

MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA HIDRODINÁMICA Y DINÁMICA DE SEDIMENTOS FINOS EN LA BAHÍA DE MONTEVIDEO

Pablo Santoro¹, Mónica Fossati¹, Pablo Tassi², Nicolas Huybrechts⁴,
Damien Pham Van Bang^{2,3} y Ismael Piedra-Cueva¹

¹ Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, IMFIA. Montevideo, Uruguay.

² Saint Venant Laboratory for Hydraulics (EDF R&D – LNHE – LHSV), Chatou, Francia.

³ Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement (CEREMA), Francia.

⁴ Roberval Laboratory, LHN (joint research unit UTC-CETMEF), Compiègne, Francia.

E-mail: psantoro@fing.edu.uy, mfossati@fing.edu.uy, nicolas.huybrechts@cerema.fr, pablo.tassi@edf.fr,
Damien.Pham-van-bang@cerema.fr, ismaelp@fing.edu.uy

Introducción

La Bahía de Montevideo ha jugado un rol fundamental desde los orígenes de la ciudad, siendo en la actualidad el principal puerto de nuestro país y responsable de un importante desarrollo industrial en su entorno. Existe una fuerte demanda por mayores profundidades (cotas de calado) y más espacio para terminales de contenedores, graneleras, pesqueras, polos logísticos; lo que se traduce en la ejecución de diversos tipos de obras de infraestructura portuaria. El estudio de la hidrodinámica y transporte de sedimentos en la Bahía resulta de interés para el propio diseño de este tipo de obras, pero además, es necesario desde el punto de vista ambiental para evaluar el impacto generado por dichas obras. Diversos contaminantes, como los metales pesados, son adsorbidos en la superficie de las partículas de sedimento fino y por tanto transportados junto a los mismos. Comprender los mecanismos de transporte de los sedimentos tiene por tanto influencia directa sobre el transporte de contaminantes y la calidad ambiental de la Bahía. En este sentido como punto de partida se debe contar con una buena caracterización de la hidrodinámica y transporte de sedimentos en la Bahía y a su vez disponer de herramientas necesarias para evaluar su respuesta a las intervenciones antrópicas.

En este trabajo se presenta la implementación de un modelo acoplado corriente - oleaje - transporte de sedimento para el Río de la Plata y con alta resolución espacial en la Bahía de Montevideo. En base a los resultados del modelo se realiza una caracterización de la hidrodinámica y dinámica de sedimentos finos en la Bahía de Montevideo. Se identifican los principales patrones de circulación en la bahía y su vínculo con los forzantes.

Metodología

Se implementó un modelo hidrodinámico y sedimentológico tridimensional para la costa de Montevideo (TELEMAC-MASCARET Modelling System, www.opentelemac.org). Dicha implementación considera las principales características de la dinámica del Río de la Plata, que muestra una variabilidad influenciada por la marea astronómica y los eventos de marea meteorológica. Las primeras con régimen semidiurno con desigualdades diurnas, y las segundas de frecuencia aproximadamente semanal y varios días de duración (Santoro et al., 2013).

El modelo hidrodinámico incluye los módulos de circulación y oleaje que se encuentran acoplados. Ambos fueron calibrados y validados en base a series de niveles, corrientes, salinidad y parámetros de oleaje en diversas estaciones del Río de la Plata y con especial énfasis en la Bahía de Montevideo. Asimismo el modelo de transporte de sedimentos fue calibrado en base a series temporales de concentración de sedimento en suspensión y turbiedad en diversas estaciones del Río de la Plata y la zona costera de Montevideo (Santoro et al., 2016).

Para caracterizar la hidro-sedimentología de la Bahía se simuló un período de tiempo de un año de manera de incluir tanto

eventos de calma dominados por marea astronómica y sin oleaje, como períodos de tormentas de marea meteorológica y fuerte oleaje. Por disponibilidad de condiciones de borde se selecciona el período de tiempo octubre 2014 a setiembre 2015. A partir de estos resultados se realizó una caracterización de las corrientes, sedimentos en suspensión y de las tensiones de corte de fondo generadas por oleaje y corrientes. Se calcularon campos medios, máximos y mínimos en el período simulado. Se utilizó además la técnica de análisis de componentes principales para la identificación de los patrones espaciales relevantes y su vinculación con los principales forzantes (marea astronómica, no astronómica y viento). Se calcularon también los flujos de agua y sedimento a través de las bocas de la bahía (Secciones 1 y 2 en la Figura 1).

