

TRANSPORTE Y DESTINO DE RESIDUOS SÓLIDOS FLOTANTES EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO MATANZA-RIACHUELO

Mariano Re, Pablo E. García, Emilio Lecertua y Ángel N. Menéndez

Laboratorio de Hidráulica, Instituto Nacional del Agua (INA). Au. Ezeiza–Cañuelas, tramo Jorge Newbery Km 1,620, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina. Tel/FAX: (+54 11 44804500 int. 2345).
e-mail: m.re@ina.gob.ar

RESUMEN

La presencia de residuos sólidos flotantes (RSF) en ríos y arroyos urbanos impacta sobre los distintos usos, capacidades hidráulicas, calidad del agua y condiciones estéticas. En la Cuenca Matanza-Riachuelo (CMR), el transporte y destino de RSF puede perjudicar el normal funcionamiento de obras de infraestructura y elementos de observación y control ubicados en cercanías de la desembocadura en el Río de la Plata. En esta zona se encuentra implementado un sistema de limpieza de espejo de agua basado en la ubicación estratégica de barreras de retención. Ante la ocurrencia de precipitaciones significativas, estas barreras pueden colapsar permitiendo movilizar *clusters* de RSF cuyo destino puede resultar perjudicial. La hidrodinámica en esta zona está asociada a las condiciones hidrológicas de la CMR y a la dinámica del Río de la Plata. Para estudiarla en detalle se utilizó la combinación de dos modelos numéricos: 1) un modelo hidrológico-hidráulico de la CMR; 2) un modelo hidrodinámico del Río de la Plata Interior. Se presentan en este trabajo los resultados referidos a la evaluación de tiempos de concentración de la cuenca y los caminos de los RSF siguiendo partículas a partir de ensayos de rotura instantánea de barreras de retención.

Palabras Clave: residuos sólidos flotantes, hidrodinámica, Matanza-Riachuelo.

ABSTRACT

The presence of floating litter (FL) in urban rivers and streams impacts on the different uses, hydraulic capacities, water quality and esthetic conditions. In the Matanza-Riachuelo River Basin (MRRB), the transport and destination of FL can affect the normal operation of infrastructure and observation and control elements located near the mouth of the Rio de la Plata. In this area is implemented a water cleaning system based on the strategic location of retention barriers. The occurrence of significant rainfall could collapse these barriers allowing the mobilization of clusters of FL whose destination can be harmful. The hydrodynamics in this area is associated with the hydrological conditions of the MRRB and the dynamics of the Rio de la Plata. To study in detail, the combination of two numerical models was used: 1) a hydrological-hydraulic model of the MRRB; 2) a hydrodynamic model of the Inner Rio de la Plata. In this work, results referring to the assessment of basin concentration times and the paths of FL are presented, following particles from tests of instantaneous rupture of retention barriers.

Keywords: floating litter, hydrodynamics, Matanza-Riachuelo.

INTRODUCCIÓN

La presencia de residuos sólidos flotantes (RSF) en ríos y arroyos impacta sobre los distintos usos, las capacidades hidráulicas de estos cauces, la calidad del agua y sus condiciones estéticas. En países como la Argentina y otros de la región como Brasil (Franz y Freitas, 2011), Uruguay (Lozoya et al., 2015) y Chile (Rech et al., 2014), el crecimiento de la población, la expansión urbana, el aumento del consumo de productos desechables, la recolección inadecuada de residuos sólidos y las dificultades de aplicación de políticas de gestión ambiental favorecen el vertido de residuos sólidos en las riberas de ríos y arroyos.

La comprensión de la dinámica de los residuos sólidos flotantes en arroyos y ríos que atraviesan grandes metrópolis se ha transformado en una necesidad de gestión. En algunas ciudades esta problemática se está abordando en detalle, por ejemplo en Porto Alegre (arroyo Diluvio; Basso et al., 2011), Londres (río Thames; Morritt et al. 2014) y París (río Sena; Gasperi et al., 2014), no solo por el impacto local sino también por considerar que estos cuerpos de agua representan la fuente principal de los flujos de plásticos en los océanos (*Marine Plastic Debris*).

En la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) la ocurrencia de precipitaciones intensas provoca inundaciones urbanas. En este marco, la aparición de residuos sólidos flotantes en los cauces se debe básicamente a la contaminación difusa desde zonas urbanizadas.

En el caso de la Cuenca Matanza-Riachuelo (CMR) el transporte y destino de los residuos sólidos flotantes hacia aguas abajo puede llegar a perjudicar el normal funcionamiento de obras de infraestructura y elementos de observación y control ubicados en el Riachuelo. El río Matanza-Riachuelo, denominado Riachuelo en su desembocadura y río Matanza en la mayor parte de su desarrollo, pertenece a una de las tantas cuencas vertientes al Río de la Plata Interior. La CMR abarca una superficie de aproximadamente 2200 km² con una extensión de unos 80 km de largo (Figura 1.a). El sector urbanizado de la cuenca (Cuenca Baja), pertenece a la RMBA, y cuenta con una alta densidad poblacional (la población total de la cuenca es de aproximadamente 8 millones de habitantes). Las Cuencas Media y Alta pertenecen a un ambiente rural.

Se considera Desembocadura del Riachuelo al sector del río ubicado entre el Río de la Plata y la Vuelta de Rocha (La Boca en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, CABA, e Isla Maciel en Avellaneda). En esta zona el sector de confluencia entre la Dársena Sur de Puerto Madero en la CABA, el Dock Sud en Avellaneda y el Riachuelo se denominada Cuatro Bocas. Entre la Dársena Sur y la costa del Río de la Plata se ubica la Isla Demarchi (zona de astilleros) junto a la Central Térmica Costanera (CTC). En el Dock Sud se ubican la Dársena de Propaneros, la Dársena de Inflamables y otros muelles vinculados al transporte de derivados del petróleo (Figura 1.b). Este trabajo pretende estudiar el transporte y destino de residuos sólidos flotantes en esta zona y el posible impacto en los usos de esta zona.

En la Desembocadura del Riachuelo, como estudios de modelación hidrodinámica precedentes se encuentran la evaluación de la influencia de la descarga de agua sobrecalentada de la CTC alrededor de una de sus tomas de agua (Tarela et al., 1997; Bombardelli et al., 1997; y Menéndez, 1997), y la modelación del impacto hidráulico de un relleno costero localizado en cercanías de la zona costera de la CTC (Re et al., 2009 y 2010). Respecto de la modelación del río Matanza-Riachuelo se destacan los esfuerzos realizados durante el Plan de Gestión Ambiental de la Cuenca Matanza-Riachuelo (SRNyAH, 1995) y más recientemente los trabajos ejecutados en el marco del Plan Integral de Saneamiento de la CMR (Menéndez, 2009).

