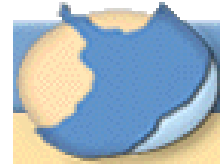




**INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA**  
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
REPÚBLICA ARGENTINA



**ANTECEDENTES SOBRE CALIDAD DEL AGUA DEL RIO DE LA PLATA**  
Componente B: Modelación de Calidad del Agua

Informe Final

**Planteo de aplicaciones y estudios adicionales**



**Proyecto PNUD ARG/09/G46: “Reducción y prevención de la contaminación de origen terrestre en el Río de la Plata y su Frente Marítimo mediante la implementación del Programa de Acción Estratégico de FREPLATA”.  
Proyecto FREPLATA II**



*Proyecto INA1090  
Informe INA 03-1090-12  
Ezeiza, Octubre de 2012*

**Laboratorio de Hidráulica**

**AUTORIDADES DEL INA**

**PRESIDENTE**

Dr. Raúl A. LOPARDO

**GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS**

Ing. Jorge A. MAZA

**DIRECTOR DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA**

Ing. Julio C. DE LÍO

**JEFE DEL PROGRAMA DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL**

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

**EQUIPO DE TRABAJO**

Ing. Mag. María Fernanda LOPOLITO

Ing. Mag. Mariano RE

**INFORME PRODUCIDO POR**

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

Ing. Mag. Mariano RE

## **ANTECEDENTES SOBRE CALIDAD DEL AGUA DEL RIO DE LA PLATA**

### **Componente B: Modelación de Calidad del Agua**

#### **Informe**

Planteo de aplicaciones y estudios adicionales

#### **RESUMEN**

Se presenta, en el marco de las grandes problemáticas identificadas en el Segundo Informe Parcial (grandes patrones de circulación, salinidad, dinámica de contaminantes y dinámica de sedimentos finos), las implicancias que los resultados de los estudios de modelación tienen sobre la gestión del recurso. En función de ello, se plantea el tipo de estudios adicionales que sería conveniente encarar.

**Descriptores temáticos:** Modelación, Hidrodinámica, Calidad del Agua, Transporte de Sedimentos, Transporte de Contaminantes.

**Descriptores geográficos:** Río de la Plata, Argentina, Uruguay.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>GRANDES PATRONES DE CIRCULACIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>Corredores de flujo</b>	<b>5</b>
2.1.1	Descripción	5
2.1.2	Implicancias en la gestión	6
2.1.3	Estudios adicionales	8
<b>2.2</b>	<b>Región de Bahía de Samborombón</b>	<b>9</b>
2.2.1	Descripción	9
2.2.2	Implicancias en la gestión	9
2.2.3	Estudios adicionales	9
<b>2.3</b>	<b>Región costera de Montevideo</b>	<b>10</b>
2.3.1	Descripción	10
2.3.2	Implicancias en la gestión	10
2.3.3	Estudios adicionales	10
<b>3</b>	<b>SALINIDAD</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>Descripción</b>	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>Implicancias en la gestión</b>	<b>11</b>
<b>3.3</b>	<b>Estudios adicionales</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>DINÁMICA DE CONTAMINANTES</b>	<b>13</b>
<b>4.1</b>	<b>Emisarios subacuáticos</b>	<b>13</b>
4.1.1	Descripción	13

4.1.2	Implicancias en la gestión	13
4.1.3	Estudios adicionales	14
<b>4.2</b>	<b>Descargas térmicas</b>	<b>15</b>
4.2.1	Descripción	15
4.2.2	Implicancias en la gestión	15
4.2.3	Estudios adicionales	15
<b>4.3</b>	<b>Zonas de Uso</b>	<b>15</b>
4.3.1	Descripción	15
4.3.2	Implicancias en la gestión	15
4.3.3	Estudios adicionales	15
<b>5</b>	<b>DINÁMICA DE SEDIMENTOS FINOS</b>	<b>17</b>
<b>5.1</b>	<b>Sedimentación en canales de navegación</b>	<b>17</b>
5.1.1	Descripción	17
5.1.2	Implicancias en la gestión	17
5.1.3	Estudios adicionales	19
<b>5.2</b>	<b>Plumas de turbidez</b>	<b>19</b>
5.2.1	Descripción	19
5.2.2	Implicancias en la gestión	19
5.2.3	Estudios adicionales	19
<b>5.3</b>	<b>Deposición en desembocaduras</b>	<b>19</b>
5.3.1	Descripción	19
5.3.2	Implicancias en la gestión	19
5.3.3	Estudios adicionales	20
<b>5.4</b>	<b>Efectos de rellenos</b>	<b>20</b>
5.4.1	Descripción	20
5.4.2	Implicancias en la gestión	21

5.4.3	Estudios adicionales	21
<b>5.5</b>	<b>Avance del Frente del Delta</b>	<b>21</b>
5.5.1	Descripción	21
5.5.2	Implicancias en la gestión	22
5.5.3	Estudios adicionales	24
<b>5.6</b>	<b>Dinámica general</b>	<b>24</b>
5.6.1	Descripción	24
5.6.2	Implicancias en la gestión	25
5.6.3	Estudios adicionales	25
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>26</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

El Proyecto PNUD ARG/09/G46: “Reducción y prevención de la contaminación de origen terrestre en el Río de la Plata y su Frente Marítimo mediante la implementación del Programa de Acción Estratégico de FREPLATA” ha encomendado al Instituto Nacional del Agua (INA) su participación en el estudio de “Antecedentes sobre Calidad del Agua del Río de la Plata”. Este se desarrolla a partir de tres líneas de trabajo, consideradas en tres diferentes componentes: A) Monitoreo de Calidad del Agua, B) Modelación de Calidad del Agua, y C) Monitoreo de Floraciones Algales.

El grupo de trabajo está conformado por personal del Programa Nacional de Calidad de Aguas (PNCA-Gerencia de Programas y Proyectos) para la Componente A, el Programa de Hidráulica Computacional (PHC-Laboratorio de Hidráulica) para la Componente B, y del Programa de Investigación sobre los Ecosistemas Acuáticos (PEA-Gerencia de Programas y Proyectos) para la Componente C.

Para la Componente B, en el Primer Informe Parcial se presentó una recopilación de los antecedentes sobre modelación de calidad del agua en el Río de la Plata, materializada en fichas bibliográficas y publicaciones asociadas, accesibles mediante una Base de Datos (DBRdP v1.0), mientras que en el Segundo Informe Parcial se efectuó, en base a aquellos antecedentes, una síntesis de los resultados más significativos que han surgido de los estudios de modelación, estructurados en función de grandes problemáticas, con énfasis en los aspectos que hacen a la gestión del recurso hídrico.

En este Tercer Informe Parcial (Informe Final) se presenta, en el marco de las grandes problemáticas identificadas en el Segundo Informe, las implicancias que los resultados de los estudios de modelación tienen sobre la gestión del recurso, y se plantea el tipo de estudios adicionales que sería conveniente encarar.

Las grandes problemáticas identificadas son: grandes patrones de circulación (capítulo 2), salinidad (capítulo 3), dinámica de contaminantes (capítulo 4) y dinámica de sedimentos finos (capítulo 5). En el capítulo 6 se presentan las conclusiones.

## 2 GRANDES PATRONES DE CIRCULACIÓN

### 2.1 Corredores de flujo

#### 2.1.1 Descripción

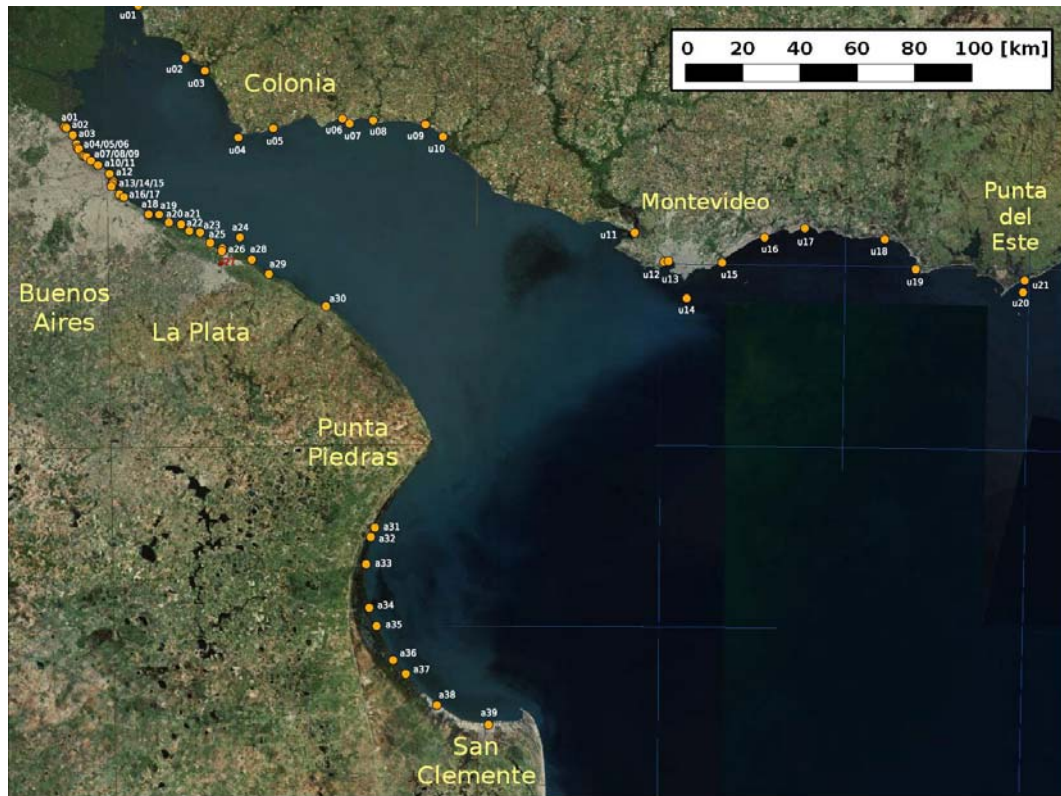
Tal como se indicó en el Segundo Informe, en condiciones hidrometeorológicas moderadas, en el Río de la Plata Interior pueden identificarse tres corredores de flujo (Figura 2.1), con escasa mezcla entre ellos, cada uno de los cuales conduce las aguas descargadas por los tres principales afluentes: Paraná de las Palmas, Paraná Guazú y Uruguay. Esta asociación con los tributarios de origen constituye los denominados corredores de flujo. Tanto en condiciones moderadas de invierno como de verano, el espesor de la zona donde se desarrolla algún nivel de mezcla significativa es del orden, como máximo, de unos pocos kilómetros en el Río de la Plata Superior (que se extiende hasta la línea imaginaria Buenos Aires-Colonia), duplicándose recién al llegar al final del Río de la Plata Interior. Las capas de mezcla sufren desplazamientos laterales de entre aproximadamente 500 y 2500 m bajo la acción del régimen de mareas.