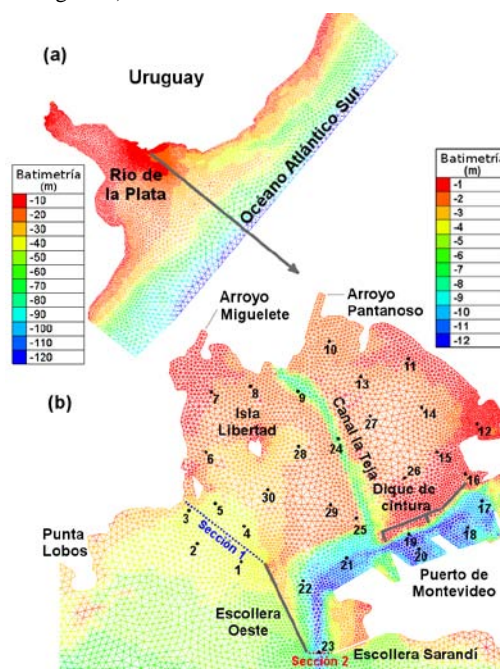


Figura 1.- Malla de cálculo y batimetría del dominio simulado (a).
Detalle en la Bahía de Montevideo (b).

Resultados

La dinámica de sedimentos finos en la zona está dominada por los procesos de erosión de fondo generados por las corrientes de marea y el oleaje. Los valores medios de tensiones inducidas por el oleaje son un orden de magnitud superior a los inducidos por las corrientes y por tanto dominan en las tensiones totales. Las distribuciones espaciales del sedimento en suspensión muestran que en la zona costera de Montevideo existe un valor base de concentración del orden de 10 mg/l mientras que los valores de concentración máxima integrada en vertical son cercanos a 300 mg/l. En la Bahía de Montevideo se obtienen valores de concentración máximos en las bocas de la bahía y decrecientes hacia el interior de la misma.

Se identificaron patrones principales de flujo para las corrientes astronómicas y para las no-astronómicas. La componente astronómica tiene un patrón principal que muestra un ingreso de agua por la boca del canal de acceso y salida por la boca oeste en la fase ascendente de la marea, y en fase descendente de la marea el agua tiende a ingresar por la boca oeste y salir por la boca del canal de acceso.

Para las corrientes no-astronómicas se obtienen dos patrones principales. El primero muestra un flujo de agua que ingresa a la bahía por la boca del canal de acceso, circula a través del antepuerto y canal La Teja y sale de la bahía por la boca oeste. Este patrón se correlaciona con condiciones de viento NE mientras que vientos del SW están asociados a un flujo de agua que tiende a ingresar por la boca oeste y salir por la del canal de acceso (Figura 2). El segundo patrón principal no-astronómico esencialmente describe cómo es la circulación en la zona interior noreste de la bahía. Este patrón muestra que el agua tiende a girar en sentido horario en la zona interior noreste de la bahía para condiciones de viento SE mientras que para condiciones de viento del NW este giro se da en sentido anti-horario (Figura 3).

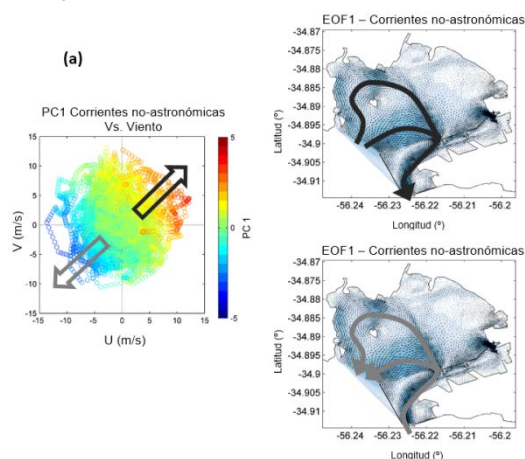


Figura 2.- Nube de puntos de la velocidad del viento cada 6 horas en el período Octubre 2014 – Setiembre 2015 (Reanalysis ERAInterim) en un punto representativo de la Bahía de Montevideo (Izq.). Los colores indican la importancia en cada instante (valor de PC) del patrón espacial de las corrientes no-astronómicas en la bahía que se ve la derecha.

