



Editorial de la Universidad
Tecnológica Nacional

Procesos Químicos en Estuarios

Jorge Marcovecchio & Rubén Hugo Freije
[Compiladores]

Universidad Nacional del Sur (UNS)

Laboratorio de Química Ambiental - Depto.de Química - Argentina

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Bahía Blanca
[UTN-FRBB] - Argentina

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) - México

Environmental Institute of Scientific Networks [EISN] - Haren/Ems, Alemania

Instituto Argentino de Oceanografía [IADO] - CONICET – UNS

Laboratorio de Oceanografía Química – Argentina

ISBN: 978-987-1896-16-5



2013

Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar

© [Copyright] La Editorial de la U.T.N. recuerda que las obras publicadas en su sitio web son *de libre acceso para fines académicos y como un medio de difundir el conocimiento generado por autores universitarios*, pero que los mismos y edUTecNe se reservan el derecho de autoría a todos los fines que correspondan.

Listado de autores

Jorge E. Marcovecchio

Área de Oceanografía Química
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Alfonso Vázquez Botello

Lab. de Contaminación Marina
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL)
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Col. Coyoacán, México D.F., México

Gerardo M.E. Perillo

Área de Oceanografía Geológica
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

María Julia Piovan

Área de Oceanografía Biológica
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Vanesa L. Negrin

Área de Oceanografía Química
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Sandra E. Botté

Área de Oceanografía Química
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Rubén Hugo Freije

Departamento de Química
Universidad Nacional del Sur (UNS)
Av. Alem 1257
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Diana G. Cuadrado

Área de Oceanografía Geológica
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Paula D. Pratolongo

Área de Oceanografía Biológica
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Georgina Zapperi

Área de Oceanografía Biológica
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Gabriela L. González Trilla

LETyE Laboratorio de Ecología, Teledetección y
Ecoinformática
3iA Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental
Universidad Nacional de San Martín
Peatonal Belgrano 3563, piso 1, San Martín,
Pcia. de Buenos Aires, Argentina

Silvia G. De Marco

Departamento de Biología
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP),
Dean Funes 3350, 3º piso,
7600 Mar del Plata, Argentina.

Jerónimo Pan

Departamento de Ciencias Marinas
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP),
Dean Funes 3350, 3º piso,
7600 Mar del Plata, Argentina.

Sergio M. Bazzini

CONICET
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP),
Dean Funes 3350, 3º piso,
7600 Mar del Plata, Argentina.

Ana María Martínez

Departamento de Química
Universidad Nacional del Sur (UNS)
Av. Alem 1257
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Cecilia A. Popovich

Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia
Universidad Nacional del Sur (UNS)
San Juan 670
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Natalia S. Buzzi

Área de Oceanografía Química
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Pia Simonetti

Área de Oceanografía Química
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Federico Delucchi

Planta Piloto de Ingeniería Química
(PLAPIQUI – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 717.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Micaela Vallina

Departamento de Biología
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP),
Dean Funes 3350, 3° piso,
7600 Mar del Plata, Argentina.

Carla V. Spetter

Área de Oceanografía Química
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

John Edison Garzón

Departamento de Química
Universidad Nacional del Sur (UNS)
Av. Alem 1257
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Valeria A. Guinder

Área de Oceanografía Química
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Carla Mazzón

Área de Oceanografía Biológica
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Melisa D. Fernández Severini

Área de Oceanografía Química
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Andrés H. Arias

Área de Oceanografía Química
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Ana Laura Oliva

Área de Oceanografía Química
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Guadalupe Ponce Vélez

Lab. de Contaminación Marina
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL)
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Col. Coyoacán, México D.F., México

María Cintia Piccolo

Área de Meteorología
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Bernd Markert

Environmental Institute of Scientific Networks,
(EISN-Institute).
Fliederweg 17
D-49733 Haren (Ems).
Lower Saxony, Germany.

Simone Wünschmann

Environmental Institute of Scientific Networks,
(EISN-Institute).
Fliederweg 17
D-49733 Haren (Ems).
Lower Saxony, Germany.

Xóchitl Guzmán García

Lab. de Ecotoxicología – Área Producción Acuicola
Departamento de Hidrobiología
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa
Col. Vicentina, Iztapalapa, México D.F., México

Susana Villanueva Fragoso

Lab. de Contaminación Marina
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL)
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Col. Coyoacán, México D.F., México

Marcelo T. Pereyra

Departamento de Química
Universidad Nacional del Sur (UNS)
Av. Alem 1257
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Matías N. Tartara

Área de Oceanografía Química
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

María Ornella Beltrame

Área de Oceanografía Química
Instituto Argentino de Oceanografía
(IADO – CONICET/UNS)
CCT-CONICET-BBlanca, Casilla de Correo 804.
8000 Bahía Blanca, Argentina.

