya un punto anfidrómico en dicha región, la amplitud en esa área es inferior a las 5cm.

## FIGURA 5

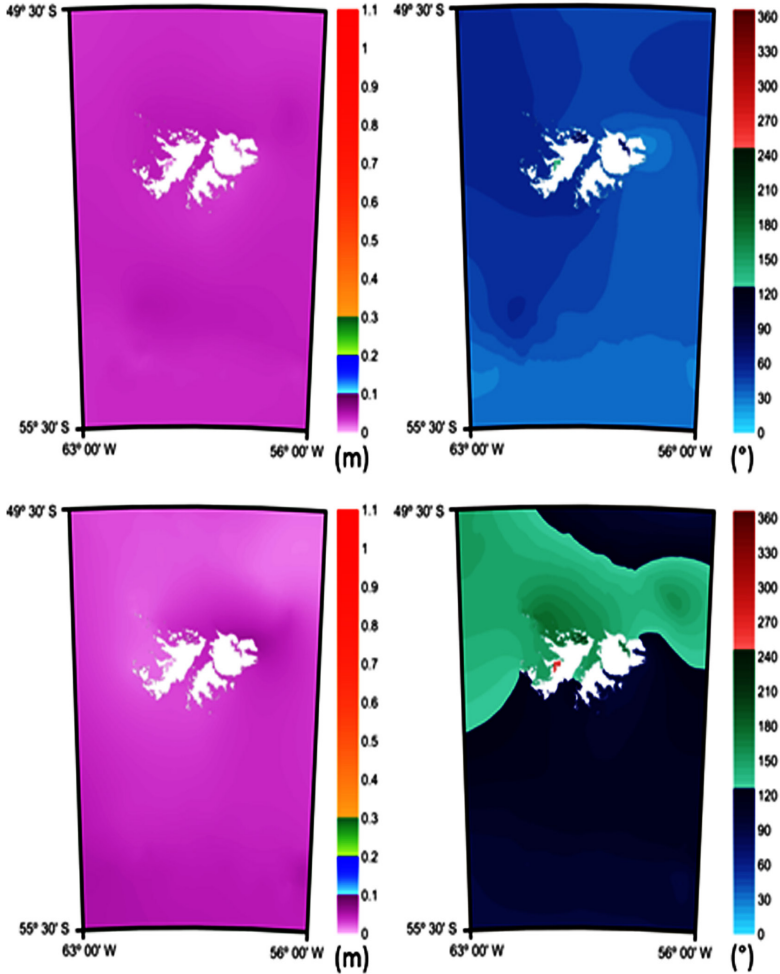
Ondas diurnas (O1, K1, Q1 y P1)

Cartas de cotidales y de Isoamplitudes. Onda O1 Amplitud (izq. sup.), Fase (der. sup.), Onda K1 Amplitud (izq. inf.) Fase (der. inf.).



## FIGURA 6

*Cartas de cotidales y de Isoamplitudes. Onda Q1 Amplitud (izq sup) Fase (der sup), Onda P1 Amplitud (izq inf) Fase (der inf).*



Las ondas diurnas presentan amplitudes que no superan los 0.2 m, para ninguna de las cuatro ondas analizadas. Se

observa, en todos los casos, un máximo relativo al norte de la isla Soledad, y en la porción norte del Estrecho San Carlos.

Las fases presentan valores con menos variación en comparación a las ondas semidiurnas. Sin embargo, se detecta en las cotidales que hay predominio sur-norte en el avance de la onda. Se encontró que estas ondas también presentan un avance en la dirección zonal hacia el continente, tanto al norte como en el sur de las islas.

Por otra parte, en ninguno de los cuatro casos se encontraron indicios de la existencia de puntos anfidrómicos como en el caso de ondas semidiurnas.