MODELACIÓN NUMÉRICA

Modelo Río de la Plata

Para este estudio se utilizó el sistema de modelación MOHID, desarrollado y mantenido por MARETEC (Marine and Environmental Technology Research Center) en el Instituto Superior Técnico (IST) de la Universidad Técnica de Lisboa (Cancino y Neves, 1999; Saraiva et al., 2007; entre otros). MOHID resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes en tres dimensiones utilizando las aproximaciones hidrostáticas y de Boussinesq. El sistema MOHID también incluye la posibilidad de utilizar un modelo bidimensional (resultante de integrar las ecuaciones anteriores sobre la profundidad), especialmente apto para el Río de la Plata dada su escasa profundidad relativa (frente a la longitud de onda de marea).

Modelo Matanza-Riachuelo

El modelo hidrológico-hidráulico del Matanza-Riachuelo resuelve el proceso de transformación de lluvia en escorrentía y el posterior transporte de esos volúmenes de agua a través de los cauces de la cuenca de manera continua. Este modelo fue implementado con el software MIKE 11 (*Danish Hydraulic Institute, DHI*).

Los cursos de agua representados son los arroyos Aguirre, Cañuelas, Chacón, Morales y Ortega y el río Matanza-Riachuelo. En la cabecera de los arroyos se impone un caudal concentrado y en los tramos se introduce un caudal de forma distribuida a lo largo del curso receptor de la escorrentía. En la desembocadura al Río de la Plata se imponen valores horarios de nivel en la estación Palermo, provistos por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN).

La transformación lluvia-escorrentía se efectúa mediante el modelo conceptual NAM (*Nedbør-Afrstrømnings-Model, DHI*). Este modelo de parámetros concentrados permite cuantificar, en forma continua, el contenido de agua en tres almacenamientos diferentes, pero interrelacionados, para cada subcuenca: superficial, inferior o de raíces, y agua subterránea (Lecertua et al., 2013).

Los forzantes climáticos de esta modelación son: precipitación; temperaturas mínima, media máxima; heliofanía efectiva, y humedad relativa media. Los mismos fueron provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para la estación Ezeiza. Para calcular la serie temporal de evapotranspiración potencial se aplicó la formulación de Penman-Monteith. Más detalles de este modelo pueden encontrarse en Menéndez (2009) y Lecertua et al. (2013).

Validación del modelo Río de la Plata

Para realizar una validación hidrodinámica de un escenario medio, se dispuso de mediciones de velocidad de corriente, realizadas por Aguas Argentinas S.A. (Agua y Saneamientos Argentinos S.A., actual AySA) en puntos cercanos a las tomas de agua de Palermo y de Bernal. Para la validación se utilizó la ventana temporal 19/Mar/04 – 24/Mar/04, que es un período durante el cual la situación es de vientos suaves, que puede considerarse como representativo de un escenario hidrodinámico medio. La Figura 3 muestra la

comparación entre las rosas de corrientes para el mismo intervalo de tiempo. Se observa que existe compatibilidad general en cuanto a la dirección principal de movimiento y la magnitud de los picos de corriente en ambos sentidos.

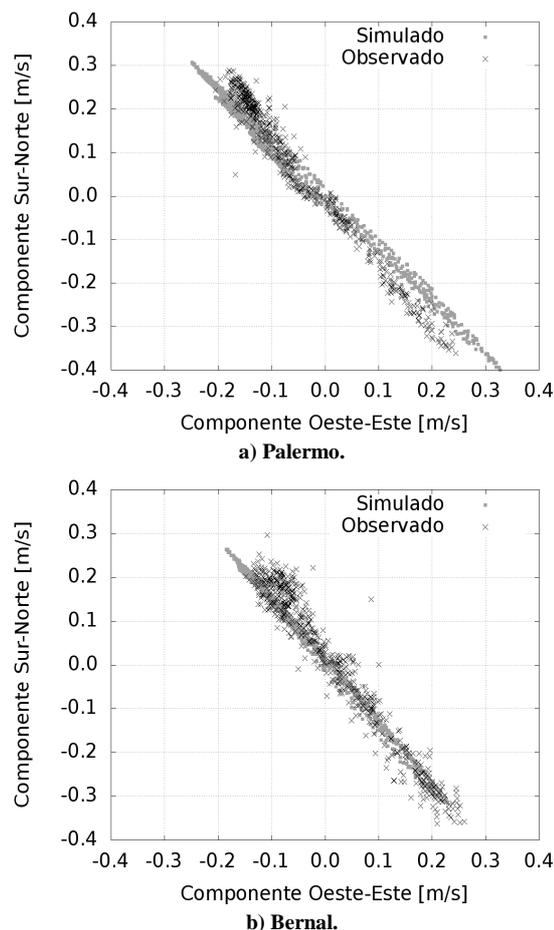
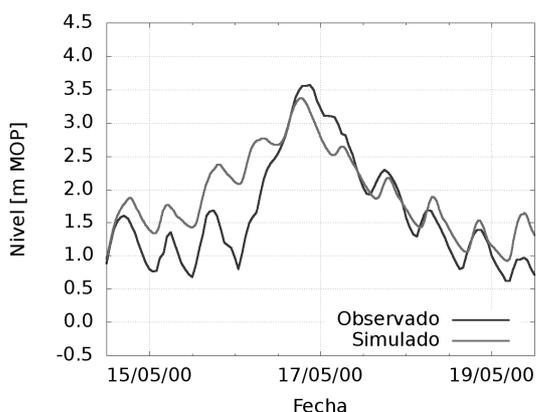


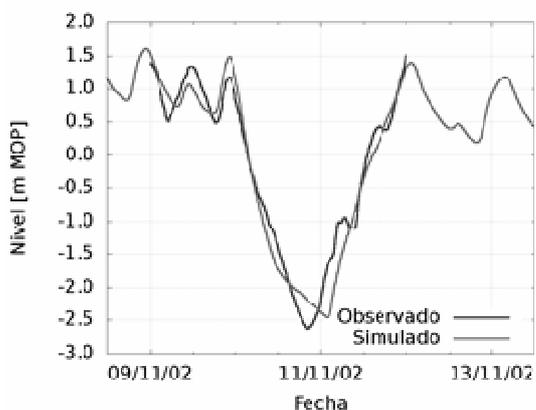
Figura 3. Rosas de corriente. Modelación Río de la Plata.

