



## Nutrientes en los cuerpos de agua del departamento de Montevideo

### Ruben Canavese (\*)

CSI Ingenieros. Asistente Técnico en CSI Ingenieros desde el año 2013, ha participado como técnico en diversos estudios de línea de base y monitoreos de biota acuática y de calidad de agua y sedimentos.

### Gabriela Larrañaga

CSI Ingenieros

### Federico Viana

Asesor externo de CSI Ingenieros.

**TEMA: Tema 1: tratamiento y conducción de efluentes domiciliarios e industriales, gestión y drenaje urbano.**

**CUENCA:** Río de la Plata

**ODS: Vida de ecosistema terrestre**



(\*) Soriano 1180, Montevideo, Uruguay. e-mail: [rcanavese@csi-ing.com](mailto:rcanavese@csi-ing.com).

### RESUMEN

El actual trabajo se enmarca en los estudios ambientales de la etapa de diagnóstico del Plan Director de Saneamiento y Drenaje Urbano de Montevideo de la Intendencia de Montevideo. Se realizó un análisis espacial y temporal de datos de clorofila a y de los nutrientes nitrógeno y fósforo totales, provenientes de los programas de monitoreo de los cursos hídricos de Montevideo del laboratorio del Servicio de Evaluación de la Calidad y Control Ambiental. A partir de este análisis se verifica que los cursos fluviales interiores, los arroyos Pantanoso, Miguelete, las Piedras, Carrasco, Toledo y Manga, y la región del Río de la Plata frente a Montevideo, Bahía y franja costera, presentan concentraciones de nutrientes que indican condiciones de eutrofia e hipereutrofia permanentes, mientras que a partir de los niveles de Clorofila a, el estado trófico del Río de la Plata oscilaría entre hipereutrófico y mesotrófico. Para el caso del fósforo total, único nutriente evaluado considerado en el decreto 253/79, los resultados tienen entre 80 y 100 % de valores no aceptables. Los recursos hídricos de Montevideo tienen diferentes forzantes, los arroyos interiores presentan industrias que aportan sus efluentes de manera directa al curso de agua con valores de fósforo total hasta 6.000 veces superiores al valor normativo para vertidos de esta naturaleza, mientras que para la región costera del Río de la Plata las condiciones ambientales pueden relacionarse con el sistema de circulación y de corrientes de la costa Norte del río.

**Palabras Clave:** Clorofila a, eutrofización, Montevideo, nutrientes.

### INTRODUCCION

El ingreso de nutrientes, principalmente de los compuestos de nitrógeno y fósforo, debido a la actividad antrópica, es una de las principales causas de deterioro de la calidad de los cuerpos de agua, al inducir la eutrofización. La eutrofización es un proceso de deterioro de los cuerpos hídricos a causa del ingreso de nutrientes con la consecuente disminución de la calidad del agua, lo que interfiere con los servicios ecosistémicos que brinda el recurso, como recreación, potabilización y preservación de la biota hídrica, entre otros (Mazzeo *et al.*, 2002). Como tal, una elevada concentración de nutrientes no representa un riesgo sanitario para la población que hace uso de los cursos de agua, sin embargo, favorece el crecimiento masivo (floraciones) de productores primarios algunos de los cuales son capaces de desarrollar toxinas (EPA, 2001; UNESCO, 2009).

La persistencia de floraciones algales en sistemas con alta productividad incrementa el consumo primario de oxígeno debido a la respiración de las algas y un consumo secundario asociado a la degradación aeróbica de la biomasa por microorganismos que utilizan como sustrato las cianobacterias cuando la floración sedimenta. Este consumo puede causar anoxia, principalmente en las zonas profundas, causando la muerte de la biota acuática aerobia. En ausencia de oxígeno, predomina el metabolismo anaerobio y se generan metabolitos tóxicos, como el ácido sulfhídrico, de olor desagradable, que aumentan la toxicidad (De León, 2002; Mazzeo 2002).



