

CIRCULACIÓN RESIDUAL EN LA BAHÍA DE CÁDIZ: ANÁLISIS DE DATOS DE CAMPO Y MODELADO NUMÉRICO

J. Del-Rosal-Salido, C. Zarzuelo-Romero, M. Díez-Minguito, M. Ortega-Sánchez, M. Losada-Rodríguez

*Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales (GDFA). Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía – Universidad de Granada. Avda. del Mediterráneo, s/n. 18006 Granada
jrsalido@ugr.es, zarzueloc@ugr.es, mdiez@ugr.es, miguelos@ugr.es, mlosada@ugr.es*

INTRODUCCIÓN

La Bahía de Cádiz se localiza en el SO de la Península Ibérica (36°23' a 36°37'N, 6°8' a 6°15'W). Está constituida por una Bahía Exterior de 2170 Ha y otra Bahía Interior de 2460 Ha en la que dominan las zonas intermareales. Ambas se encuentran conectadas por el Estrecho de Puntales (Figura 1). Bahía de Cádiz es un estuario dinámicamente corto en términos mareales, bien mezclado, de tipo mesomareal, cuya componente de marea principal es la M_2 (12.42 h). Estacionalmente, en función de los forzamientos, la circulación gravitacional puede variar entre positiva y negativa. Actividades antropogénicas como la navegación, dragados, crecimiento urbano, infraestructuras portuarias y ocupación de los humedales interaccionan con grandes extensiones de áreas protegidas y marismas alterando la evolución del sistema a largo plazo.

Estudios previos analizaron la respuesta en la Bahía ante el forzamiento mareal (Álvarez et al. 2003) y la interacción marea-oleaje (Kagan et al. 2005). Zarzuelo et al. 2015 analizaron la propagación de la onda de marea y el intercambio de masas de agua entre la Bahía exterior e interior y BI mediante observaciones de larga duración en la Bahía de Cádiz. Sin embargo, el estudio de la hidrodinámica estuarina residual, que tiene importancia en la tendencia morfodinámica a medio-largo plazo, aún no ha sido objeto de estudio.

En este trabajo se analiza la influencia del forzamiento atmosférico, mareal y el de los gradientes de densidad en la circulación residual en la Bahía de Cádiz. Para ello se analizan datos de campañas de campo realizadas en la Bahía entre 2012 y 2013 y resultados numéricos del modelo Delft3D.

METODOLOGÍA

Campaña de campo

Para el estudio de la circulación residual se utilizan los datos de la campaña de campo de larga duración realizada a lo largo de la Bahía, en la que se fondearon 13 instrumentos para medir corrientes en la columna de agua, elevaciones, temperatura, salinidad y turbidez durante los meses de noviembre de 2011 hasta abril de 2012. Para caracterizar el intercambio de masas de agua a través del Estrecho de Puntales otra campaña con fondeo de instrumentos fue llevada a cabo entre julio y agosto de 2013.

Modelo numérico

Para complementar y confrontar el análisis de los datos de campo, tanto a escala instantánea como residual, se ha implementado el modelo numérico Delft3D. Se trata de un modelo en diferencias finitas que resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes no estacionarias en aguas someras en las tres direcciones del espacio junto con la ecuación de transporte (resuelta para salinidad y temperatura), la ecuación de estado para el agua de mar (UNESCO, 1981) y un

modelo de cierre turbulento. Dicho modelo ha sido implementado, calibrado y validado en esta zona de estudio haciendo uso de los datos observados. La correlación entre los datos de corrientes modelados y observados es excelente incluso a escala submareal (R^2 y Skill igual o superior a 0.80).