Validación del modelo Matanza-Riachuelo

Para validar la modelación respecto de la ocurrencia de eventos extremos (Sudestadas y Bajantes), se dispuso de mediciones del nivel del agua en Buenos Aires, provistos por el Servicio de Hidrografía Naval, para cada uno de estos dos eventos: Bajante Noviembre 2002 (9 al 11 de noviembre) y Sudestada Mayo 2000 (14 al 19 de mayo). Los datos de vientos de NCEP/NCAR fueron ajustados para reproducir lo más fielmente posible los niveles horarios. Las Figuras 4a y 4b muestran comparaciones satisfactorias en la Sudestada y la Bajante respectivamente.



a) Sudestada de Mayo 2000.



b) Bajante de Noviembre 2002.

Figura 4. Comparación de niveles en Buenos Aires.

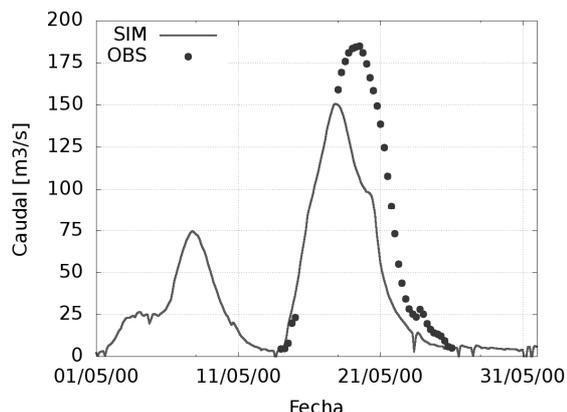
La validación del modelo hidrológico-hidrodinámico del río Matanza-Riachuelo involucró varias ventanas temporales (Lecertua et al., 2013), en este caso se muestra el comportamiento satisfactorio del modelo ante la ocurrencia de una crecida. Para esto se contó con una serie de caudales y niveles instantáneos del río Matanza en la Autopista Ricchieri (14 al 25 de mayo de 2000), observadas por la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas de Buenos Aires, DIPSOH (Figura 5)

DESEMBOCADURA DEL RIACHUELO

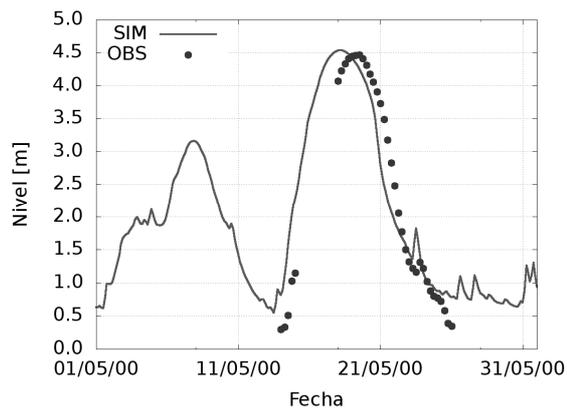
Caudales en la Desembocadura del Riachuelo

El caudal en la Desembocadura Riachuelo resulta una variable clave para ser utilizada como condición de borde del modelo hidrodinámico del Río de la Plata para analizar en detalle esta zona. Dado que no se cuenta con mediciones sistemáticas y continuas

de esta variable, se realizaron simulaciones con el modelo hidrológico - hidráulico del río Matanza-Riachuelo con el objetivo de realizar un análisis estadístico de extremos para caracterizar las descargas al Río de la Plata.



a) Caudales (Mayo 2000).



b) Niveles (Mayo 2000).

Figura 5. Simulación y observación de caudal y nivel en Autopista Ricchieri.

Se simuló un período de 22 años (Ene 1990 – Nov 2011). El forzante principal del sistema consistió en la serie de precipitaciones diarias de la estación meteorológica Ezeiza del SMN. El condicionante principal del sistema fue el nivel del Río de la Plata impuesto en el contorno de aguas abajo del modelo. Para el caso de la simulación que incluyó el efecto de la dinámica del Río de la Plata (marea astronómica y meteorológica) se consideró la serie de niveles horarios en la estación Palermo del SHN. Para el caso de la simulación realizada sin considerar el efecto de la dinámica del Río de la Plata se fijó la condición de borde de nivel en 0.90 m MOP (valor representativo del nivel medio del

Río de la Plata en esa zona, obtenido de la serie 1989-2013 de niveles en Palermo).

En la Figura 6 se presenta, a modo ilustrativo, un tramo de las series de precipitaciones diarias en

Ezeiza (forzante del sistema), los caudales simulados en la Desembocadura para la condición que tiene en cuenta la dinámica del Río de la Plata (con marea) y la que no (sin marea) y los niveles observados en el Río de la Plata en la estación Palermo.