La Tabla 1 muestra el Root Mean Square misfit (RMS misfit) para las ondas M2, S2, O1 y K1, y el Root Sum Square misfit (RSS misfit), obtenido al comparar los resultados del modelo ADCIRC con las constantes armónicas obtenidas de predicciones, altimetría satelital y el mareógrafo radar ubicado en Puerto Argentino. Los RSS misift encontrados al realizar la comparación con datos observados (altimetría y mareógrafo radar) son inferiores a los 3 cm, mientras que las diferencias con predicciones son de 11 cm.

**TABLA 1**

*Estadísticos RMS y RSS misfit para zona de puertos y alta mar para las cuatro ondas principales.*

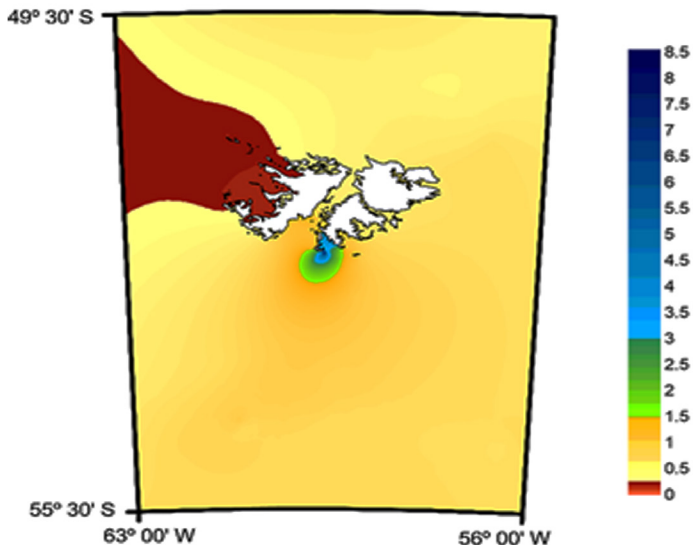
	RMS misfit		
	Predicciones	Alta Mar	Radar
M2	0.087	0.017	0.02
S2	0.04	0.006	0.006
O1	0.04	0.015	0.013
K1	0.036	0.013	0.014
RSS	0.11	0.027	0.029

## 5. Régimen de marea

El régimen de marea obtenido a partir de las cartas de isoamplitudes de las ondas M2, S2, O1 y K1, muestra que en la zona coexisten los cuatro regímenes de marea propuestos (Figura 7). El régimen dominante es mixto, preponderantemente semidiurno, y en el oeste de la Isla Gran Malvina se identifica el régimen semidiurno, coincidente con la región de máxima amplitud de las ondas semidiurnas. En una región muy pequeña del dominio, al sur de la Isla Soledad, se identifican los regímenes mixto preponderantemente diurno y diurno, probablemente debido a que en esta área se encuentran los puntos anfodrómicos de las ondas S2, N2 y K2, y las menores amplitudes de las ondas semidiurnas.

### FIGURA 7

*Régimen de marea en el área de estudio. En rojo se muestra el régimen semidiurno, en amarillo el mixto semidiurno, en verde el mixto diurno, y en azul el diurno.*





## 6. Conclusiones

La propagación de la marea en el área comprendida por las Islas Malvinas y Namuncurá/Banco Burdwood pudo describirse satisfactoriamente a partir de los resultados obtenidos con el modelo hidrodinámico ADCIRC, de acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 1. Como era de esperar, debido a la ubicación geográfica, a la compleja batimetría y a la irregularidad de la línea de costa la marea en la zona, muestra un patrón de propagación complejo. La componente de marea predominante en la zona es la M2, cuyo máximo está localizado al oeste de la isla Gran Malvina con amplitud de 1.1 m. Existe un mínimo de aproximadamente 0.01 m de amplitud al sur del estrecho San Carlos, pero no se detecta la presencia de un anfídromo en las fases de esta onda. Las otras tres ondas semidiurnas estudiadas tienen amplitudes menores en comparación a la M2, y existen anfídromos para cada onda, cuya posición se mantiene al sur del Estrecho San Carlos.