**Figura 2.1.** Corredores de flujo en el Río de la Plata Interior (Jaime et al., 2001)

### 2.1.2 Implicancias en la gestión

Existe una variedad de descargas costeras en el Río de la Plata, que incluye arroyos y conducciones antrópicas, todas afectadas, en mayor o menor grado, por cargas contaminantes de origen antrópico. En la Figura 2.2 se ubican los puntos de descarga más importantes.



**Figura 2.2.** Descargas costeras en el Río de la Plata.

En la Tabla 2.1 se identifican estos ingresos al Río de la Plata según la costa desde la que lo hacen.

**Tabla 2.1.** Descargas costeras en el Río de la Plata.

<p><b>Costa Argentina</b></p>	<p>a01, Río Lujan; a02, 33 Orientales; a03, Calle Perú; a04, Borges; a05, Villate; a06 Yrigoyen; a07 Arroyo Medrano; a08, Arroyo White; a09, Arroyo Vega; a10, Arroyo Maldonado; a11, Arroyo Ugarteche; a12, Triple Madero; a13, Ciudad Boca; a14, Emisario Riachuelo; a15, Riachuelo; a16, Sarandí; a17, Santo Domingo; a18, Jiménez; a19, Berazategui; a20, Las Conchitas; a21, Arroyo Baldovinos; a22 Arroyo Pereyra; a23, Carnaval; a24, Ensenada Este; a25 Villa Elisa; a26 Ensenada Oeste; a27, Arroyo del Gato; a28, Berisso; a29, Arroyo El Pescado; a30, Arroyo Atalaya; a31, Rio Samborombón; a32, Rio Salado; a33 Aliviador Rio Salado; a34, Canal 15; a35 Canal La Porteña; a36 Canal 9; a37 Canal A; a38 Canal 1; a39, Ría de Ajo.</p>
<p><b>Costa Uruguaya</b></p>	<p>U01, Arroyo de las Vacas; U02, Montes del Plata; U03, Río San Juan; U04, Colonia; U05, Arroyo de la Caballada; U06, Arroyo Sauce; U07, FaNaPel; U08, Río Rosario; U09, Arroyo Cufre; U10, Arroyo Pavón; U11, Río Santa Lucía; U12, Arroyo Pantanoso; U13, Arroyo Miguelete; U14, Emisario Punta Carretas; U15, Arroyo Carrasco; U16, Arroyo Pando; U17, Arroyo Solís Chico; U18, Arroyo Solís Grande; U19, Punta Fría (Piriápolis); U20, Emisario Maldonado; U21, Arroyo Maldonado.</p>

En la actualidad, no todas estas descargas están operativas. Por ejemplo están en fase de proyecto: los emisarios subacuáticos de Colonia y Riachuelo y la extensión del de Berazategui, la descarga de la planta industrial de producción de pulpa de celulosa Montes del Plata, y la disposición de efluentes cloacales en Punta Fría, Piriápolis.

Las descargas argentinas, en la región costera Sur del Río de la Plata, se pueden dividir en las correspondientes a vuelcos cloacales (emisario de Berazategui), a ríos y arroyos altamente contaminados (Santo Domingo, Sarandí, Luján, Riachuelo, entre otros), y a conductos pluviales (Vega, Medrano, Maldonado, Triple Madero, entre otros). Las descargas uruguayas, básicamente corresponden a vuelcos cloacales (emisario de Punta Carretas, emisario de Maldonado), industrias pasteras (Montes del Plata, FaNaPel), y a ríos y arroyos altamente contaminados (Arroyo de las Vacas, Pantanoso, Miguelete, entre otros).

En general, las descargas argentinas pueden ser caracterizadas de la siguiente manera:

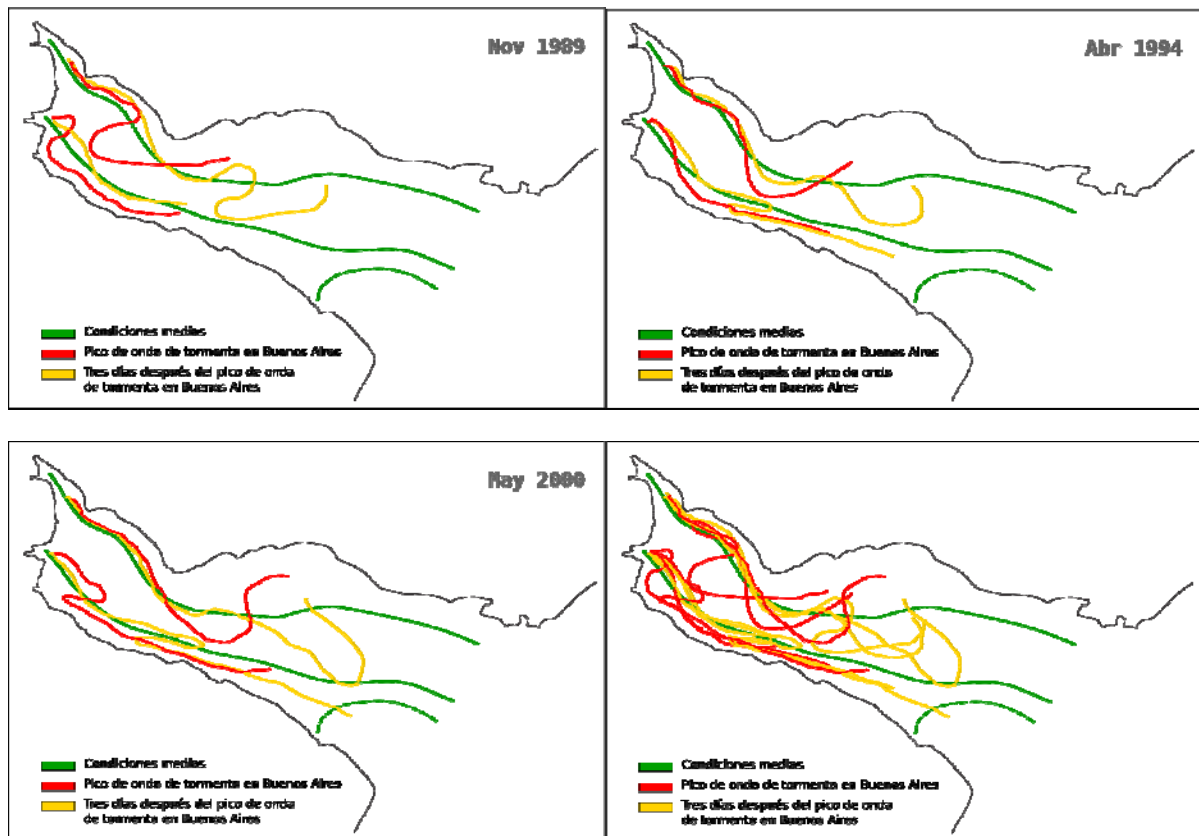
- Costa Río de la Plata Interior: descargas cloacales y pluviales
- Costa Río de Plata Exterior: descargas de nutrientes por actividades agrícolas.

En general, las descargas uruguayas pueden ser caracterizadas de la siguiente manera:

- Carmelo hasta Río Santa Lucía: efluentes urbanos y algunos industriales
- Río Santa Lucía hasta Punta del Este: básicamente descargas cloacales.

En función de la existencia de los corredores de flujo para condiciones hidrometeorológicas moderadas, puede concluirse que en esas condiciones lo descargado en cada margen afecta básicamente a esa margen y no a la otra. Esto constituye un conocimiento relevante en cuanto a la determinación de responsabilidades nacionales (argentina y uruguayas) sobre la calidad del agua del río.