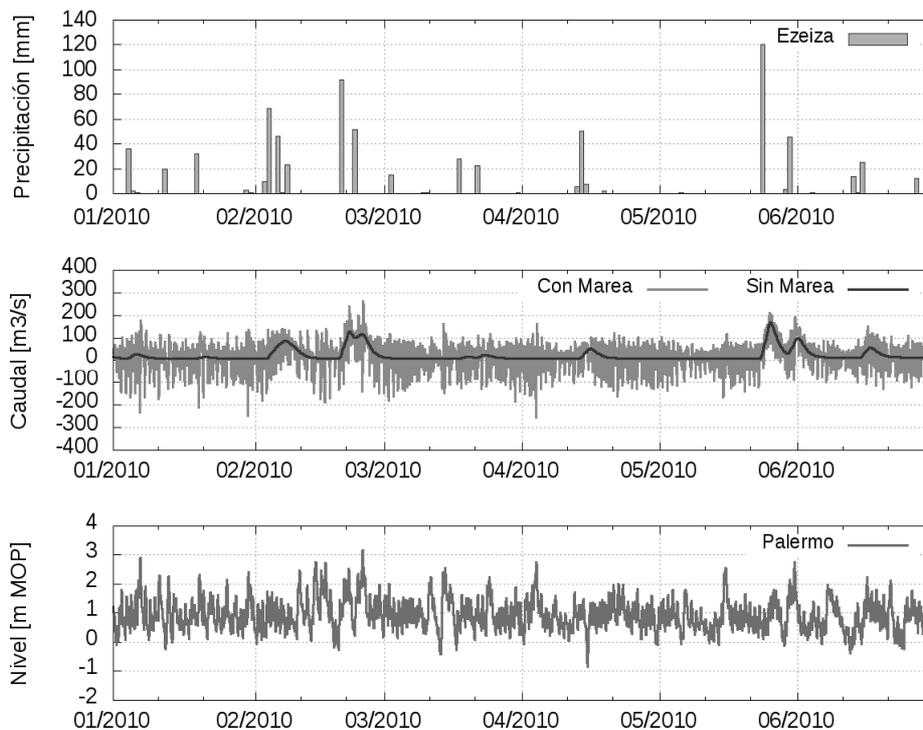


Figura 6. Precipitaciones, caudales simulados en la Desembocadura del Riachuelo y nivel del Río de la Plata.

A partir de las series de caudales simuladas se realizó un análisis de extremos. Basado en la Teoría General de Extremos (Coles, 2001) se ajustó la Distribución Generalizada de Valor Extremo Tipo I (GEV Tipo I, Gumbel) a las series de caudales máximos anuales. En el caso que se consideró la condición dinámica del Río de la Plata se diferenciaron caudales entrantes (el flujo entrando desde el Río de la Plata hacia el Riachuelo) y salientes (el Riachuelo descargando al Río de La Plata). Los caudales asociados a períodos de retorno se presentan en forma resumida en la Tabla 1.

Cuando se tiene en cuenta la condición dinámica del Río de la Plata se observa que para períodos de retorno bajos prácticamente no hay diferencias entre los caudales entrantes y salientes. Para los períodos de retorno mayores, a medida que estos aumentan se hacen mayores los valores de los caudales salientes que los entrantes (a igual recurrencia). A igual período de retorno, la diferencia que se observa entre los caudales de las series simuladas con y sin la condición dinámica

del Río de la Plata, se debería a las oscilaciones en la descarga provocadas por la onda de marea.

Tabla 1: Recurrencia de caudales máximos anuales simulados del río Matanza-Riachuelo.

Recurrencia [años]	Con efecto de marea		Sin efecto de marea
	Q_{sal} (m^3/s)	Q_{ent} (m^3/s)	Q (m^3/s)
2	265	269	131
5	335	322	202
10	382	356	249
20	426	390	295
50	484	433	353
100	527	465	397

Velocidades de corriente

Se presentan distintas simulaciones del Río de la Plata, centrando el análisis en el entorno de la Isla Demarchi. A partir de los resultados obtenidos de

la simulación del río Matanza–Riachuelo sin la acción dinámica del Río de la Plata, se plantearon los siguientes escenarios de simulación en los que se fija el nivel del Río de la Plata en 0.90 m MOP (relativo al nivel medio) y los caudales en las tomas de la CTC (Toma Unidades U1 a U7 52 m³/s, U1-U7, y Toma Unidad Nueva de Ciclo Combinado 16 m³/s, CC), y la variable de descarga del Riachuelo adopta los siguientes valores: *i*) Escenario A: 10 m³/s, *ii*) Escenario B: 100 m³/s, *iii*) Escenario C: 200 m³/s, y *iv*) Escenario D: 400 m³/s. En el Dominio 4 se incluyeron la descarga asociada al Riachuelo y los caudales de las tomas de la Central Costanera (ver Figura 7).

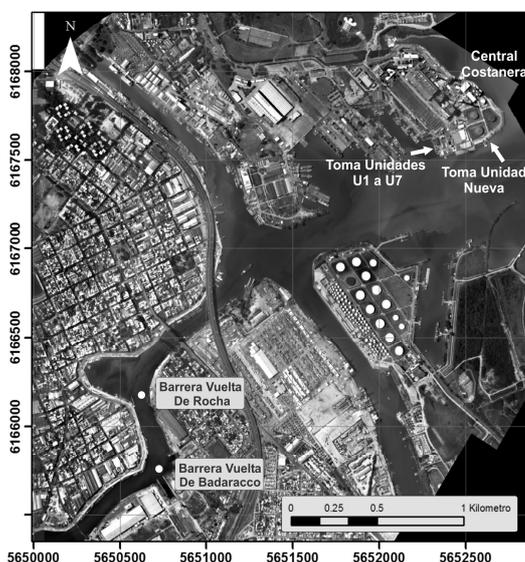


Figura 7. Ubicación de las tomas de agua de la Central Térmica Costanera y de dos barreras de retención de residuos sólidos flotantes de referencia.

En la Figura 8 se observan, para los cuatro escenarios, la distribución de los módulos de velocidad y tubos de corriente. Cada escenario presenta 20 tubos de corriente provenientes del Riachuelo, 5% del caudal cada uno (en color blanco). La Figura 8.a muestra módulos de velocidad muy bajas, excepto en cercanías de las tomas y descargas de la CTC, donde se aprecian módulos mayores a 0.50 m/s. En este escenario, se puede observar que la CTC se ve forzada a tomar agua proveniente del Río de la Plata (tubos blancos gruesos). Cuando la descarga del Riachuelo es de 100 m³/s (Figura 8.b) se aprecia que las tomas de la CTC no necesitan tomar agua del Río de la Plata y aparecen módulos de velocidad en la desembocadura del orden de 0.15 m/s (en particular

las mayores velocidades aparecen sobre el Canal de Acceso Sur). El análisis de las Figuras 8.c y 8.d es similar al realizado anteriormente, solo encontrándose diferencias en los módulos de velocidad observados, que están en el orden de los 0.20 y 0.35 m/s, respectivamente.

TRANSPORTE Y DESTINO DE RSF

Sistema de limpieza de espejo de agua

El servicio que comprende las tareas de limpieza y mantenimiento del espejo de agua del curso del río Matanza-Riachuelo en un tramo de la cuenca baja (desde Camino de Cintura hasta la Desembocadura) se encuentra concesionado por la Autoridad de Cuenca (ACUMAR). Este segmento del río se divide en tres tramos de acuerdo a criterios de operatividad. El sistema de recolección de residuos sólidos flotantes se basa en la contención en barreras flotantes y el barrido realizado por embarcaciones de pequeño porte. Aproximadamente, se extraen unas 350 toneladas mensuales de residuos sólidos flotantes del río Matanza-Riachuelo (ACUMAR, 2011).