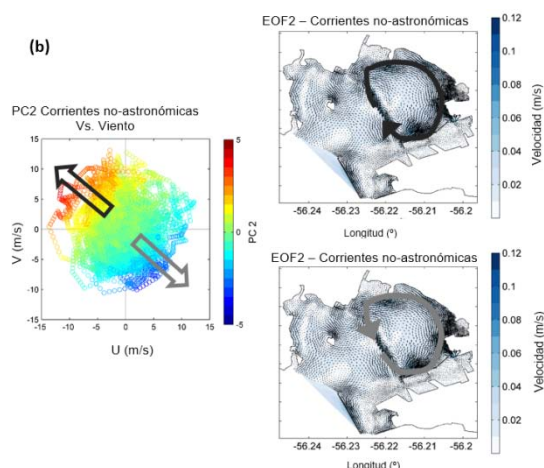


Figura 3.- Análogo al anterior para el segundo patrón espacial más importante.

Como es de esperar el análisis de los flujos de agua y sedimento a través de las bocas de la Bahía muestra tanto flujos entrantes como salientes. No obstante, se observa que durante eventos de marea meteorológica importantes, que duran varios días, el flujo entra permanentemente por una boca (y sale por la otra). Estas ocasiones coinciden generalmente con los mayores valores de flujo, y por lo tanto son las que generan las corrientes máximas

en la Bahía. Asimismo el flujo de sedimento se incrementa sustancialmente durante las tormentas debido a la mayor cantidad de sedimento en suspensión.

Como se resume en la Tabla 1, cuantitativamente los resultados muestran que 40% del tiempo durante el período simulado se tuvo flujo hacia la bahía a través de la boca oeste y hacia afuera por la boca del canal de acceso (denominando Tipo 1), la condición opuesta flujo hacia la bahía por la boca del canal de acceso y hacia afuera por la boca oeste se dio 26% del tiempo (Tipo 2), durante un 18% del tiempo el agua entró a la bahía por ambas bocas (Tipo 3) y un 16% salió por ambas bocas (Tipo 4).

En relación al flujo de sedimento, un 88% del tiempo se tiene un aporte de sedimento hacia dentro de la bahía, y tan solo un 12% hacia fuera. El aporte total (suma de ambas bocas en todas las condiciones de flujo) es de 341 ton hacia dentro de la Bahía. A su vez el neto por la boca oeste indica un ingreso de 358 ton mientras que por la boca del canal de acceso el neto indica una salida de 17 ton.

Un análisis de la evolución temporal de la cota del fondo muestra en general procesos de erosión y deposición en la zona exterior de la Bahía (Figura 4). En la zona intermedia y al fondo de la Bahía únicamente hay deposición, teniendo lugar las mayores tasas durante los eventos de tormenta.

Tabla 1.- Porcentajes de tiempo durante el período simulado en que se dan las cuatro combinaciones posibles de flujo de agua entre ambas bocas de la Bahía.

Flujos de agua (% de tiempo)			
Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
40	26	18	16

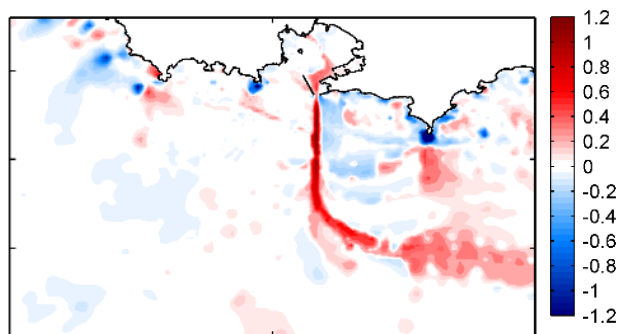


Figura 4:- Evolución del fondo (m) simulada en la zona costera y Bahía de Montevideo durante el período Setiembre 2014 – Octubre 2015.

Conclusiones

El modelo implementado es capaz de reproducir adecuadamente las características principales de la dinámica de sedimentos finos en el estuario y en particular en la zona costera de Montevideo. Permitió realizar una caracterización de la hidrodinámica y dinámica de sedimentos finos en la Bahía de Montevideo. Esta herramienta permitirá estudiar distintos escenarios futuros para el área de estudio, y abordar la modelación de problemas más complejos como es el estudio de la calidad de agua.

Referencias

- Santoro, P., Fossati, M. and Piedra-Cueva, I. (2013). "Study of the meteorological tide in the Río de la Plata". *Continental Shelf Research*, Vol. 60, pp. 51-63.
- Santoro, P., Fossati, M., Tassi, P., Huybrechts, N., Pham Van Bang, D. and Piedra-Cueva, I. (2016). "2D and 3D numerical study of the Montevideo Bay hydrodynamics and fine sediment dynamics", in *Proceedings of the XXIII TELEMAR Users Conference*, París, Francia.