Ahora bien, el ingreso de las ondas de tormenta asociadas a las Sudestadas produce dos efectos: por un lado, frena y hace retroceder significativamente el avance del flujo descargado por los tributarios; por el otro lado, genera una circulación horaria en el tramo superior del Río de la Plata y una antihoraria en el tramo medio, que conducen a una compresión del corredor Uruguay y una expansión del corredor Palmas en la zona superior, y viceversa en la zona intermedia, cuyo alcance depende de las características de los vientos asociados a la tormenta respectiva, tal como se observa en la Figura 2.3 (los vientos preponderantes son del SE en Nov/1989, del SSE en Abr/1994 y del ESE en May/2000). Estos efectos cesan junto con la tormenta, observándose una tendencia a la reconstrucción de los corredores de flujo, particularmente rápida en el tramo superior del Río de la Plata. De los ensayos efectuados no surge que en esas circunstancias lleguen a producirse rupturas de los corredores de flujo y llegada de agua desde un corredor costero a la otra costa (ver Figura 2.3), es decir, seguiría valiendo que la calidad del agua de cada margen es responsabilidad de cada parte.



**Figura 2.3.** Comportamiento de los corredores de flujo ante distintas ondas de tormenta (Sudestadas) (Adaptado de Re y Menéndez, 2006).

### 2.1.3 Estudios adicionales

Si bien de los estudios efectuados surge que, aún durante las grandes tormentas por Sudestada, se preservan los corredores de flujo, sería recomendable profundizar en esta cuestión para terminar de establecer si pueden llegar a existir contaminaciones cruzadas entre márgenes, teniendo en cuenta los aportes significativos de las descargas desde la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA), el Área Metropolitana de Montevideo (AMM) y las industrias pasteras de la costa uruguaya.

Los estudios deberían concentrarse en la modelación numérica de las principales plumas de contaminación, en términos de carga másica de contaminantes significativos emergentes de cada costa, durante la ocurrencia de grandes tormentas. Estas no sólo deberían incluir las Sudestadas sino también otras asociadas a vientos provenientes de otras direcciones. Para estos casos sería necesario recurrir a una modelación tridimensional, de modo de tener en cuenta los gradientes verticales de velocidad provocados por la acción del viento.

## 2.2 Región de Bahía de Samborombón

### 2.2.1 Descripción

La Bahía de Samborombón es el humedal mixohalino más extenso de Argentina y se constituye como un área prioritaria para la conservación de la biodiversidad, ya que en el habitan especies de importancia comercial y especies con riesgo de conservación como, por ejemplo, la corvina y la pescadilla (Volpedo et al., 2005). En 1997 fue declarado sitio RAMSAR y comprende áreas protegidas de diferente categoría, jurisdicción y administración, como son: la Reserva Natural Integral Costa de Bahía Samborombón (9311 Ha), la Reserva Natural Integral Rincón de Ajó (2312 Ha), el Refugio de Vida Silvestre Campos del Tuyú (3500 Ha), la Reserva Municipal de Punta Rasa (520 Ha), y la Reserva de Biosfera Parque Costero del Sur (30000 Ha).

### 2.2.2 Implicancias en la gestión

El incremento del aporte de nutrientes a este ecosistema, por aportes antrópicos costeros hacia la bahía, podría ocasionar alteraciones sobre la productividad del área y sobre las actividades desarrolladas en la región, como las pesquerías costeras (Volpedo et al., 2005).

Por otro lado, el incremento en la frecuencia y la altura de olas que se propagan desde el E y ESE en la Bahía de Samborombón, combinada con el aumento del nivel medio del mar y la frecuencia, altura y duración de las ondas de tormenta, explicarían, en parte, el incremento de los procesos erosivos y cambios morfodinámicos que se observan desde hace algunos años, especialmente sobre el sector sur de la bahía (Codignotto et al., 2011, 2012). Esta situación condiciona el mantenimiento de los sistemas ecológicos costeros en su estado natural, además de producir pérdida de tierras costeras.

### 2.2.3 Estudios adicionales

La preservación de las características ecológicas del sistema requiere de una mayor comprensión de los impactos que están produciendo los cambios en las condiciones de uso de la zona costera y en las condiciones hidrodinámicas. Para ello se recomienda efectuar estudios de modelación numérica que incluyan:

- Una modelación hidrodinámica, apoyada en mediciones confiables, que provea una representación precisa de las corrientes en la zona.
- Una modelación de olas, apoyada en mediciones confiables, que brinde una representación precisa de su acción erosiva sobre la costa. En este sentido, se recomienda continuar los esfuerzos iniciados por Dragani et al. (2008, 2010) y Codignotto et al. (2012), en donde se estudió la variabilidad de las frecuencias de ocurrencia para cada dirección de incidencia del oleaje en la Bahía de Samborombón a partir de la implementación del modelo SWAN, forzado con los reanálisis de NCEP/NCAR durante un período de más de veinte años.
- Una modelación de calidad de aguas, apoyada en mediciones confiables, que incluya una adecuada identificación de fuentes contaminantes y cuantificación de sus cargas.

## **2.3 Región costera de Montevideo**

### **2.3.1 Descripción**

Tal como se indicó en el Segundo Informe: (i) existen seis celdas de circulación característica del flujo en la Bahía de Montevideo; (ii) un escenario de descarga alta del Río de la Plata modifica el patrón de flujos generado por las descargas locales (arroyos); (iii) la influencia de la descarga de los arroyos sobre la circulación es importante; (iv) en el ciclo de marea completo ocurren cuatro rotaciones del flujo en la zona de ingreso a la bahía; (v) el viento es el forzante dominante de la dinámica en la bahía.

Por otro lado, el aumento del nivel relativo del nivel medio del mar durante el último siglo en la zona de Montevideo, a una tasa de aproximadamente 1 mm/año según Bidegain et al. (2009) y Nagy et al. (2007), ha sido uno de los factores más importantes para explicar la acción erosiva en las costas de esta región, que se manifiesta de manera más activa en momentos de tormentas y alta descarga fluvial (Goso Aguilar et al., 2011).

### **2.3.2 Implicancias en la gestión**

La dinámica de las corrientes en la región costera de Montevideo tiene implicancias en la definición de políticas de manejo de la zona metropolitana. En particular, sobre el uso recreativo, de gran magnitud.

### **2.3.3 Estudios adicionales**

Resulta aconsejable estudiar con modelación numérica las consecuencias que el Cambio Climático puede tener sobre la dinámica de las corrientes en la región costera de Montevideo, que tendrán influencia sobre problemas de contaminación y de erosión y, en consecuencia, sobre la política de manejo de esa zona. Para esto puede considerarse como marco de referencia lo presentado en PNUMA-IdC-CIEDUR (2011), donde se realizaron mapas de vulnerabilidad, determinando 'sitios críticos' en la Ciudad de Colonia del Sacramento a partir aumentos del nivel medio del Río de la Plata de 1 m y 3 m (valor representativo de eventos extremos por la acción de tormentas).

## 3 SALINIDAD

### 3.1 Descripción

La dinámica de las corrientes en el Frente Salino, que prácticamente coincide con el Frente de Turbidez, tiene fuertes implicancias sobre la productividad primaria y las pesquerías.

Los estuarios son, en general áreas favorables al desarrollo de fitoplancton, dado que en esas regiones los nutrientes provenientes de los ríos encuentran condiciones adecuadas de iluminación. La turbidez, como limitante del ingreso de luz al cuerpo de agua, resulta un factor determinante en el desarrollo de la productividad primaria. Por lo tanto, la predicción de la dinámica de las poblaciones pertenecientes a niveles tróficos más altos depende de la adecuada predicción de los niveles de turbidez.

Las condiciones de salinidad y turbidez tienen la mayor influencia sobre la distribución y estructura poblacional de la ictiofauna del Río de la Plata. La corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) es el principal recurso pesquero del Río de la Plata, y su respuesta a las condiciones ambientales define diferencias en el uso de hábitat por clases de edad y estados de maduración durante la época de reproducción (Jaureguizar et al., 2003). Esta variación espacial en la distribución define una pesquería secuencial, en donde intervienen tanto flotas industriales como flotas artesanales y costeras. Por lo tanto, las variaciones espacio-temporales de las condiciones ambientales (salinidad, turbidez) son de gran relevancia en la determinación del uso de hábitat de la corvina rubia, y por consiguiente en la determinación de la interacción de los distintos estadios de la especie con las pesquerías.