El análisis de este trabajo se centra en la operatividad de dos barreras de 30 m cada una, que se encuentran en el tramo más próximo a la Desembocadura del Riachuelo ubicadas en la Vuelta de Badaracco y en la Vuelta de Rocha (Figura 7).

Modelos de transporte de contaminantes

El transporte y destino de los residuos sólidos flotantes en un curso de agua puede ser abordado como primera aproximación aplicando un modelo de transporte de contaminantes. En este caso, se interpreta a los residuos sólidos flotantes como una sustancia contaminante capaz de ser transportada por la acción de los procesos de advección y dispersión-difusión.

Esta modelación puede ser efectuada en base a una descripción euleriana, donde se representa a las concentraciones como campo continuo discretizado espacial y temporalmente (Menéndez et al., 2013), o lagrangiana, en la que las concentraciones están asociadas a las partículas fluidas emitidas continuamente por las fuentes de contaminación, discretizadas como pulsos (Lecertúa et al., 2014). La resolución numérica del problema con el enfoque euleriano introduce una difusión numérica cuyos efectos son comparables o mayores a los de la

difusión física y podría ser demasiado costoso para algunas aplicaciones (relación discretización temporal y espacial). Utilizando el enfoque lagrangiano no se imponen restricciones adicionales sobre el paso espacial del modelo de transporte respecto de las del modelo hidrodinámico. El paso de tiempo entre las inyecciones de partículas permite mantener bajo control el error de discretización a

costa de un mayor esfuerzo de cálculo. Además, los modelos de transporte lagrangianos generalmente se utilizan para simular procesos localizados y con grandes gradientes. Por lo tanto, para la representación del pulso de residuos sólidos generado por la rotura instantánea de una barrera de contención se propuso un modelo de transporte con enfoque lagrangiano.

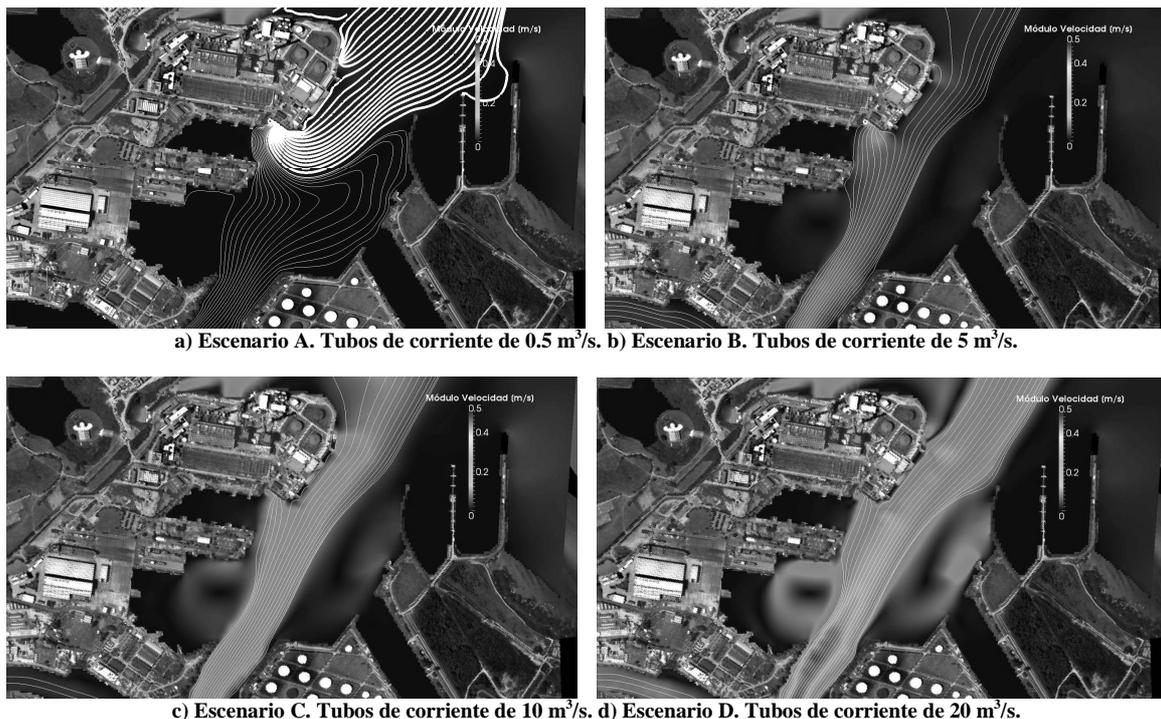


Figura 8. Módulos de velocidad y tubos de corriente.

Simulación de un caso de afectación

Entre los impactos posibles de la llegada de un tren de residuos flotantes a la Desembocadura del Riachuelo se encuentra la afectación a las tomas de refrigeración de la CTC. Estas tomas captan volúmenes importantes de agua y la presencia de residuos sólidos en su entorno puede dificultar la operatividad de las mismas.

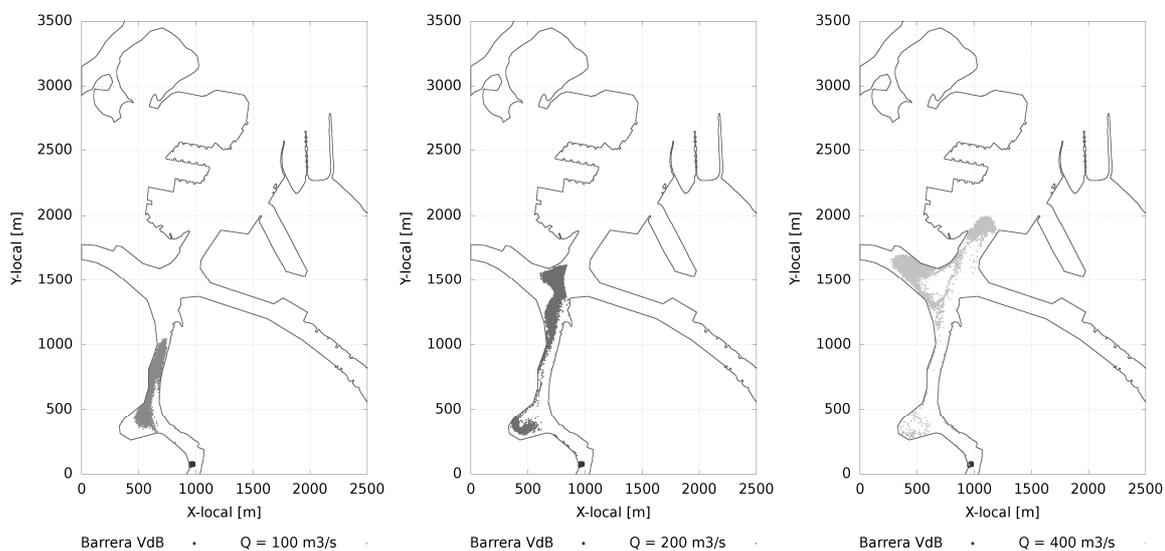
La simulación de la rotura instantánea de una barrera flotante conteniendo residuos sólidos, se realizó aplicando el Módulo Lagrangiano del Sistema MOHID. Las partículas representativas de los residuos sólidos flotantes son transportadas en el cuerpo de agua mediante la combinación de la corriente media y las fluctuaciones turbulentas. El modelo hidrodinámico provee las velocidades de corriente medias y el movimiento debido a las