En el oeste de la isla Gran Malvina, se detectan las máximas amplitudes de todas las ondas. Lo contrario sucede en el sur del Estrecho San Carlos y sudeste de la isla Gran Malvina, donde en todas las ondas semidiurnas presentan las mínimas amplitudes de marea.

En los diagramas de las fases de ondas semidiurnas, se ve que existe un avance de la onda de marea desde el sur. En la región este del dominio, como hay mayores profundidades, la onda de marea viaja a mayor velocidad y luego vira hacia el oeste, para ingresar a la plataforma continental. En la región oeste del dominio, se observa que la onda de marea se ve ralentizada por la presencia del banco Namuncurá/Burdwood.

En cuanto a las ondas diurnas, se aprecia que las amplitudes son menores que en el caso de las ondas semidiurnas y no se detectan los máximos al oeste de la isla Gran Malvina como ocurre al analizar las ondas semidiurnas. Los mínimos se localizan al sur, y oeste de las islas, mientras que en el norte

del dominio hay otro mínimo de amplitud que apenas alcanza los 0.1 m para la onda O1. Los máximos, para las cuatro ondas diurnas analizadas, se localizan al norte de la Isla Soledad, y al sudoeste del dominio. Los diagramas de fases no representan tan claramente el avance de la onda, como sucede en el caso de los diagramas para ondas semidiurnas. Sin embargo, puede identificarse un avance del frente de ondas desde el sur. Por último, no se detectaron puntos anfdrómicos para ninguna de las ondas diurnas analizadas.

En el área de estudio, se identificaron los cuatro regímenes de marea, como consecuencia de la variación de la amplitud de las cuatro ondas semidiurnas, y la presencia de anfdromos al sur de la Isla Soledad.

Mediante este estudio, se pudieron obtener las amplitudes y fases de las principales ondas de marea para toda la región de Islas Malvinas y Namuncurá/Burdwood con una resolución espacial de 500 m. Esto otorga la herramienta principal con la cual es posible efectuar predicciones de marea para el instante deseado, tanto en regiones de altamar como dentro de los canales de las islas.

## Referencias bibliográficas

- Carrere, L., Lyard, F., Cancet, M., & Guillot, A. (2015). FES 2014, a new tidal model on the global ocean with enhanced accuracy in shallow seas and in the Arctic region. In EGU general assembly conference abstracts (Vol. 17).
- Courtier, A. M. (1938). *Marées*. Service Hydrographique de la Marine.
- Dato, J. (2017). Generación de un modelo digital batimétrico de alta resolución para la plataforma continental argentina utilizando información de cartas náuticas y modelos batimétricos globales. Tesis de grado, Departamento de Agrimensura, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Dawson, C., J. J. Westerink, J. C. Feyen, and D. Pothina (2006). Continuous, discontinuous and coupled discontinuous–continuous Galerkin finite element methods for the shallow water equations, *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 52(1), 63–88.
- De Azkue, F. (2017). Caracterización de la marea en el Atlántico Sudoccidental utilizando datos de altimetría satelital y su comparación con soluciones de modelación numérica. Tesis de Licenciatura en Oceanografía, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (2002). Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 19(2), 183-204.
- Glorioso, P. D., and R. A. Flather (1995), A barotropic model of the currents off SE South America, *J. Geophys. Res.*, 100(C7), 13,427 – 13,440.
- IGN, Instituto Geográfico Nacional, Argentina, fecha de última consulta: 15/05/2020 (<https://www.ign.gob>).

ar/NuestrasActividades/Geografia/DatosArgentina/  
ToponimiaMalvina).