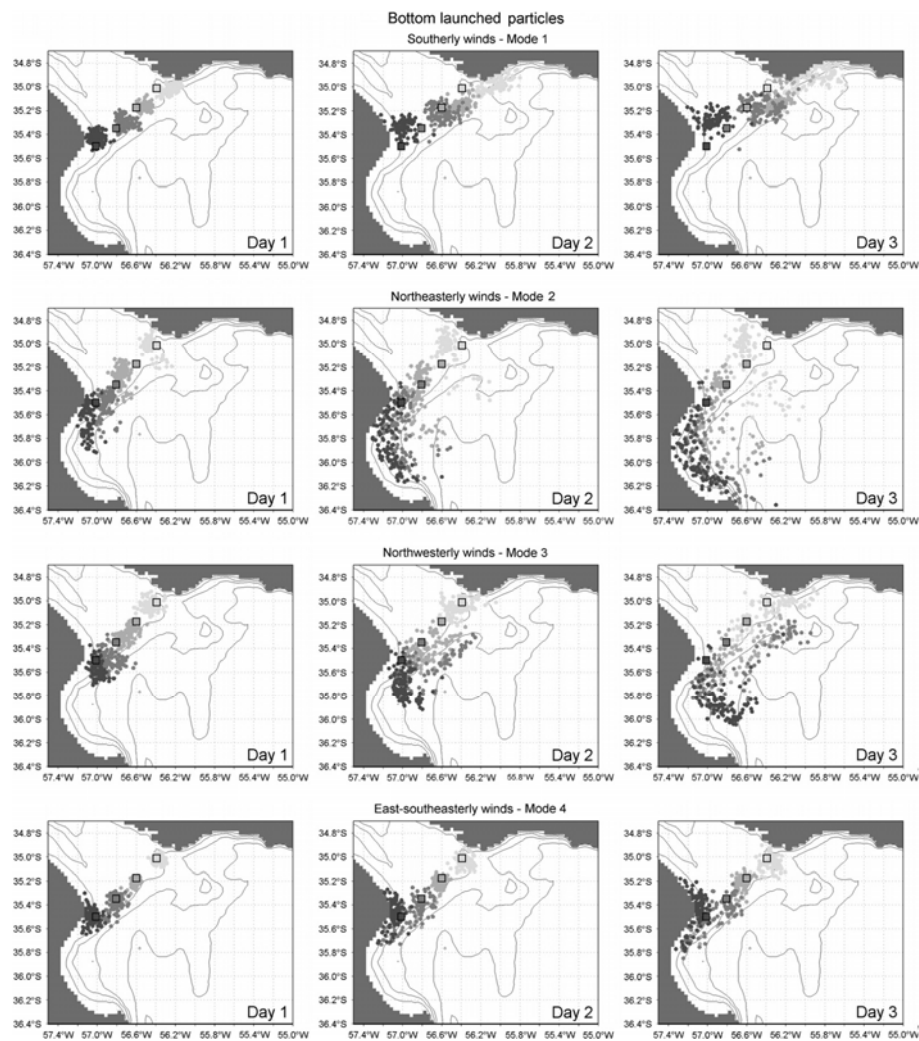
### 3.2 Implicancias en la gestión

La comprensión de los procesos que determinan la salinidad y turbidez, y sus cambios espacio-temporales, es de gran relevancia para la determinación de la variación espacio-temporal de las áreas esenciales a ser conservadas (desove, cría), favoreciendo el desarrollo regional, la conservación de la biodiversidad y una explotación sustentable de los recursos (Simionato et al., 2011).

Como resultado del aumento del nivel medio del mar, bajo los efectos del Cambio Climático, el Frente de Salinidad/Turbidez se desplazará hacia el interior del Río de la Plata. Este corrimiento ha sido estimado en alrededor de 10 km para el escenario de fin de siglo (Kind, 2004), lo cual en principio se considera que no producirá efectos significativos sobre los usos del río que alerten sobre la necesidad de prever medidas de mitigación. Incluso en una situación hipotética extrema (extrapolando la tendencia de elevación del nivel hasta fines de milenio) no se produciría una afectación por salinidad en la zona de toma de agua para el consumo de la Región Metropolitana de Buenos Aires (Kind, 2004).

### 3.3 Estudios adicionales

Es recomendable profundizar los estudios que asocien la distribución de salinidad y turbidez con la ubicación de las zonas de desove/cría, y a partir de allí modelar numéricamente las consecuencias que, sobre estas ubicaciones, pueden tener las variaciones en las condiciones hidrodinámicas asociadas al Cambio Climático. Una primera aproximación de este tipo de análisis se puede encontrar en Simionato et al. (2006, 2008), en donde se simuló la trayectoria de partículas representativas de huevos y larvas de peces planctónicos, liberadas a lo largo de la zona frontal del Río de la Plata y sus alrededores (zonas de desove) y se realizó un seguimiento de las mismas para diferentes condiciones de viento en pequeñas escalas de tiempo (Figura 3.1).



**Figura 3.1.** Posiciones de los grupos de partículas lanzadas desde el fondo sobre el eje del final del Río de la Plata Interior luego de 1, 2 y 3 días de simulación para diferentes direcciones de vientos (Simionato et al., 2008).

## 4 DINÁMICA DE CONTAMINANTES

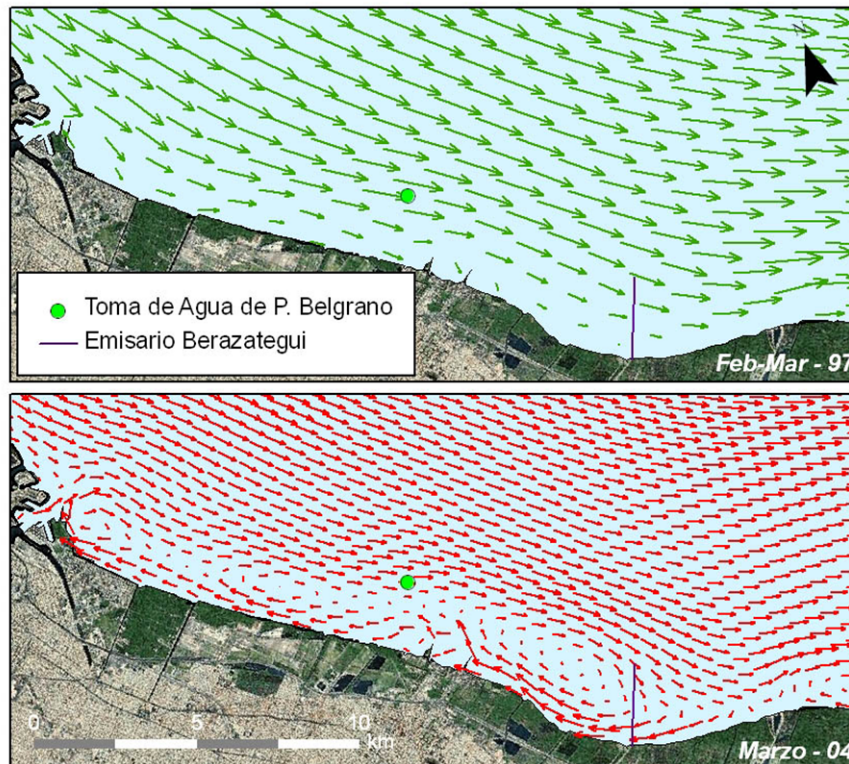
### 4.1 Emisarios subacuáticos

#### 4.1.1 Descripción

Los emisarios subacuáticos constituyen una solución simple, desde el punto de vista tecnológico, para dar cuenta de los efluentes líquidos cloacales de las grandes ciudades. En particular, el Río de la Plata tiene una gran capacidad de dilución, por lo que los emisarios subacuáticos constituyen una opción válida, en la medida en que conduzcan contaminantes asimilables. Esta tecnología permite recuperar usos recreativos costeros, al evitar descargas costeras. Aunque al costo de generar nuevas zonas de uso limitado en torno al punto de descarga, generalmente ubicado en sitios anteriormente poco impactados.

#### 4.1.2 Implicancias en la gestión

Siguiendo las trayectorias de las partículas de agua que fluyen desde la descarga del actual emisario de Berazategui, se observan dos tipos de comportamiento distinto (Menéndez et al. 2011): si el caudal del río Paraná de las Palmas – que es determinante en la imposición de la velocidad de deriva en la Franja Costera Sur – es alto (*Escenario 1997*, con un caudal de aproximadamente  $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ), todas las partículas fluidas muestran una deriva neta hacia el Océano; en cambio, si el caudal es medio (*Escenario 2004*, con un caudal de alrededor de  $3.900 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ó bajo, una fracción significativa (alrededor del 4% del flujo para el *Escenario 2004*, es decir, durante aproximadamente 1 hora por ciclo de marea) retorna hacia aguas arriba a lo largo de la costa, llegando incluso hasta la boca del Riachuelo. Lo que sucede es que, para caudales medios y bajos, se desarrolla una zona de recirculación general que se extiende entre la boca del Riachuelo y el fin de la ensenada de Berazategui; en cambio, para caudal alto la deriva neta es hacia el Océano a todo lo ancho (Figura 4.1). El flujo de retorno se desarrolla sobre tiempos lo suficientemente largos (del orden de 1 semana) como para impedir que llegue a la costa contaminación de tipo orgánica o bacteriológica desde el emisario, pero sí puede aportar contaminantes conservativos o de mayor tiempo de vida. En el Plan Director de AySA, en ejecución, está prevista la extensión de este emisario, con lo cual se evitará este efecto.



**Figura 4.1.** Campos medios de velocidades: Escenario 1997 y Escenario 2004.

La implementación de emisarios subacuáticos plantea la cuestión de qué tipo de tratamiento previo es necesario para el efluente. Partiendo de la base de que los emisarios previstos en el Plan Director de AySA transportarán efluentes de características cloacales – es decir, las descargas provenientes de industrias ya deberían haber sido tratadas para reducir las concentraciones de tóxicos a niveles mínimos –, el pre-tratamiento (es decir, reducción de material sedimentable y flotante por medios físicos) se considera suficiente (Menéndez et al., 2011). En efecto, siendo las bacterias uno de los tipos de contaminante dominante de un efluente cloacal, y quedando descartada la posibilidad de cloración dado su volumen, la implementación de un tratamiento secundario no redundaría en una reducción significativa de la zona de uso limitado en torno a la descarga.