fluctuaciones turbulentas se parametriza en función de variables hidrodinámicas mediante la formulación de Sullivan-Allen (Allen, 1982). Con esta metodología, las trayectorias de las partículas debidas a los procesos de difusión-dispersión se representan a través de caminos aleatorios (*random walk*).

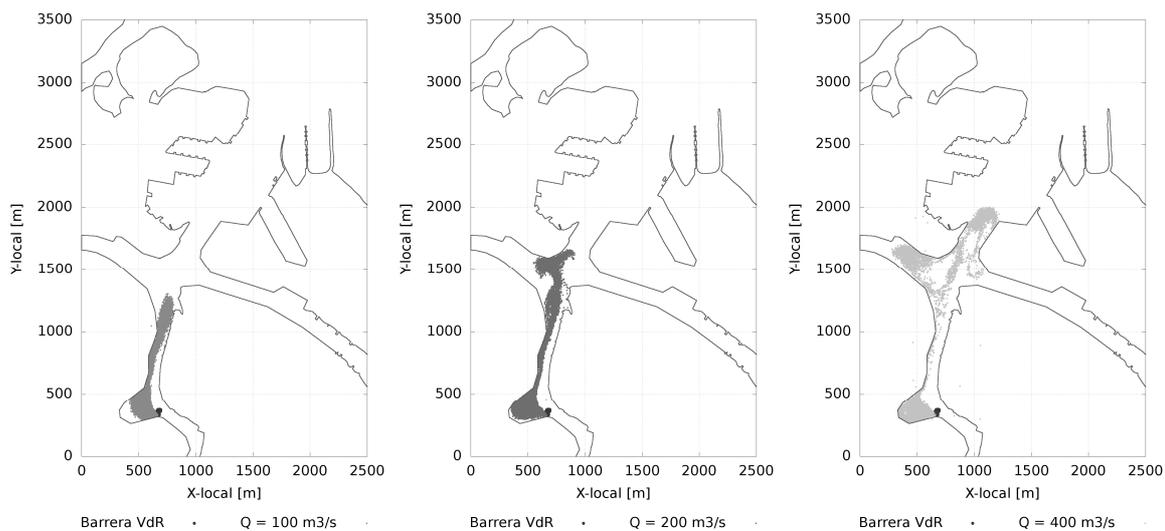
La rotura instantánea de la barrera se simula lanzando un pulso instantáneo de partículas desde un área representativa de la misma colmada de residuos en un subdominio del modelo denominado *caja*. Se plantearon dos cajas de descarga: referidas a las barreras de la Vuelta de Badaracco y de la Vuelta de Rocha. Además, se implementaron dos cajas de recepción: una delante de la obra de la Toma U1-U7 y otra frente a la Toma CC. Las dimensiones de las cajas de recepción se vinculan con el ancho de cada una de las obras de toma.

Desde las cajas de descarga se lanzan instantáneamente alrededor de 10000 partículas desde la barrera de Vuelta de Badaracco y unas 13000 desde la barrera de Vuelta de Rocha. El objetivo de la simulación es detectar el porcentaje de residuos sólidos cuyos destinos son cada una de las tomas, según origen y condición hidrodinámica. Para la caracterización del fenómeno de difusión-dispersión, debido a que no se cuenta con mediciones de plumas de contaminantes en esta zona, se adoptaron los criterios de parametrización explicitados en García et al. (2012).

En la Figura 9 se presentan para un instante las trayectorias de los residuos sólidos flotantes según origen y condición hidrodinámica. A pesar de que la cantidad de partículas lanzadas desde cada fuente es diferente, se realizan en primera aproximación las siguientes observaciones: *i)* hay mayor concentración sobre margen izquierda de trazadores cuyo origen es la barrera de la Vuelta de Badaracco respecto de los de la Vuelta de Rocha; *ii)* al meandro de la Vuelta de Rocha ingresa una porción mayor de partículas de la barrera más cercana (Vuelta de Rocha); *iii)* muchas de las partículas lanzadas desde las barreras encuentran destino en la Dársena Sur.



a) Rotura instantánea de barrera de Vuelta de Badaracco.



b) Rotura instantánea de barrera de Vuelta de Rocha.

Figura 9. Evolución de los residuos sólidos flotantes una hora después de la rotura instantánea de la barrera según escenarios hidrodinámicos.

La evolución del volumen de arribo de residuos sólidos flotantes a las dos tomas (U1-U7 y CC) para las tres condiciones de descarga del Matanza-Riachuelo se muestra en la Figura 10. Para el caso de la Toma U1-U7 se observan similares comportamientos respecto de la capacidad de recepción para los escenarios hidrodinámicos B (100 m³/s) y C (200 m³/s), mientras que para el escenario D (400 m³/s) la menor cantidad a recibir residuos provenientes de la barrera de Vuelta de Rocha se debería a la porción que se deriva hacia la Dársena Sur y el meandro de la Vuelta de Rocha. En cuanto a la Toma CC, los volúmenes a recibir son

varias veces menores que los de la Toma U1-U7, sin distinguirse diferencias según origen. Como comportamiento general se observa que a menor caudal las tomas reciben una porción mayor del volumen de residuos sólidos puesto en movimiento por la rotura de las barreras flotantes.

La Tabla 2 presenta, a modo de resumen de la Figura 10, el porcentaje del volumen lanzado desde cada rotura instantánea de barrera que arribaría a cada una de las tomas según condición hidrodinámica y los tiempos de arribo de la primera partícula emitida desde la rotura.