A nivel nacional, los cursos fluviales continentales se encuentran afectados por elevadas concentraciones de nutrientes, que se originan desde las actividades agrícolas cercanas. Diversos estudios se han realizado a nivel de cursos de agua menores, registrándose condiciones de eutrofia e hipereutrofia (e.g. Pacheco *et al.*, 2012; Aubriot *et al.*, 2013). En tanto, los principales recursos hídricos del país como los ríos Negro y Uruguay presentan condiciones que van desde mesotróficas hasta super-eutróficas (Míguez, 2007; CARU 2016, DINAMA 2016). En el Suroeste de Uruguay, la cuenca del río Santa Lucía ha recibido una gran atención por el estado de la calidad de sus aguas, Letelier-Carrasco *et al.*, (2014) indican para esta zona concentraciones de fósforo total (PT) superiores a 100 µg/L, el estado trófico de esta cuenca se encuentra entre eutrófico e hipereutrófico (DINAMA, 2016).

Históricamente, las condiciones tróficas del Río de la Plata lo definen como un sistema eutrófico, en el cual prevalece altos valores de materia suspendida, nutrientes y clorofila planctónica (Nagy *et al.*, 2002a,b; Debastiani *et al.*, 2016). Datos de muestreos realizados por CARP entre 1980 y 1990 publicados por Jaime *et al.* (2001) indican, ya para este periodo, niveles de nitrógeno total (NT) y PT que señalan a una condición eutrófica del Río de la Plata, con niveles de PT superiores al valor de referencia del Decreto 253/79 y modificativos posteriores de 0,025 mg/L.

El presente trabajo se enmarca dentro de los estudios ambientales realizados en la etapa de diagnóstico del Plan Director de Saneamiento y Drenaje Urbano de Montevideo (PDSUM). El PDSUM surge como una actualización del Plan Director de Saneamiento de Montevideo del año 1995 cuyo principal objetivo fue asegurar una superior calidad de vida de la población del departamento de Montevideo a través de la introducción de mejoras en el saneamiento urbano y ambiental. El PDSUM integra este objetivo y lo actualiza para establecer los nuevos ejes de gestión del sector saneamiento considerando una concepción integral de la gestión de los recursos naturales que garantice el desarrollo de las actividades presentes y futuras de la población en un esquema de convivencia con el medio natural. Bajo este esquema se encuentra el presente estudio de los nutrientes de los principales cursos de agua del departamento.

El objetivo del presente trabajo se enmarca en los estudios ambientales sobre la calidad de los cursos fluviales de Montevideo, mediante el estudio de la carga de  $N_T$  y  $P_T$  en los principales cursos hídricos de Montevideo, a través de un análisis espacial y temporal, buscando identificar tendencias y patrones. Se analiza, además, la concentración de Clorofila a ( $Cl_{o_a}$ ) como indicador de biomasa fitoplanctónica, de calidad de agua y de nutrientes.

## METODOLOGÍA

Para cumplir con el objetivo propuesto, se contó con el apoyo del laboratorio de la Intendencia de Montevideo, Servicio de Evaluación de la Calidad y Control Ambiental (Servicio ECCA), quien suministró la información necesaria para el desarrollo de este trabajo. Esta información es generada por el Servicio ECCA en los distintos Programas de Monitoreo que tiene implementados para el análisis de la calidad de los cuerpos hídricos de Montevideo. Fueron analizados datos de  $N_T$  y  $P_T$  de todos los puntos de muestreo sobre los arroyos Miguelete, Pantanoso, Las Piedras, Carrasco, Toledo y Manga y la Bahía de Montevideo, en la zona costera se seleccionaron aquellas estaciones de muestreo con mayor cantidad disponible de información. En las playas de Montevideo se analizaron los datos de  $N_T$  y  $P_T$  de las playas Punta Espinillo (PE), Pajas Blancas (PB), Santa Catalina (SC), Cerro (PA), Ramírez (RAM), Pocitos (POC), de los Ingleses (ING), Malvín (MAL) y Carrasco (CAR). En las playas y zona costera también fue analizada la concentración de  $Cl_{o_a}$ .