RESULTADOS

Tras forzar el modelo numérico con los principales armónicos de marea para la Bahía de Cádiz se observa que las corrientes residuales debidas a la marea presentan máximos de 10-15 cm/s en la desembocadura del río San Pedro, en la entrada al caño de Carraca y a lo largo del estrecho. Dichas corrientes forman un vórtice en cada uno de los dos sacos de la Bahía con diámetros de 1.5 km para la Bahía externa y 3.0 km para la Bahía interna (Figura 2). En condiciones normales, la circulación residual producida por viento es la dominante en la Bahía con corrientes que pueden alcanzar los 50 cm/s en las zonas del saco interno menos profundas. Cuando el viento procede de las dos direcciones principales en la Bahía (Este y Oeste) el sentido del estuario se alterna entre positivo (viento procedente del Este) y negativo (viento procedente del Oeste). Finalmente, los gradientes de densidad producidos por el intercambio de energía térmica entre el océano y la atmósfera también influyen en la circulación a escala submareal en la Bahía de Cádiz, siendo la radiación de onda corta el mecanismo generador más significativo. Éste da lugar a corrientes máximas en el Estrecho de Puntales que pueden alcanzar los 12 cm/s.

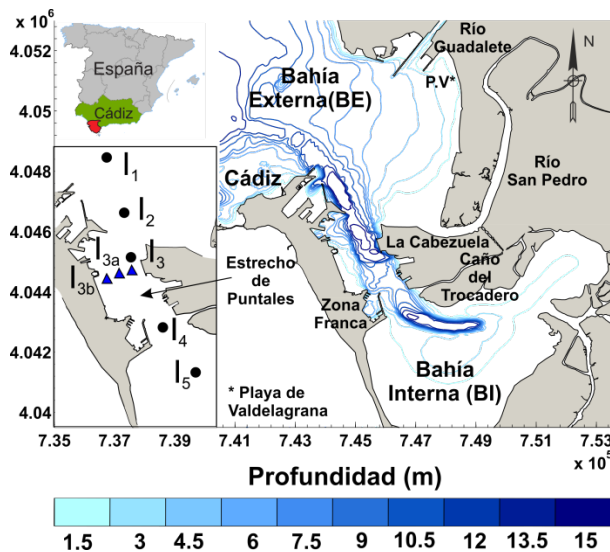


Figura 1. Batimetría de la zona de estudio y localización de los diferentes instrumentos (ADCP, AWAC, CTD y OBS) fondeados en la Bahía de Cádiz durante las campañas de campo.

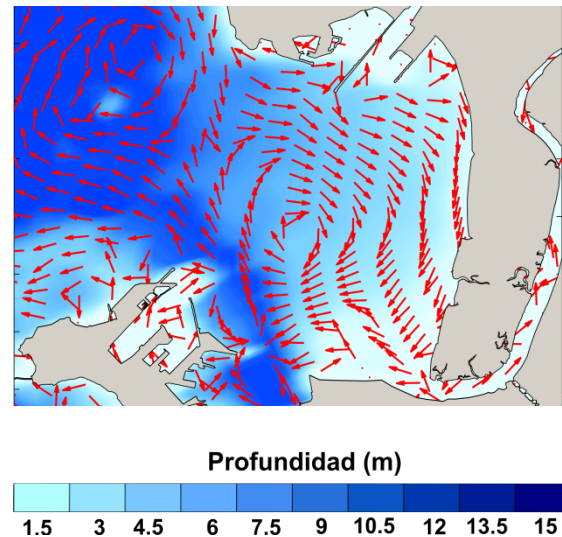


Figura 2. Corrientes residuales asociadas a la marea formando un vórtice de 1.5 km de diámetro en la Bahía de externa debido a los cambios bruscos de la batimetría.

REFERENCIAS

- Alvarez, O., Tejedor, B., Tejedor, L., and Kagan, B. 2003. A note on sea-breeze-induced seasonal variability in the (K1) tidal constants in Cádiz bay, Spain. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58(4):805– 812.
- Kagan, B., Alvarez, O., and Izquierdo, A. 2005. Weak wind-wave/tide interaction over fixed and moveable bottoms: a formulation and some preliminary results. *Continental Shelf Research*, 25(7–8):753 – 773.
- Recent Developments in Physical Oceanographic Modelling: Part II
- Zarzuolo, C., Ortega-Sánchez, M., Díez-Minguito, M., Losada, M.A. 2015. Influence of an artificial constriction on tides and residual flows at the Bay of Cádiz (Spain) (Pendiente)