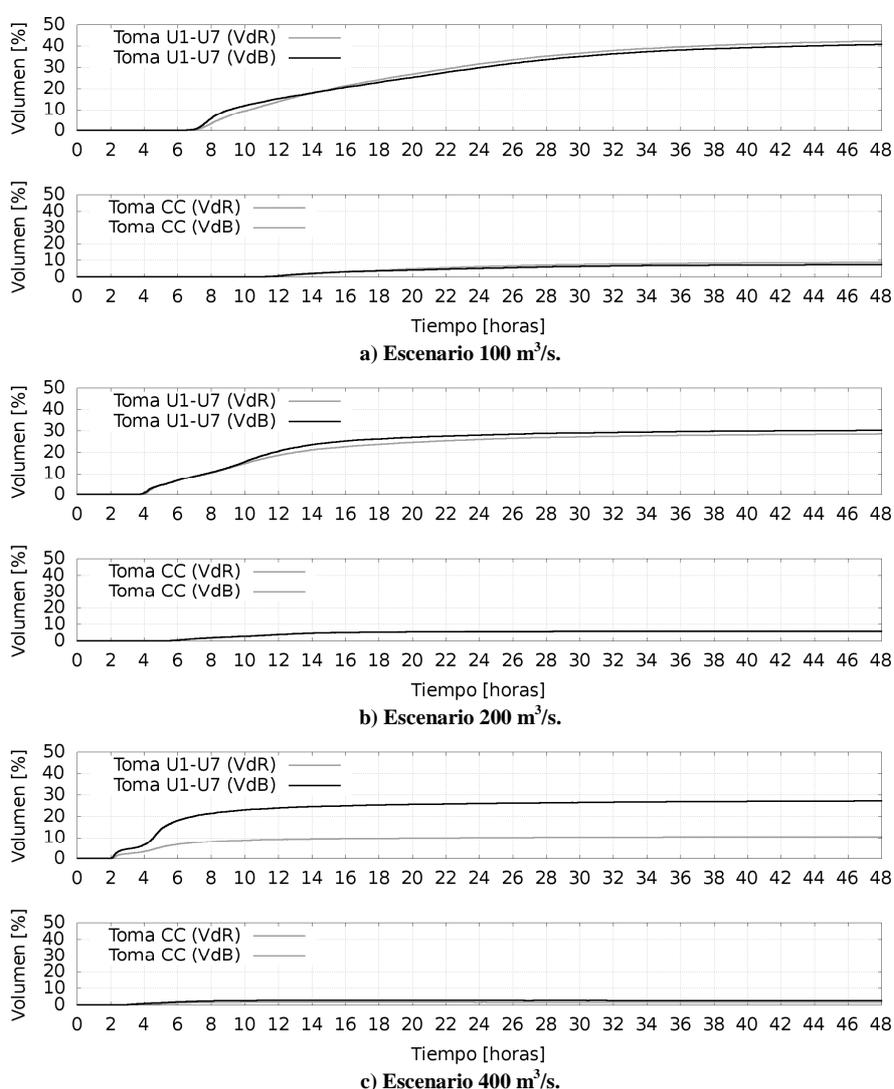


Figura 10. Volúmenes de residuos sólidos flotantes en porcentaje recibidos en las Toma U1-U7 y CC desde: VdR: barrera de Vuelta de Rocha; y VdB: barrera de Vuelta de Badaracco).

Tabla 2: Tiempos de arribo según origen y porcentaje del volumen lanzado desde cada rotura de barrera que arribaría a cada una de las tomas según condición hidrológica.

Destino	Escenario	Tiempo de arribo (hs)		Volumen (%)	
		Origen VdB	Origen VdR	Origen VdB	Origen VdR
Toma U1-U7	100 m ³ /s	6.40	6.37	40.7	42.2
Toma U1-U7	200 m ³ /s	3.67	3.75	29.2	28.6
Toma U1-U7	400 m ³ /s	2.03	2.02	24.7	10.3
Toma CC	100 m ³ /s	10.40	10.75	7.3	8.6
Toma CC	200 m ³ /s	5.32	5.22	5.5	5.9
Toma CC	400 m ³ /s	2.78	2.63	2.4	1.4

Para la Toma U1-U7, los tiempos disponibles para la toma de decisiones respecto de su operatividad (valores conservadores de acuerdo a que el análisis está hecho solo para los caudales hidrológicos), son de entre 2 y 7 horas según la condición de descarga existente en el Riachuelo. Para el caso de la Toma CC este rango se estira de 2 a 11 horas, también dependiendo de la condición de descarga del Riachuelo.

CONCLUSIONES

Como primera aproximación, y para una mejor comprensión de las características hidráulicas de la Desembocadura del Riachuelo, en la modelación hidrodinámica del entorno de las tomas no fue tenida en cuenta la dinámica mareal del Río de la Plata obteniéndose estos primeros análisis imponiendo un nivel medio en esta condición de borde. Esta modelación fue realizada con un modelo hidrodinámico y de transporte del Río de la Plata apoyado por un modelo hidrológico-hidráulico de la Cuenca Matanza-Riachuelo, ambos calibrados y validados satisfactoriamente.

La hidrodinámica de la Desembocadura del Riachuelo resulta diferente si se tiene en cuenta (descarga total) o no (descarga hidrológica) la condición dinámica del Río de la Plata debido a la oscilación de niveles y consecuentemente de caudales. En cuanto al análisis estadístico de las series simuladas de caudal en el entorno de la Central Costanera se observó que a igual período de retorno, la diferencia que se da entre los caudales con y sin la condición dinámica del Río de la Plata, se debería a las oscilaciones en la descarga provocadas por la onda de marea.

Ante descargas bajas del Riachuelo, se puede observar que la Central Térmica Costanera se ve forzada a tomar agua proveniente del Río de la Plata.

En la situación actual, desde la rotura instantánea de alguna de las barreras flotantes operativas del sistema de limpieza del espejo de agua del Matanza-Riachuelo (barreras de Vuelta de Badaracco y Vuelta de Rocha) transcurren aproximadamente entre 2 y 7 horas para iniciar el arribo de residuos sólidos a la toma de las Unidades 1 a 7 (Toma U1-U7), según la condición hidrológica. También según el estado del Riachuelo, la Toma U1-U7 podría recibir entre el 20 y el 40 % del volumen de residuos interceptado por la barrera de la Vuelta de Badaracco y un rango mayor (10 a 40 %) si el origen es de la barrera de Vuelta de Rocha. Como comportamiento general se observa que a menor caudal las tomas reciben una porción mayor del volumen de residuos sólidos puesto en movimiento por la rotura de las barreras flotantes, pero a mayor caudal mayor es la probabilidad de rotura de las barreras existentes.