Los valores fueron evaluados con los estándares de la normativa vigente, Decreto 253/79 y modificativos posteriores, mientras que el estado trófico fue establecido a partir de valores de referencia para nutrientes y  $Cl_{o_a}$  tomados de la bibliografía. En la normativa nacional, Decreto 253/79 y modificativos posteriores, el  $N_T$  no tiene valor contra el cual comparar, para el  $P_T$  el valor de referencia en este decreto es de 0,025 mg/L para aguas Clase 3. En la Tabla 1 se describen los límites para la determinación del estado trófico de los cuerpos de agua de Montevideo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran que los cuerpos hídricos de la ciudad de Montevideo, tanto los cursos fluviales interiores como el Río de la Plata, presentan un elevado nivel de afectación por los nutrientes  $P_T$  y  $N_T$ . Para el  $P_T$  los porcentajes de resultados mayores al valor del decreto oscilan entre 94,5 y 99,6 % para la región costera, mientras que para los cursos fluviales interiores de Montevideo, el 100 % de los datos fueron no aceptables (Tabla 2).

**Tabla 1: Valores de comparación para la determinación del estado trófico**

Estado	$N_T$ (mg/L)		$P_T$ (mg/L)		Clorofila a ( $\mu$ g/L)	
	Smith <i>et al.</i> (1999); Doods & Smith (2016)	ANA (2009)	Smith <i>et al.</i> (1999); Doods & Smith (2016)	ANA (2009)	Smith <i>et al.</i> (1999)	CETEBS (2016)
<b>Ambiente lótico</b>						
Oligotrófico	<0,7	<0,6	<0,025	<0,03		
Mesotrófico	0,7-1,5	0,6-4,2	0,025-0,075	0,03-0,17		
Eutrófico	>1,5	4,2-10,5	>0,075	0,17-0,44		
Supereutrófico		10,5-51		0,44-1,8		
Hipereutrófico		>51		>1,8		
<b>Estuarios y zona costera</b>						
Oligotrófico	<0,26		<0,01		<1	<3
Mesotrófico	0,26-0,35		0,01-0,03		1-3	3-10
Eutrófico	0,35-0,40		0,03-0,04		3-5	10-30
Hipereutrófico	>0,40		>0,04		>5	>30

En algunos cursos fluviales se ha reducido particularmente la concentración de  $P_T$ , sin embargo la carga de  $N_T$  se ha incrementado con el tiempo, principalmente en la parte alta de sus cauces. Fue posible verificar que existen gradientes espaciales donde, en términos generales, al considerar la totalidad del período de monitoreo las concentraciones de  $P_T$  y  $N_T$  tienden a incrementarse desde la naciente hacia la desembocadura. A pesar de observarse una tendencia a decreciente en la concentración de estos nutrientes, esta aún no ha sido suficiente para permitir una mejora en el estado trófico, o del nivel de incumplimiento con la normativa vigente para el  $P_T$  (Figura 1). Sobre la franja costera también se evidencia un gradiente, dado que particularmente para el  $N_T$ , la concentración es fuertemente creciente en el tiempo, donde además la zona Oeste de Montevideo concentra los valores máximos de nutrientes (Figura 2). En la concentración de Clo\_a también puede apreciarse en la costa de Montevideo y playas, un gradiente creciente en sentido Oeste-Este, contrario al observado para la mayoría de nutrientes en la zona costera (Figura 3).

**Tabla 2: Resumen de resultados de  $P_T$  (mg/L) para los cuerpos de agua de Montevideo**

Cuerpo de agua	N	Máximo	mínimo	%NA
A° Carrasco	258	5,8	0,25	100
A° Manga	183	5,3	0,25	100
A° Toledo	179	4,3	0,25	100
A° Miguelete	743	7,5	0,25	100
A° Pantanoso	687	17,2	0,25	100
A° Las Piedras	479	36	0,25	100
Bahía de Montevideo	266	1,2	0,02	98,5

Playas	223	0,5	0,02	99,6
Río de la Plata (2.000 m)	482	0,5	0,02	97,3
Río de la Plata (200 m)	383	1,2	0,02	94,5