Un efecto similar observan Santoro et al. (2008) con los distintos comportamientos de las descargas de los arroyos Miguelete y Pantanoso en la Bahía de Montevideo. Por lo tanto, sería esperable que sucediera lo mismo con los emisarios en la costa uruguaya.

#### 4.1.3 Estudios adicionales

El planteo de cualquier proyecto de emisario subacuático debe ser acompañado de un estudio de modelación para simular la pluma de contaminación asociada, y determinar así, en función del uso del cuerpo de agua receptor, el tipo de tratamiento necesario.

## **4.2 Descargas térmicas**

### **4.2.1 Descripción**

Las centrales térmicas descargan el agua de refrigeración en el cuerpo de agua. Por un lado, debido al régimen de mareas, ello puede afectar temporariamente a la propia toma de agua de la central, disminuyendo su rendimiento (corto circuito térmico). Por el otro lado, la sobretemperatura puede generar efectos nocivos sobre la fauna acuática.

### **4.2.2 Implicancias en la gestión**

El impacto de las descargas térmicas es en general extensivamente más limitado que el de las cloacales, pero su efecto puede ser localmente muy significativo. Existen criterios para limitar la “zona de mezcla”, definida en términos de la superación de un umbral de sobretemperatura.

### **4.2.3 Estudios adicionales**

Cada proyecto de descarga térmica debe ser acompañado de un estudio de modelación para simular la pluma térmica asociada, y establecer así el alcance del impacto, para determinar si este resulta aceptable.

## **4.3 Zonas de Uso**

### **4.3.1 Descripción**

Las descargas contaminantes (incluidas las térmicas) al cuerpo de agua determinan zonas de uso limitado para consumo, recreación y preservación de la biota acuática. Es necesario delimitar los alcances de estas zonas y, eventualmente, imponer limitaciones a las cargas vertidas.

### **4.3.2 Implicancias en la gestión**

La limitación de las descargas contaminantes debe efectuarse a partir del establecimiento del uso del agua deseable y/o posible del cuerpo receptor. Esto se plasma en la formulación de criterios que indican valores límites a las concentraciones de los distintos contaminantes, a ser verificado durante la mayor parte del tiempo. Sólo con modelación numérica puede determinarse la extensión de estas zonas de uso limitado.

### **4.3.3 Estudios adicionales**

La estrategia de determinación de zonas de uso limitado en base a modelación numérica fue exitosamente aplicada a la Franja Costera Sur (ver Segundo Informe). Es necesario realizar actualizaciones de esos estudios en base a nuevos resultados de muestreos, teniendo en cuenta los cambios que se suceden en las principales fuentes de contaminación, ampliando el conjunto de parámetros indicadores, y reanalizando los valores límites impuestos.

El frente costero en Punta Lara, partido de Ensenada, es de 18 km de los cuales 10 km corresponden a la zona de balneario y el resto a la zona de pesca deportiva<sup>1</sup>. Durante la temporada estival, alrededor de un millón y medio de personas concurren al balneario (Figura 4.2). A pesar de estar prohibido bañarse, el municipio mantiene un grupo de unos 50 guardavidas. Sería recomendable, entonces, encarar “*estudios de balneabilidad*”, tal como los desarrollados para las playas de Montevideo (Piedra Cueva et al., 2002; Fossati et al. 2008), basados en un análisis estadístico de muestreos y resultados de modelación.



**Figura 4.2.** Balneario de Punta Lara (foto: [www.bafilm.com.ar](http://www.bafilm.com.ar)).

---

<sup>1</sup> Punta Lara, la playa top del conurbano (*La Nación*, 11 de enero de 2010)

## 5 DINÁMICA DE SEDIMENTOS FINOS

### 5.1 Sedimentación en canales de navegación

#### 5.1.1 Descripción

El Río de la Plata constituye la puerta de entrada y salida del sistema fluvial de la Cuenca del Plata, sobre el que se desarrolla una intensa actividad de navegación comercial. Sobre las costas del río se sitúan puertos muy importantes para la región, como los de Buenos Aires, La Plata y Montevideo (Tabla 5.1).

La poca profundidad y la continua deposición de los sedimentos en suspensión provenientes de la alta cuenca (principalmente del río Bermejo) impiden garantizar de forma natural el calado de grandes buques. Por lo tanto, la navegación comercial se realiza a través de canales de navegación que deben ser mantenidos periódicamente.

Las vías navegables artificiales del Río de la Plata se extienden por más de 200 km, y están compuestas por los siguientes canales permanentemente mantenidos (Figura 5.1):

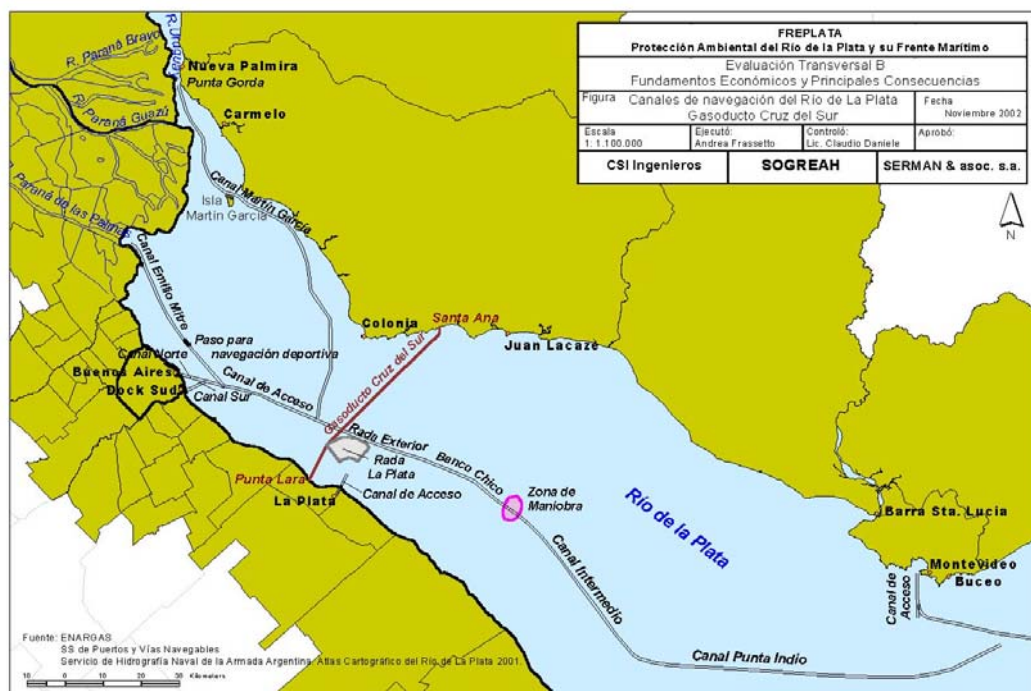
- Desde el río Paraná de las Palmas hacia Buenos Aires: Canal Emilio Mitre
- Desde el puerto de Buenos Aires hacia Rada Exterior: Canal de Acceso Norte, Canal de Acceso Sur, Canal de Acceso.
- Desde la confluencia de los ríos Paraná Guazú/Bravo y Uruguay hacia Rada La Plata: Canales de Martín García
- Desde Puerto La Plata a Rada Exterior: Canal de Acceso al puerto de La Plata.
- Desde Rada Exterior hacia el océano: Canal Intermedio y Canal Punta Indio.
- Canal de Acceso al puerto de Montevideo;

#### 5.1.2 Implicancias en la gestión

El mantenimiento de los canales de navegación, al momento concesionado a las empresas RIOVIA S.A. e HIDROVÍA S.A., presenta permanentemente desafíos para la disposición y el manejo de los sedimentos que se dragan. En particular, por la tendencia a la profundización creciente de los canales de navegación, para permitir la salida al océano con mayor calado.

**Tabla 5.1.** Principales puertos en el Río de la Plata y sus actividades (Fuente: Administración Portuaria Bonaerense y Anuario Portuario y Marítimo 2001).

Puerto	País	Actividad
San Clemente	Argentina	Comercial (pesca)
Gral. Lavalle	Argentina	Comercial (pesca)
La Plata	Argentina	Comercial (pesca y carga)
Dock Sud	Argentina	Comercial (carga)
Buenos Aires	Argentina	Comercial (carga), transporte personas y turismo
Olivos	Argentina	Deportivo y recreativo, Comercial (carga)
San Isidro	Argentina	Deportivo y recreativo
Nueva Palmira	Uruguay	Comercial (carga)
Carmelo	Uruguay	Deportivo y transporte de personas
Colonia	Uruguay	Comercial (carga), deportivo, transporte de personas, turismo.
Juan Lacaze	Uruguay	Comercial (carga) y deportivo
Montevideo	Uruguay	Comercial (carga), transporte de personas y turismo
Buceo	Uruguay	Deportivo y recreativo
Piriápolis	Uruguay	Deportivo y transporte de personas, Comercial (pesca)
Punta del Este	Uruguay	Deportivo y recreativo, Comercial (pesca)
La Paloma	Uruguay	Comercial (pesca) y deportivo



**Figura 5.1.** Canales de navegación en el Río de la Plata (imagen: Proyecto FREPLATA).

### **5.1.3 Estudios adicionales**

Resulta recomendable estudiar, mediante modelación numérica, la posible afectación del Cambio Climático sobre las tasas de sedimentación en los canales de navegación, ya que condiciona las proyecciones sobre su mantenimiento (gestión de dragados). Esto implica tanto evaluar los cambios posibles en la producción de sedimentos en la Alta Cuenca del Plata, como la variación en las condiciones hidrodinámicas del río.