REFERENCIAS

- ACUMAR. 2011. Limpieza de Márgenes. Informe de Gestión. Información presentada ante la Corte Suprema de Justicia de la Nación.
- Allen, C. M. 1982. Numerical simulation of contaminant dispersion in estuary flows. *Proc. Roy. Soc. A.*, 381, 179-194.
- Basso, L. A.; Ryff Moreira, L. G. y Pizzato, F. 2011. A influência da precipitação na concentração e carga de sólidos em cursos d água urbanos: o caso do arroio Dilúvio, Porto Alegre-RS. Geosul (UFSC) 26.
- Bombardelli, F. A.; Menéndez, A. N.; Tarela, P. A. y Vilela, C. P. X. 1997. Simulación 2D del comportamiento térmico de cuencos afectados por marea frente a descargas antrópicas. X Congress on Numerical Methods and their Applications (ENIEF97), San Carlos de Bariloche, Argentina, noviembre.
- Cancino, L. y Neves, R. 1999. Hydrodynamic and sediment suspension modelling in estuarine

- systems, Part I: Description of the numerical models, *Journal of Marine Systems*, 22, 105-116.
- Coles, S. 2001. *An introduction to statistical modeling of extreme values*, London, Springer.
- Franz, B. y Freitas, M. A. V. 2011. Generation and impacts of floating litter on urban canals and rivers: Rio de Janeiro megacity case study. En *Sustainability today*, C.A. Brebbia editor, Wessex Institute of Technology, UK. WIT Press.
- García, P. E.; Menéndez, A. N.; Badano, N. D. y Ezcurra, H. 2012. Metodología para la determinación de coeficientes de difusión en cauces fluviales. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, San José, Costa Rica, septiembre, 2012.
- Gasperi, J.; Dris, R.; Bonin, T.; Rocher, V.; Tassin, B. 2014. Assessment of floating plastic debris in surface water along the Seine River. *Environmental Pollution*, 195, pp. 163-166.
- Lecertua, E. A.; Menéndez, A. N. y Badano, N. D. 2013. Modelación Hidrológica continua del Río Matanza – Riachuelo. XXVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 14 al 18 de octubre, San Juan, Argentina.
- Lecertua, E. A.; Menéndez, A. N. y Re, M. 2014. Plumas de contaminación por vertidos de efluentes cloacales en Ushuaia (Argentina). XXVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 25 al 30 de agosto, Santiago, Chile.
- Lozoya, J. P.; Carranza, A.; Lenzi, J.; Machín, E.; Teixeira de Mello, F.; González, S.; Hernández, D.; Lacerot, G.; Martínez, G.; Scarabino, F.; Sciandro, J.; Vélez-Rubio, G.; Burgues, F.; Carrizo, D.; Cedrés, F.; Chocca, J.; de Álava, D.; Jiménez, S.; Leoni, V.; Limongi, P.; López, G.; Olivera, Y.; Pereira, M.; Rubio, L. y Weisntein, F. 2015. Management and research on plastic debris in Uruguayan Aquatic Systems: update and perspectives. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 15 (3): 377-393.
- Menéndez, A. N. 1997. Hydraulic studies for the water intake of Central Costanera. Informe LHA 01-155a-97. Instituto Nacional del Agua. Ezeiza, Argentina.
- Menéndez, A. N. 2009. Modelación Matemática de la Cuenca Matanza-Riachuelo para el Estudio de Alternativas de Saneamiento. Informe Integrador. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina.
- Menéndez, A. N., Badano, N. D., Lopolito, M. F., Re, M. 2013. Water Quality Assessment for a Coastal Zone through Numerical Modeling, *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 1:1, 8-16.
- Morritt, D., Stefanoudis, P. V., Pearce, D., Crimmen, O. A., Clark, P.F. 2014. Plastic in the Thames: A river runs through it. *Marine Pollution Bulletin*, 78, 196–200.
- Orués, R., Hillton, A., Parto, M., Maciel, J., Macedo, G. 2014. Estudio Batimétrico – Zona Central Costanera – Ciudad de Buenos Aires. Informe Técnico. INA, Argentina.
- Re, M., Lecertua, E., García, P., Menéndez, A.N. 2009. Zoning for Hydraulic Impact Studies on the Coastal Zone of the Plata River, 6th Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, RCEM 2009, Santa Fe, Argentina, september.
- Re, M., García, P.E., Lecertua, E., Menéndez, A. N. 2010. Modelación del impacto hidráulico de un relleno costero en zona compleja, XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Punta del Este, Uruguay, noviembre.
- Re, M. y García, P. E. 2015. Estudio de la Obra de Toma del Sistema de Refrigeración de la Central Térmica Costanera - Informe 1: Hidrodinámica y transporte de residuos sólidos flotantes. Informe LHA 343-02-15. Instituto Nacional del Agua. Ezeiza, Argentina.
- Rech, S., Macaya-Caquilpán, V., Pantoja, J. F., Rivadeneira, M. M., Jofre Madariaga, D., Thiel, M. 2014. Rivers as a source of marine litter – A study from the SE Pacific. *Marine Pollution Bulletin*, 82, 66–75.
- SRNyAH (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano de la Nación). 1995. Plan de Gestión Ambiental y de Manejo de la Cuenca Hídrica Matanza-Riachuelo, Anexo Técnico A – Modelos Matemáticos.
- Saraiva, S., Pina, P., Martins, F., Santos, M., Braunschweig, F., Neves, R.. 2007. Modelling the influence of nutrient loads on Portuguese estuaries, *Hydrobiologia* (2007) 587:5–18
- Tarela, P. A., Menéndez, A. N., Bombardelli, F. A., Vilela, C. P. X. 1997. Modelación hidrosedimentológica en tomas de agua afectadas por un régimen de marea. ENIEF97, X Congress on Numerical Methods and their Applications, San Carlos de Bariloche, Argentina, noviembre.

Artículo recibido el 10/2016 y aprobado para su publicación el 12/2016.