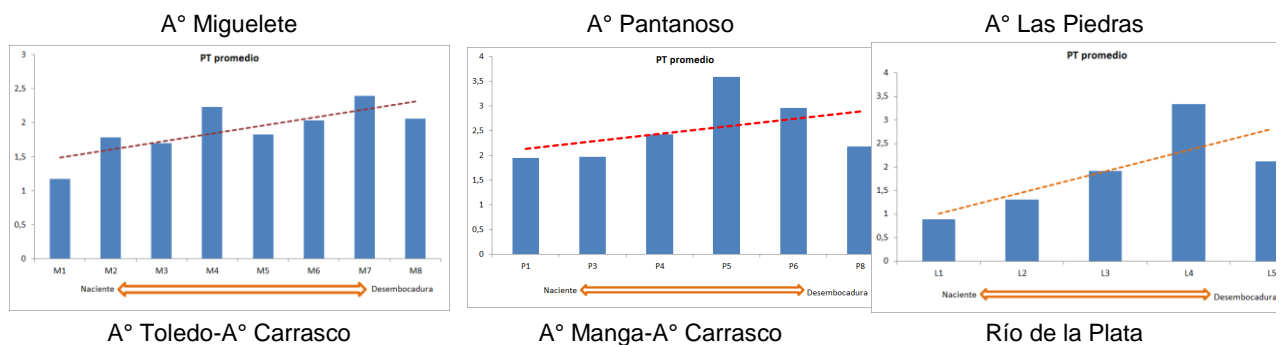
Existe una correlación entre los niveles de nutrientes y la concentración de clorofila a como indicador de biomasa del fitoplancton, para el crecimiento de los organismos planctónicos la concentración de  $N_T$  y  $P_T$  es un factor limitante.

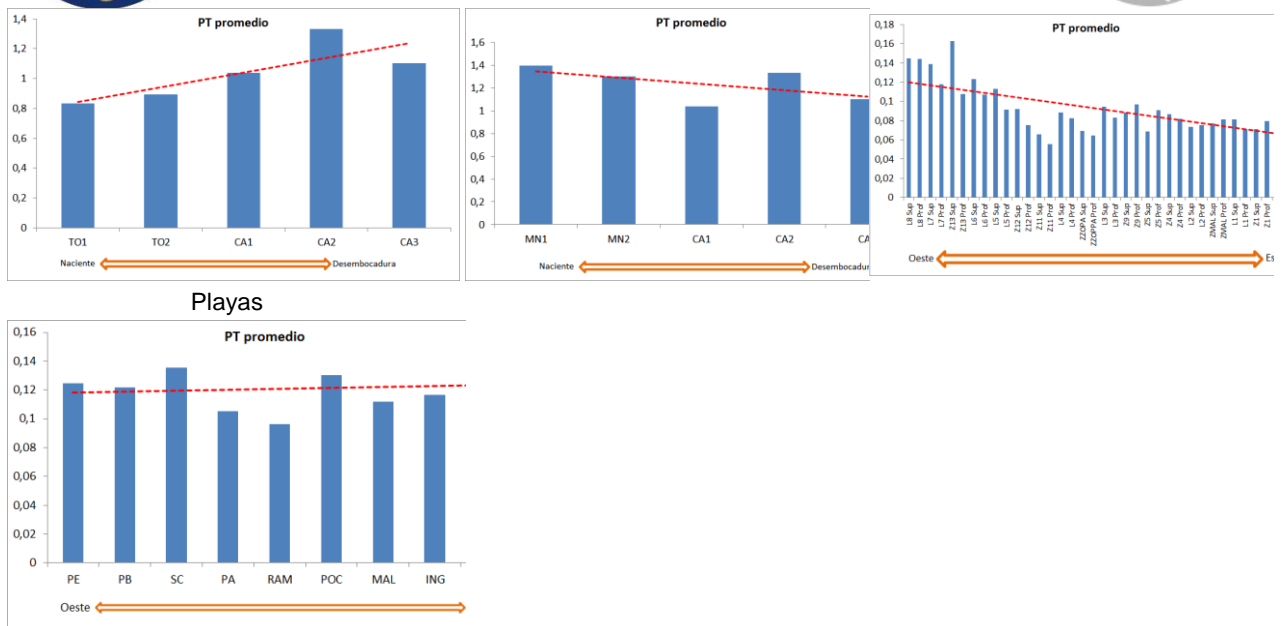
Sin embargo, en el actual trabajo no fue posible verificar una relación entre los valores de clorofila a obtenidos por el Servicio ECCA, como indicador de biomasa fitoplanctónica, y la concentraciones de nutrientes, otros factores, como la salinidad y la turbidez podrían estar influenciando sobre este parámetro.