Por otro lado, la incorporación de nuevas zonas de disposición para los sedimentos dragados, debería estar acompañada de estudios de modelación previos que evalúen su impacto en términos de perturbación de las corrientes, y de destino final de esos sedimentos luego de la progresiva erosión de los depósitos.

## **5.2 Plumaz de turbidez**

### **5.2.1 Descripción**

La ejecución de zanjas y excavaciones en el Río de la Plata para la realización de obras, así como la movilización de sedimentos ligados a las actividades de dragado, implican la resuspensión de sedimentos finos, incrementando los niveles de turbidez en el entorno.

### **5.2.2 Implicancias en la gestión**

El aumento de la turbidez origina impactos sobre otros usos del agua (consumo, recreación, preservación de la biota). Si el dragado se efectuara en zonas donde los sedimentos presentan niveles considerables de contaminación, se tornaría crítico detectar posibles afectaciones a tomas de agua, por lo cual habría que efectuar un seguimiento exhaustivo como el propuesto por Cardini et al. (2002).

### **5.2.3 Estudios adicionales**

Cada obra que deba ejecutarse en el Río de la Plata, y que implique movilización de sedimentos, debería ir acompañada de estudios ad-hoc evaluando, mediante modelación numérica, las implicancias de la pluma de turbidez.

## **5.3 Deposición en desembocaduras**

### **5.3.1 Descripción**

Las descargas desde las zonas urbanas hacia el Río de la Plata, a través de arroyos urbanos y conductos, contienen cargas apreciables de sólidos finos, con contaminantes sorbidos de origen industrial. Parte de esta carga se deposita en zonas de remanso adyacentes a la costa.

### **5.3.2 Implicancias en la gestión**

La presencia de sedimentos de fondo contaminados en torno a descargas constituye un motivo de preocupación permanente por sus implicancias sobre la calidad del agua costera,

que puede verse afectada durante eventos que determinen la resuspensión de parte de ese sedimento ó la resolubilización de algunos de los elementos sorbidos.

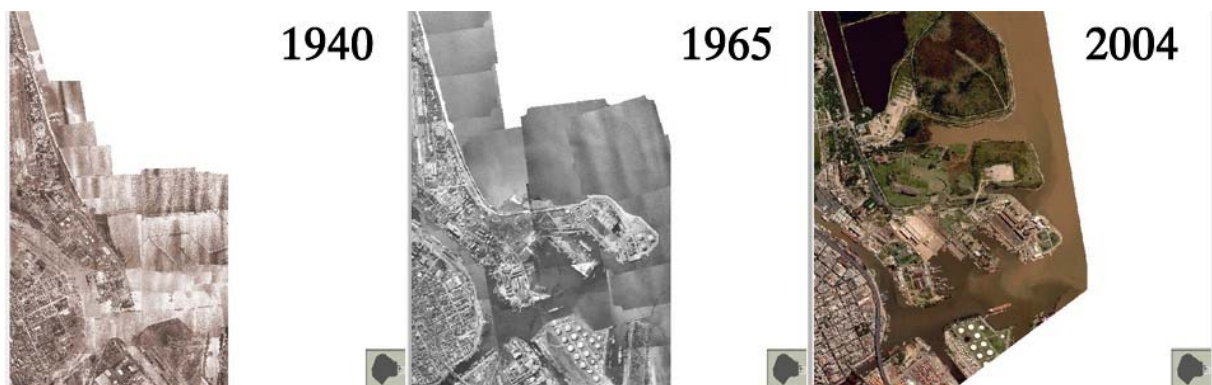
### **5.3.3 Estudios adicionales**

Se recomienda estudiar, mediante simulación numérica, la responsabilidad de grandes descargas sobre la contaminación de sedimentos de fondo observada en torno a sus desembocaduras. Para ello deberán cuantificarse las cargas de sólidos desde esas descargas urbanas, analizarse las cargas contaminantes asociadas a esos sólidos, y medirse la concentración de esos contaminantes en zonas de la costa, para establecer relaciones. Este conocimiento constituiría un primer paso para delimitar responsabilidades en la producción de sedimentos contaminados en la zona costera.

## **5.4 Efectos de rellenos**

### **5.4.1 Descripción**

Los rasgos geomorfológicos reconocidos de la zona costera de la Ciudad de Buenos Aires corresponden a una costa de acreción, condicionada por las características de la hidrodinámica litoral. Este sector de ribera presenta una importante modificación respecto de sus características naturales debido a la acción antrópica (Holocwan, 1996). En la evolución costera de la ribera de la Ciudad de Buenos Aires, los rellenos artificiales deben ser considerados como un importante proceso morfogenético. Según Marcomini y López (2004), las superficies rellenadas artificialmente desde 1836 en el litoral de la ciudad de Buenos Aires, hasta la configuración de la costa actual, fue de aproximadamente 2.054 hectáreas, con una progradación que varió de 400 a 1.000 m, dependiendo del sector costero. El periodo durante el cual fueron rellenadas las mayores áreas fue entre 1964 y 1991, correspondiendo en un 80% al sector de Costanera Sur y en un 20% al sector de Costanera Norte. A modo de ilustración, en las figuras 5.2 y 5.3 se presentan algunos de estos cambios en la línea de costa en el sector de Costanera Sur.



**Figura 5.2.** Comparación del sector costero de Costanera Sur (<http://mapa.buenosaires.gov.ar/>).



**Figura 5.3.** Fotografías aéreas referidas a los años 1964 y 1998 de la Costanera Sur (Marcomini y López, 2004).

#### **5.4.2 Implicancias en la gestión**

El recrecimiento de la costa produce impactos sobre otros usos del agua (consumo, recreación, preservación de la biota). Además, afecta la geomorfología en zonas aledañas.

#### **5.4.3 Estudios adicionales**

Cada obra de relleno que pretenda ejecutarse en las costas del Río de la Plata debería ir acompañada de estudios ad-hoc evaluando, mediante modelación numérica, los impactos de la nueva forma costera (por ejemplo: Re et al., 2010).

### **5.5 Avance del Frente del Delta**

#### **5.5.1 Descripción**

Según Syvitski et al. (2009), la mayoría de los deltas más grandes del mundo se encuentra en procesos de hundimiento, debido básicamente a una vulnerabilidad creciente respecto de las inundaciones. La estimación conservadora Syvitski et al. (2009) dice que la superficie deltaica vulnerable a las inundaciones podría aumentar en un 50% bajo las proyecciones actuales de aumento del nivel del mar en el siglo XXI, y que esta cifra podría aumentar si la

captura de sedimentos aguas arriba es mayor y sigue impidiendo el crecimiento de los deltas.

En este contexto mundial, el Frente del Delta del Paraná mantiene, por el contrario, una actividad progradatoria sostenible, sin visualizarse, al momento, situaciones que puedan modificar esta condición.

El Frente del Delta del Paraná es el único sector de la costa argentina del Río de la Plata en continua progradación, ya que, en general, la costa del Río de la Plata es erosiva.

### **5.5.2 Implicancias en la gestión**

La aparición de nuevas islas en el Frente del Delta del Paraná es una fuente de posible conflictividad jurisdiccional entre Argentina y Uruguay, a pesar de que la soberanía de futuras islas está reglamentada en el Capítulo VIII del Tratado del Río de la Plata, en el artículo 44:

#### *CAPITULO VIII - Islas (artículos 44 al 46)*

*ARTICULO 44. Las islas existentes o las que en el futuro emerjan en el Río, pertenecen a una u otra Parte según se hallen a uno u otro lado de la línea indicada en el artículo 41., con excepción de lo que se establece para la Isla Martín García en el artículo 45.*

*ARTICULO 45. La Isla Martín García será destinada exclusivamente a reserva natural para la conservación y preservación de la fauna y flora autóctonas, bajo jurisdicción de la República Argentina, sin perjuicio de lo establecido en el artículo 63.*

*ARTICULO 46. Si la Isla Martín García se uniera en el futuro a otra isla, el límite correspondiente se trazará siguiendo el perfil de la Isla Martín García que resulta de la carta H-118 a la que se refiere el artículo 41. Sin embargo, los aumentos por aluvión de Martín García, que afecten sus actuales accesos naturales a los canales de Martín García (Buenos Aires) y del Infierno, pertenecerán a esta Isla.*

La línea de puntos que divide la jurisdicción uruguaya de la argentina se presenta en la Figura 5.4.



**Figura 5.4.** Límite Argentina – Uruguay (Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo).

Los casos del Islote El Matón y la Isla Timoteo Domínguez son ejemplo de estas nuevas formaciones emergidas en el Río de la Plata, señalando claramente que el Delta del Paraná no es exclusivamente argentino. El Islote El Matón, de 4 km<sup>2</sup>, hizo su aparición en el banco homónimo a fines de la década de 1940, que junto al sector acrecionado a la isla Martín García desde comienzos de la década de 1950 (Timoteo Domínguez, de 2 km<sup>2</sup>), conforman prácticamente la totalidad de lo que se denomina *delta uruguayo* (Medina y Codignotto, 2011). Las Islas Timoteo Domínguez (Uruguay) y Martín García (Argentina) conforman la primera frontera seca entre ambos países (Figura 5.5).