- Luettich, J. J. Westerink, and N. W. Scheffner. (1992). ADCIRC: An Advanced Three-Dimensional Circulation Model For Shelves, Coasts, and Estuaries, Report 2, User's Manual for ADCIRC-2DDI. Technical Report DRP-92-6, US Army Corps of Engineers, 166 pp.
- Lyard F., Lefevre F., Letellier T. and Francis O., (2006). Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. *Ocean Dynamics* 56: 394–415 DOI 10.1007/s10236-006-0086-x.
- Merchán, M.T.B. (2011). Estudio Metodológico del efecto oceánico indirecto y desarrollo de modelos de carga oceánica: aplicaciones geodésicas para la península ibérica y Canarias. Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Complutense de Madrid.
- Nielsen, P. (2009). Coastal and estuarine processes (Vol. 29). World Scientific Publishing Company.
- Oreiro, F. A., D'Onofrio, E., Grismeyer, W., Fiore, M., & Saraceno, M. (2014). Comparison of tide model outputs for the northern region of the Antarctic Peninsula using satellite altimeters and tide gauge data. *Polar Science*, 8(1), 10-23.
- Ray, R. D., Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (2011). Tide predictions in shelf and coastal waters: Status and prospects. In *Coastal altimetry* (pp. 191-216). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Savcenko R, Bosch W. (2012). EOT11a – Empirical Ocean Tide Model from Multi-Mission Satellite Altimetry. Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI) Alfons-Goppel-Str. 11, D-80539 München, Germany 2012.
- SHN. (2020). Tablas de Marea. H-610, Servicio de Hidrografía Naval. 468pp.
- SHN. (2017). Derrotero Argentino. Parte III, Archipiélago Fueguino. Islas Malvinas. H-203, Servicio de Hidrografía

Naval. 6a Edición. 321-415pp.

- Westerink, J.J., Luettich R.A., Blain C.A., Scheffner N.W. (1994). ADCIRC: An Advanced Three-Dimensional Circulation Model for Shelves, Coasts and Estuaries; Report 2: User's Manual for ADCIRC-2DDI. Department of the Army, US Army Corps of Engineers, Washington D.C., January 1994.
- Westerink, J. J., Luettich R. A., Feyen J. C., Atkinson J. H., Dawson C., Roberts H. J., Powell M. D., Dunion J. P., Kubatko E. J., and Pourtaheri H. (2008). A basin- to channel-scale unstructured grid hurricane storm surge model applied to southern Louisiana, Mon. Weather Rev., 136(3), 833–864.

## **Agradecimientos**

*El presente trabajo fue desarrollado en el marco del Programa de Investigación y Desarrollo para la Defensa (PIDDEF), Proyecto PIDDEF 06/16 del cual participan todos los autores.*

**Palabras clave:** *Islas Malvinas – Namuncurá/Banco Burdwood – Marea – cotidales – isoamplitudes – régimen de marea.*

**Keywords:** *Malvinas Islands – Namuncurá / Burdwood Bank – Tide – cotidals – isoamplitudes – tidal regime.*

## **Abstract:**

The Advanced Circulation Model (ADCIRC) is used in Malvinas Islands and Namuncurá/Burdwood Bank in order to obtain a detailed study of tidal propagation. The harmonic analysis of the modelled height series is performed to obtain the amplitudes and epochs of the 8 predominant tidal constituents in the area (M2, S2, N2, K2, O1, K1, P1, Q1) in a regular grid of 500m side, and to identify the tidal regimes present. The M2 constituent presents the highest amplitude and reached 1.1 m. In some of the semidiurnal constituents, amphidromic points were found south of the San Carlos strait. On the other hand, it was confirmed that tides propagate faster eastern of the Malvinas Islands, and slower in the Namuncurá/Burdwood Bank area. The four tidal regimes were identified in the area, due to the presence of amphidromics in the semidiurnal constituents. The RSS misfit between the modelled amplitudes and epochs, and those obtained from observations of altimetric data and Puerto Argentino radar tide gauge is less than 3 cm, while, if calculated using predictions of the area, obtained from de British Hydrographic Office, it amounts to 11 cm. The results obtained provide a tool with which it is possible to make tide predictions for the desired instant, both in offshore regions and within the channels of the islands.