Para la actividad industrial, en Uruguay se distinguen tres tipos de vertido de sus efluentes: a curso de agua, infiltración al terreno y a la red saneamiento. Cada uno de estos tipos de vertido se encuentra regulado y debe cumplir con los estándares de vertido del decreto 253/79, actualmente vigente. En este decreto se establece que los vertidos directos a curso de agua no deben superar para el  $P_T$  5 mg/L, no se propuso en esta normativa un estándar para infiltración a terreno.

En las cuencas hídricas de Montevideo se encuentran 29 emprendimientos industriales, de los cuales 20 descargan directo a curso de agua. Los arroyos interiores de Montevideo (Miguelete, Pantanoso, Las Piedras, Manga y Toledo) reciben importantes aportes de nutrientes. En algunas de estas industrias con vertidos a cursos se han registrado aportes puntuales de  $P_T$  más de 6.000 veces superiores al valor del Decreto 253/79 para cursos de agua Clase 3. Este hecho, junto con aportes difusos provenientes desde los emprendimientos agrícolas de las zonas rurales y suburbanas que llegan por escorrentía, así como de aportes domiciliarios desde los asentamientos sobre las riberas, ha significado el deterioro de los tramos de los arroyos más cercanos a las nacientes. Por el contrario, los tramos medios y finales han mostrado tendencias a disminuir las concentraciones de  $N_T$  y  $P_T$ , aunque aún sin alcanzar el cumplimiento del Decreto 253/79 o mejorar el estado trófico.

**Figura 1 Tendencia lineal en el promedio de  $P_T$  (mg/L) entre estaciones de muestreo**



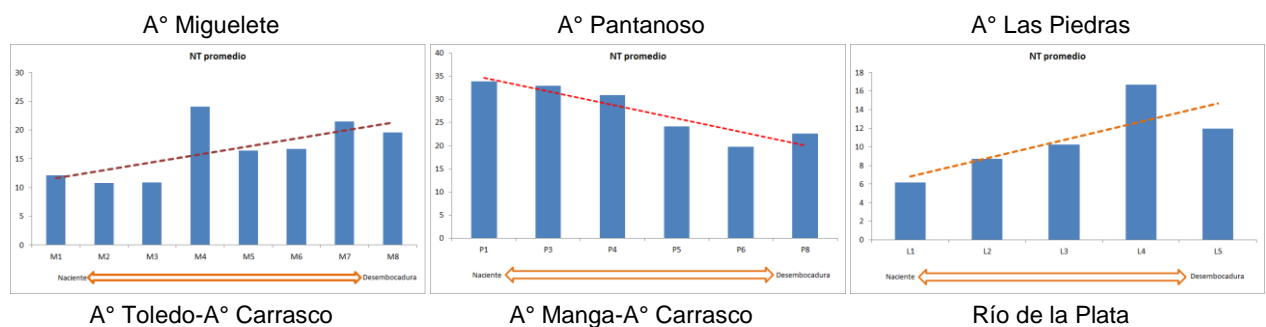


La franja costera presenta forzantes diferentes a los sistemas fluviales. En la Bahía de Montevideo las condiciones ambientales se encuentran muy relacionadas con el sistema de circulación del agua.