**Figura 5.5.** Isla Martín García (Argentina), Isla Timoteo Domínguez (Uruguay) e Islote El Matón (Uruguay).

### **5.5.3 Estudios adicionales**

Resulta recomendable hacer proyecciones sobre la forma cómo seguirá creciendo el Frente del Delta del Paraná, incluyendo la influencia del Cambio Climático, tal como los que se encuentran en marcha en el INA (Badano et al., 2012).

## **5.6 Dinámica general**

### **5.6.1 Descripción**

En el Río de la Plata Superior la dinámica de sedimentos está dominada por la deposición de sedimentos provenientes de los tributarios y, en menor medida, por la marea. En esta región el viento impacta como tercer forzante en orden de importancia, advectando el sedimento junto con el agua.

En el Río de la Plata Medio la concentración de los sedimentos en suspensión se reduce significativamente, como consecuencia de que los sedimentos decantan mayoritariamente en la región precedente.

En proximidades y al norte de Punta Piedras, en condiciones hidrometeorológicas moderadas, los sedimentos son resuspendidos por efectos de la marea, que incrementa su magnitud significativamente hacia la Punta. En cambio, durante las grandes tormentas esta región probablemente se rellene, de modo de conducir al relativo equilibrio morfológico

observado en la naturaleza. En esta zona se observa una fuerte vinculación entre la concentración de los sedimentos suspendidos y los ciclos de sicigias y cuadraturas de la marea

En la región comprendida entre Punta Piedras y Montevideo y la Barra del Indio, en condiciones hidrometeorológicas moderadas se produce la deposición del sedimento resuspendido en la zona anterior. En esta zona, los vientos parecen afectar la concentración de sedimentos en suspensión. Durante las grandes tormentas, se resuspende el material depositado, generando erosión del fondo.

### **5.6.2 Implicancias en la gestión**

La dinámica general del transporte y destino de los sedimentos en el Río de la Plata tiene implicancias sobre grandes temas de gestión: dragados de mantenimiento de los canales de navegación, generación de nuevo territorio, pesquerías, destino de contaminantes.

### **5.6.3 Estudios adicionales**

En el marco del proyecto “Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats” (PNUD/GEF/RLA/99/G31) y con financiamiento del Fondo Francés para el Medioambiente Global (FFEM) se ha estado desarrollando un proyecto internacional entre instituciones argentinas, uruguayas y francesas (Proyecto FREPLATA-FFEM), cuya finalidad fue la de implementar un modelo hidrosedimentológico para el Río de la Plata, que permitiera mejorar la comprensión de la dinámica de los sedimentos en el Río de la Plata.

El gran esfuerzo realizado en obtener nueva información de campo y en implementar el modelo hidrosedimentológico ha servido para tener una primera aproximación al conocimiento integral de esta dinámica en el Río de la Plata. Estas tareas requieren de una continuidad. En este sentido que se vienen desarrollando dos tesis doctorales (Mónica Fossati, IMFIA-UR; Diego Moreira, CIMA-AR) involucrando estudios acerca de la influencia del oleaje (Fossati et *al.*, 2012) y comparaciones con nuevas observaciones e imágenes satelitales, respectivamente.

## 6 CONCLUSIONES

Las grandes problemáticas identificadas para el Río de la Plata son: grandes patrones de circulación, salinidad, dinámica de contaminantes y dinámica de sedimentos finos. Para cada una de ellas se han descripto las implicancias que los resultados de los estudios de modelación tienen sobre la gestión, y planteado el tipo de estudios adicionales que sería conveniente encarar.

Para la problemática de grandes patrones de circulación se han identificado los siguientes problemas particulares: corredores de flujo, región de Bahía de Samborombón, y región costera de Montevideo.

Para el problema de corredores de flujo se tiene que:

- La existencia de los corredores de flujo, para condiciones hidrometeorológicas moderadas, implica que en esas situaciones lo descargado en cada margen afecta básicamente a esa margen y no a la otra, lo cual determina las responsabilidades nacionales (Argentina y Uruguay) sobre la calidad del agua del río.
- El ingreso de las ondas de tormenta asociadas a las Sudestadas conduce a una compresión del corredor Uruguay y una expansión del corredor Palmas en la zona superior, y viceversa en la zona intermedia, cuyo alcance depende de las características de los vientos asociados a la tormenta respectiva. No obstante, no llegan a producirse rupturas de los corredores de flujo y llegada de agua desde un corredor costero a la otra costa, es decir, seguiría valiendo que la calidad del agua de cada margen es responsabilidad de cada parte.
- Es recomendable profundizar sobre la posibilidad de contaminaciones cruzadas entre márgenes, teniendo en cuenta los aportes significativos de las descargas desde la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA), el Área Metropolitana de Montevideo (AMM) y las industrias pasteras de la costa uruguaya. Los estudios deberían concentrarse en la modelación numérica de las principales plumas de contaminación, en términos de carga másica de contaminantes significativos emergentes de cada costa, durante la ocurrencia de grandes tormentas, incluyendo no sólo a las Sudestadas, sino también otras asociadas a vientos provenientes de otras direcciones.

Para el problema de la región de la Bahía de Samborombón se tiene que:

- El incremento del aporte de nutrientes de origen antrópico a este ecosistema podría ocasionar alteraciones sobre la productividad del área y sobre las actividades desarrolladas en la región, como las pesquerías costeras.

- El incremento en la frecuencia y la altura de olas que se propagan desde el E y ESE en la Bahía de Samborombón, combinada con el aumento del nivel medio del mar y la frecuencia, altura y duración de las ondas de tormenta, explicarían, en parte, el incremento de los procesos erosivos y cambios morfodinámicos que se observan desde hace algunos años, especialmente sobre el sector sur de la bahía.
- Se recomienda efectuar estudios de modelación numérica que incluyan una modelación hidrodinámica que provea una representación precisa de las corrientes en la zona, una modelación de olas que brinde una representación precisa de su acción erosiva sobre la costa, y una modelación de calidad de aguas que incluya una adecuada identificación de fuentes contaminantes y cuantificación de sus cargas.

Para el problema de la región costera de Montevideo se tiene que:

- La dinámica de las corrientes en la región costera de Montevideo tiene implicancias en la definición de políticas de manejo de la zona metropolitana, particularmente sobre el uso recreativo, de gran magnitud.
- Resulta aconsejable estudiar con modelación numérica las consecuencias que el Cambio Climático puede tener sobre la dinámica de las corrientes en esta región costera.

Para la problemática de salinidad se tiene que:

- La salinidad y turbidez, y sus cambios espacio-temporales, tienen gran relevancia sobre áreas de desove y cría de ictiofauna.
- Es recomendable profundizar los estudios que asocien la distribución de salinidad y turbidez con la ubicación de las zonas de desove/cría, y a partir de allí modelar numéricamente las consecuencias que, sobre estas ubicaciones, pueden tener las variaciones en las condiciones hidrodinámicas asociadas al Cambio Climático.

Para la problemática de dinámica de contaminantes se han identificado los siguientes problemas particulares: emisarios subacuáticos, descargas térmicas, y zonas de uso.

Para el problema de emisarios subacuáticos se tiene que:

- La implementación de emisarios subacuáticos plantea la cuestión de qué tipo de tratamiento previo es necesario para el efluente.
- El planteo de cualquier proyecto de emisario subacuático debe ser acompañado de un estudio de modelación para simular la pluma de contaminación asociada, y determinar así, en función del uso del cuerpo de agua receptor, el tipo de tratamiento necesario.

Para el problema de descargas térmicas se tiene que:

- El impacto de las descargas térmicas es en general extensivamente más limitado que el de las cloacales, pero su efecto puede ser localmente muy significativo.
- Cada proyecto de descarga térmica debe ser acompañado de un estudio de modelación para simular la pluma térmica asociada, y establecer así el alcance del impacto, para determinar si este resulta aceptable.

Para el problema de zonas de uso se tiene que:

- La limitación de las descargas contaminantes debe efectuarse a partir del establecimiento del uso del agua deseable y/o posible del cuerpo receptor. Esto se plasma en la formulación de criterios que indican valores límites a las concentraciones de los distintos contaminantes, a ser verificado durante la mayor parte del tiempo. Sólo con modelación numérica puede determinarse la extensión de estas zonas de uso limitado.
- Es recomendable llevar adelante actualizaciones de los estudios efectuados para determinar zonas de uso limitado en la Franja Costera Sur, en base a nuevos resultados de muestreos, teniendo en cuenta los cambios que se suceden en las principales fuentes de contaminación, ampliando el conjunto de parámetros indicadores, y reanalizando los valores límites impuestos.
- Para el frente costero en Punta Lara, partido de Ensenada, sería recomendable encarar "*estudios de balneabilidad*", tal como los desarrollados para las playas de Montevideo, basados en un análisis estadístico de muestreos y resultados de modelación.

Para la problemática de dinámica de sedimentos finos se han identificado los siguientes problemas particulares: sedimentación en canales de navegación, plumas de turbidez, deposición en desembocaduras, efectos de rellenos, avance del Frente del Delta, y dinámica general.