La región Norte de la Bahía de Montevideo suele presentar peores condiciones ambientales, ya que en esta región las características de la circulación, más lentas y con mayor tiempo de permanencia, permiten la sedimentación de los contaminantes en la columna de agua y que sean retenidos por el sedimento. Esto permitiría explicar por qué la zona más cercana al Río de la Plata presenta mayores niveles de nutrientes en la columna de agua en comparación con los sectores Norte y Noroeste de la Bahía de Montevideo.

La franja costera del Río de la Plata ha mostrado tendencias de aumento de la concentración de nutrientes hacia el Oeste de la ciudad, particularmente la desembocadura del río Santa Lucía muestra los valores más elevados. Las condiciones de circulación en la costa platense de Uruguay muestran un sentido dominante desde el Oeste hacia el Este, esto permite suponer que los niveles de  $N_T$  y  $P_T$  frente a Montevideo se originan principalmente desde los aportes provenientes desde el Río de la Plata superior. Los cursos fluviales estudiados muestran concentraciones de  $N_T$  y  $P_T$  que apuntan a un estado permanente de eutrofización por lo menos desde el año 1999, cuando iniciaron los monitoreos. Para el caso del Río de la Plata, franja costera, Bahía y playas, las concentraciones de  $P_T$  y  $N_T$  muestran condiciones hipertróficas de las aguas costeras, mientras que para el parámetro  $Clo_a$ , la situación oscila entre hipertrófica o mesotrófica.

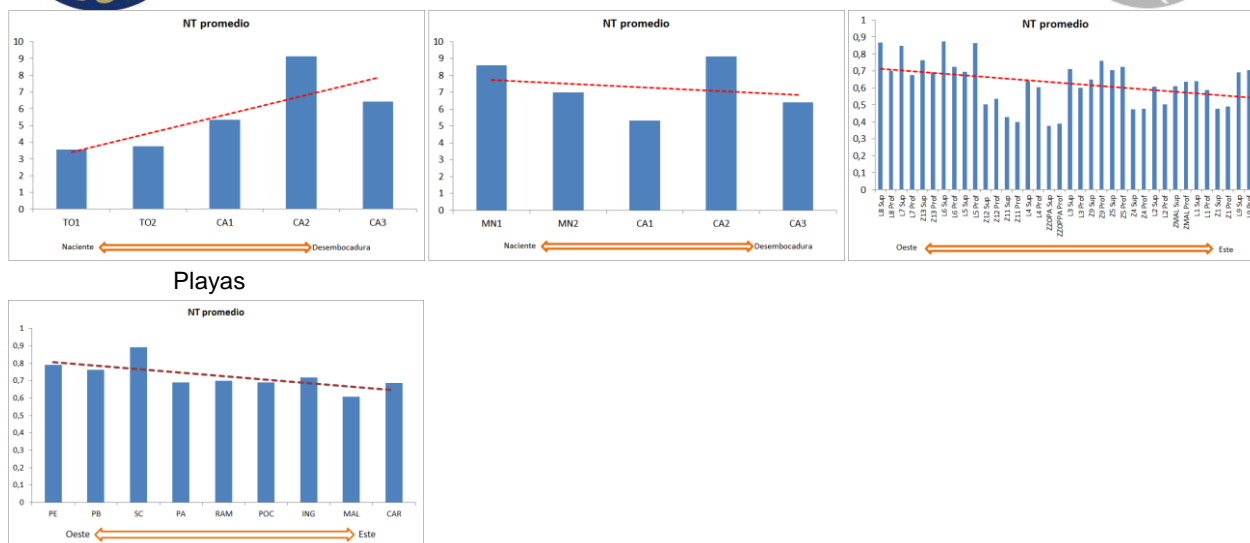
**Figura 2 Tendencia lineal en el promedio de  $N_T$  (mg/L) entre estaciones de muestreo**



A° Toledo-A° Carrasco

A° Manga-A° Carrasco

Río de la Plata

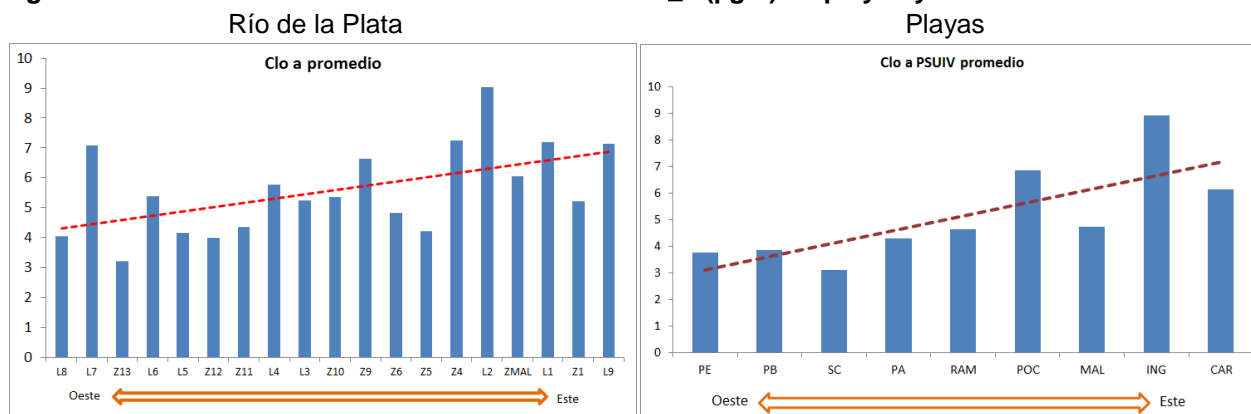


Análisis hidrodinámicos realizados sobre las características de los flujos de agua en el Río de la Plata, indican que existe una escasa capacidad de mezcla de las aguas de los tributarios. Jaime & Menéndez (2001), a través de modelación numérica establecieron que en el del Río de la Plata la circulación se distribuye en tres corredores de flujo, cada uno asociado a su correspondiente tributario, el Paraná de las Palmas, el Paraná Guazú y el río Uruguay, sin mezcla significativa de las aguas de cada tributario.

La conclusión más significativa del estudio de Jaime & Menéndez (2001) acerca de la influencia de estos corredores de flujo sobre el estatus ambiental del Río de la Plata es que la calidad del agua en cada una de las dos costas del Río de la Plata Interior (Argentina y Uruguay) es responsabilidad directa del manejo de las descargas antrópicas efectuadas por cada país.

Esta afirmación permite concluir que el estado trófico de la franja costera del Río de la Plata frente a la ciudad de Montevideo tiene su origen en los aportes de la costa uruguaya hacia el Río de la Plata y a los provenientes desde el río Uruguay. En esta afirmación, la circulación de las aguas frente a la costa uruguaya se transforma en un aspecto relevante en el transporte de contaminantes.

**Figura 3 Tendencia lineal en la concentración de Clo<sub>a</sub> (μg/L) en playas y Río de la Plata**



De los resultados presentados y su análisis, se puede concluir que los cuerpos de agua de la ciudad de Montevideo se encuentran profundamente afectados por una carga importante de nutrientes que han significado un estado trófico permanente de eutrofia e hipereutrofia para los cursos fluviales interiores y la zona costera.



## CONCLUSIONES

Los objetivos ambientales del PDSUM están alineados con una serie de medidas tomadas por las autoridades departamentales destinadas a la mejora de las condiciones ambientales de los cursos de agua departamentales, entre las que se encuentran distintos planes locales para los arroyos Miguelete, Pantanoso y Carrasco. En este sentido, para permitir una mejora de la calidad de los cursos de agua, particularmente de los afluentes del Río de la Plata de la ciudad de Montevideo, arroyos Miguelete y Pantanoso, y los arroyos Carrasco y Las Piedras compartidos por Canelones y Montevideo, resulta necesaria la implementación de medidas que abarquen desde la relocalización de asentamientos, la mejora de los vertidos de aquellas industrias que aún continúan con vertidos directos a cursos de agua, la extensión de la cobertura de saneamiento, así como medidas para la restauración ambiental de los arroyos.

Dado que existe una afectación general de los cursos de agua que se extiende más allá de los límites departamentales de Montevideo, la coordinación con otras comunas y otras entidades gubernamentales debería establecerse como objetivo a corto o mediano plazo para la elaboración de estrategias de gestión conjuntas.