Para el problema de sedimentación en canales de navegación se tiene que:

- El mantenimiento de los canales de navegación presenta permanentemente desafíos para la disposición y el manejo de los sedimentos que se dragan. En particular, por la tendencia a la profundización creciente de los canales de navegación, para permitir la salida al océano con mayor calado.
- Resulta recomendable estudiar, mediante modelación numérica, la posible afectación del Cambio Climático sobre las tasas de sedimentación en los canales de navegación, ya que condiciona las proyecciones sobre su mantenimiento (gestión de dragados). Esto implica tanto evaluar los cambios posibles en la producción de sedimentos en la Alta Cuenca del Plata, como la variación en las condiciones hidrodinámicas del río.
- La incorporación de nuevas zonas de disposición para los sedimentos dragados debería estar acompañada de estudios de modelación previos, que evalúen su impacto en términos de perturbación de las corrientes, y de destino final de esos sedimentos luego de la progresiva erosión de los depósitos.

Para el problema de plumas de turbidez se tiene que:

- El aumento de la turbidez origina impactos sobre otros usos del agua (consumo, recreación, preservación de la biota).
- Cada obra que deba ejecutarse en el Río de la Plata, y que implique movilización de sedimentos, debería ir acompañada de estudios ad-hoc evaluando, mediante modelación numérica, las implicancias de la pluma de turbidez.

Para el problema de deposición en desembocaduras se tiene que:

- La presencia de sedimentos de fondo contaminados en torno a descargas urbanas constituye un motivo de preocupación permanente por sus implicancias sobre la calidad del agua costera, que puede verse afectada durante eventos que determinen la resuspensión de parte de ese sedimento o la resolubilización de algunos de los elementos sorbidos.
- Como un primer paso para delimitar responsabilidades en la producción de sedimentos contaminados en la zona costera, se recomienda estudiar, mediante simulación numérica, el aporte de grandes descargas urbanas a la contaminación de los sedimentos de fondo observada en torno a sus desembocaduras.

Para el problema de efectos de rellenos se tiene que:

- El recrecimiento de la costa produce impactos sobre otros usos del agua (consumo, recreación, preservación de la biota). Además, afecta la geomorfología en zonas aledañas.
- Cada obra de relleno que pretenda ejecutarse en las costas del Río de la Plata debería ir acompañada de estudios ad-hoc evaluando, mediante modelación numérica, los impactos de la nueva forma costera.

Para el problema de avance del Frente del Delta se tiene que:

- La aparición de nuevas islas en el Frente del Delta del Paraná es una fuente de posible conflictividad jurisdiccional entre Argentina y Uruguay, a pesar de que la soberanía de futuras islas está reglamentada en el Capítulo VIII del Tratado del Río de la Plata.
- Resulta recomendable hacer proyecciones sobre la forma cómo seguirá creciendo el Frente del Delta del Paraná, incluyendo la influencia del Cambio Climático.

Para el problema de dinámica general se tiene que:

- La dinámica general del transporte y destino de los sedimentos en el Río de la Plata tiene implicancias sobre grandes temas de gestión: dragados de mantenimiento de los canales de navegación, generación de nuevo territorio, pesquerías, destino de contaminantes.
- Es recomendable apoyar los esfuerzos para la continuación de los estudios en marcha sobre dinámica general de sedimentos finos.

Estas recomendaciones no agotan las posibilidades y necesidades de estudios, pero el presente documento constituye una base de referencia a partir de la cual podrán identificarse nuevas problemáticas ó enmarcarse nuevos problemas específicos.

## REFERENCIAS

- Badano, N.D., Sabarots Gerbec, M., Re, M., Menéndez, A.N., 2012. A coupled hydrosedimentologic model to assess the advance of the Parana River Delta Front. River Flow 2012, San Jose, Costa Rica, September.
- Bidegain, M., Severova, V. y de los Santos, B, 2009. Climatología de base de variables climáticas, nivel medio del mar y mapas de riesgo geológico. In: Proyecto URU/07/G32 "Implementación de medidas piloto de adaptación al cambio climático en áreas costeras del Uruguay". PNUD-DINAMA
- Cardini, J.C., Garea, M., Campos, M.R., 2002. Modelación del transporte de sedimentos puestos en suspensión por actividades de dragado en el Río de la Plata, para la generación en tiempo real de pronósticos de afectación de áreas costeras. MECOM 2002, First South-American Congress on Computational Mechanics, Santa Fe-Paraná, Argentina, Octubre.
- Codignotto, J.O., Dragani, W.C., Martin, P.B., Campos, M.I., Alonso, G., Simionato, C.G., Medina, R.A., 2011. Erosión en la bahía de Samborombón y cambios en la dirección de los vientos, provincia de Buenos Aires, Argentina. Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat., n.s. , 13(2): 135-138.
- Codignotto, J.O., Dragani, W.C., Martin, P.B., Simionato, C.G., Medina, R.A., Alonso, G., 2012. Wind-wave climate change and increasing erosion in the outer Río de la Plata, Argentina. Continental Shelf Research, 38, 110–116.
- Dragani, W.C., Garavento, E. Simionato, C., Nuñez, M., Martín, P, Campos, M.I., 2008. Wave simulation in the outer Río de la Plata estuary: an evaluation of SWAN model. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 134(5),299-305.
- Dragani, W.C., Martin, P., Campos, M.I., Simionato, C., 2010. Are wind wave heights increasing in South-eastern South American continental shelf between 32S and 40S? Continental Shelf Research, 10.
- Fossati, M., Cayocca, F., Piedra-Cueva, I., 2012. Dinámica de sedimentos finos en el Río de la Plata. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, San José, Costa Rica.
- Goso Aguilar, C, Mesa, V., Alvez, M., 2011. Sinopsis geológico-ambiental de la costa platense y atlántica de Uruguay. En 'Problemática costera en Provincia de Buenos Aires, Uruguay y Río Grande del Sur', pp 59-76, Croquis, Buenos Aires.

- Holocwan, P.T., 1996. Evolución y acción antrópica en el sector costero de la ciudad de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería* (10):144-168. Buenos Aires.
- Huret M., Dadou I., Dumas F., Lazure P., Garçon V., 2005. Coupling physical and biogeochemical processes in the Río de la Plata plume. *Continental Shelf Research*, 25, pp. 629–653.
- Jaureguizar, A.J., Bava, J., Carozza, C.R., Lasta, C.A., 2003. Distribution of whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* in relation to environmental factors at the Río de la Plata estuary, South America. *Marine Ecology Progress Series* 255, 271–282.
- Kind, V.M., 2004. Desplazamiento del frente de salinidad del Río de la Plata debido al aumento del nivel medio del mar. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería (FI), Universidad de Buenos Aires (UBA), pp. 172.
- Marcomini, S.C., López, R.A., 2004, Generación de nuevos ecosistemas litorales por albardones de relleno en la costa de la ciudad de Buenos Aires, *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59 (2): 261-272.
- Medina, R.A., Codignotto, J.O., 2011. Morfodinámica histórica del Delta del Paraná (1750-2010). XVIII Congreso Geológico Argentino, mayo, Neuquén
- Nagy, G., Gómez, M. y Fernández, V., 2007. El aumento del nivel del mar en la costa uruguaya del Río de la Plata. Tendencias, vulnerabilidades y medidas para la adaptación. En: *Medio Ambiente y Urbanización. Cambio climático, vulnerabilidad y adaptación en ciudades de América Latina*. IEED AL, 67:77-93.
- PNUMA-IdC-CIEDUR, 2011. Vulnerabilidad y adaptación ante el Cambio Climático para GEO Ciudades: Colonia del Sacramento, Uruguay. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Intendencia de Colonia (IdC) y Centro Interdisciplinario de Estudios sobre el Desarrollo, Uruguay (CIEDUR). Montevideo, Uruguay. ISBN: 978-9974-630-11-6.
- Re, M., Menéndez, A. N., 2006. Desarrollo de capas de mezcla entre los corredores de flujo del Río de la Plata Interior. XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela, Octubre.
- Re, M., García, P. E., Lecertúa, E. A., 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.
- Santoro, P., Fossati, M., Piedra-Cueva, I., 2008. Análisis de la circulación en la Bahía de Montevideo. XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia.
- Simionato, C.G., Berasategui, A., Meccia, V.L., Acha, M., Mianzan, H., 2006. The potential role of wind variability on plankton retention in the Río de la Plata Estuary: a numerical study. *Proceedings of 8 ICSHMO*, Foz do Iguazu, Brazil, April, INPE, p. 1383-1391.
- Simionato, C.G., Berasategui, A., Meccia, V.L., Acha, M., Mianzan, H., 2008. Short time-scale wind forced variability in the Río de la Plata Estuary and its role on ichthyoplankton retention, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76, 211-226.
- Syvitski, J.P.M. , Kettner, A.J., Overeem, I., Hutton, E.W.H., Hannon, M.T., Brakenridge, G.R., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L., Nicholls, R.J., 2009. Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, 2, 681 – 686.

Volpedo, A.V., Yunes Nuñez, T., Fernandez Cirelli, A., 2005. El humedal mixohalino de Bahía Samborombón: conservación y perspectivas. En: Humedales Fluviales de América del Sur. Hacia un manejo sustentable. J. Peten y J. Cappato (comp.): 89-110. Ediciones Proteger - UICN.