En definitiva, parece claro que para atacar una problemática multicausal son necesarias medidas multidisciplinarias que involucren a múltiples actores sociales, el ámbito académico, autoridades y ministerios para que todo el trabajo que se ha hecho hasta ahora, y el que resta por hacer, logre una mejora de la calidad de estos cursos de agua y que esta pueda mantenerse en el tiempo.

## AGRADECIMIENTOS

CSI Ingenieros agradece al personal de la Intendencia de Montevideo, y del Servicio ECCA por la colaboración en la elaboración de este trabajo, al aportar los datos provenientes de los muestreos que realiza.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aubriot L, Piccini C & Machín E. 2013. Calidad de agua del arroyo Canelón Chico (2011-12) e identificación de problemas ambientales. Informe Facultad de Ciencias, UdelaR, PEDECIBA, IIBCE. 11 pp.
- CARU. 2016. Estudio de la calidad del agua del río Uruguay. Vigilancia de playas y estado trófico. Informe bienal 2013-2014. Informe de actividades de investigación de la subcomisión de medio ambiente y uso sostenible del agua. CARU. 382 pp.
- Debastiani J, de Oliveira D, Perbiche-Neves G & Gomes M. 2016. Fluvial lateral environments in the Rio de la Plata basi: effects of hydropower damming and eutrophication. Acta Limnologica Brasiliensia. 28 (e26). <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X5516>.
- De León, L. 2002. Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: causas y consecuencias. En: Perfil Ambiental del Uruguay 2002, Domínguez, A. y R. G. Prieto (eds.), Nordan-Comunidad, Montevideo, p.28-37.
- DINAMA. 2016. Índice de estado trófico 2016. <https://www.dinama.gub.uy/visualizador/>. Consulta Agosto 2017.
- EPA. 2001. Parameters of water quality. Interpretation and standards. Environmental Protection Agency. Wexford, Ireland. 133 pp.
- Jaime P, Menéndez Á & Natale O. 2001. Balance y dinámica de nutrientes principales en el Río de la Plata interior. Informe 01, Proyecto INA 10.4. Instituto Nacional del Agua. 158 pp.
- Letelier-Carrasco L, Beretta A & Eguren G. 2014. Primer mapa nacional de la calidad del agua del Uruguay. Revista INIA. 39: 67-70.
- Mazzeo N, Clemente J, García-Rodríguez F, Gorga J, Kruk C, Larrea D, Meerhoff M, Quintans F, Rodríguez-Gallego L & Scasso F. 2002. Eutrofización: causas, consecuencias y manejo. En: Domínguez, & Prieto (eds.). Perfil Ambiental, Nordan-Comunidad, Montevideo. pp: 39-55.
- Míguez D. 2007. Breve reseña sobre el río Uruguay. Publicación anual del Laboratorio Tecnológico del Uruguay. 2: 7-11.
- Nagy G, Gómez-Erache M & Perdomo C. 2002a. Water resource: Río de la Plata, Volume 3, Cause and consequences of global environmental change. Pp 723-726. In Douglas (ed.): Encyclopedia of Global Environmental Change. ISBN 0-471-97796-9.
- Nagy G, Gómez-Erache M, López C & Perdomo A. 2002b, Distribution patterns of nutrients and symptoms of eutrophication in the Río de la Plata river estuary system. Hydrobiologia. 475/476: 125-139.



IX Congreso Nacional de AIDIS  
Integrando Cuencas para el Desarrollo Sostenible



Pacheco J, Arocena R, Chalar G, García P, Gonzalez-Piana M, Fabián D, Olivero V & Silva M. 2012. Evaluación del estado trófico de arroyos de la cuenca de Paso Severino (Florida, Uruguay) mediante la utilización del índice biótico TSI-BI. AUGMDOMUS. 4:80-91.

UNESCO. 2009. Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. Sylvia Bonilla (editora). Documento Técnico PHI-LAC, N° 16. 105 pp.