Soledad Diodato

Centro Austral de Investigaciones Científicas y Técnicas
(CADIC – CONICET)
Bernardo Houssay 200
9410 Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.

María Victoria Panebianco

Museo Argentino de Ciencias Naturales *Bernardino
Rivadavia* (MACN – CONICET)
Av Angel Gallardo 470
C1405DJR Buenos Aires, Argentina

Oscar A. Amín

Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.

Laura I. Comoglio

Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.

PRÓLOGO

Este libro que estamos presentando incluye los aporte realizados por distinguidos investigadores especializados en diferentes aspectos de estudios ambientales, particularmente en estuarios y zonas costeras, provenientes de varios países de la región y del mundo (por ej., Argentina, México, Alemania). Los temas tratados varían desde algunos muy básicos hasta otros claramente aplicados y usualmente transferibles para facilitar la gestión y la toma de decisiones en el tipo de ambientes que aquí se consideran.

Esta obra, básicamente dirigida a estudiantes de grado y posgrado de disciplinas ligadas a las Ciencias Naturales y Ambientales, a jóvenes investigadores que se inician en cualquiera de estas líneas, y al público interesado en conocer algunos aspectos particulares de la temática ambiental, tiene sus orígenes en algunas iniciativas docentes de los editores que comenzaron unos cuantos años atrás. En el 2000 ambos propusimos a las Autoridades del Departamento de Química de la Universidad Nacional del Sur (UNS), de Bahía Blanca, el dictado de un curso de posgrado sobre *Procesos Químicos en Estuarios*, básicamente dirigido a los estudiantes de doctorado en Química y en Biología de dicha Universidad. El curso fue muy exitoso, y nuestra sorpresa fue muy grande cuando en ediciones posteriores se inscribieron estudiantes de otras ciudades y Universidades para tomarlo e incluirlo en sus planes de estudios de posgrado. Este curso se sigue dictando actualmente, y continúa siendo tan exitoso como cuando se inició.

A partir de 2004 uno de los editores del libro (JEM) se incorpora como docente a la Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN-FRBB). Desde entonces participa del dictado de la materia *Hidrología y Obras Hidráulicas* (de la carrera de Ingeniería Civil, Depto. de Ingeniería Civil), y tiene a su cargo el seminario sobre *Transporte de contaminantes en Medios Acuáticos* (para estudiantes de la Especialización y de la Maestría en Ingeniería Ambiental), ambos de esa Facultad. En ambos cursos se aplican buena parte de los contenidos del libro, y la interacción de JEM con los estudiantes y otros docentes enriqueció significativamente algunos conceptos que se discuten en la obra.

Los editores deseamos agradecer a quienes facilitaron (en realidad “posibilitaron”) que esta obra se materialice, y que pueda hoy ser presentada:

- En primer término a los autores de los capítulos, que son los verdaderos artífices del trabajo, y que con sus conocimientos y espíritu de docentes e investigadores ofrecen una actualización excelente de los temas que tratan. Todos ellos (investigadores de CONICET, de diferentes Universidades y ciudades de nuestro país, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y del Environmental Institute of Scientific Networks (EISN – Institute), de Haren/Ems, Alemania) están permanentemente en nuestros corazones.

- A las Autoridades de la UTN / FRBB que apoyaron incondicionalmente este proyecto, y lo propusieron generosamente para que sea publicado a través de la Editorial de la Universidad. Particularmente, el Señor Decano de la Facultad *Dr.Ing. Liberto Ercoli* quien apoyó decididamente la edición de esta obra, así como el Señor Director del Departamento de Ingeniería Civil, *Ing. Eduardo Bambill*, y la Señora Directora de la Especialización y Maestría en Ingeniería Ambiental, *Mg.Ing. Aloma Sartor*, quienes siempre impulsaron generosamente esta iniciativa.
- A todos los colegas (de varios países) que leyeron y sugirieron cambios que ayudaron a optimizar los contenidos de los diferentes capítulos. Nuestro reconocimiento por su esfuerzo!!.
- A todos los integrantes del Lab.de Oceanografía Química del IADO y del Lab.de Química Ambiental del Depto.de Química de la UNS, por todo el trabajo, esfuerzos y calidez humana para acompañarnos en este proyecto.
- Finalmente, pero sin perder la prioridad que se merecen, a nuestras familias que nos aguantaron en todo este tiempo de trabajo.

GRACIAS A TODOS!!! Ojalá lo puedan disfrutar y resulte útil para mucha gente.

Bahía Blanca, marzo de 2013.

Jorge E. Marcovecchio

Rubén Hugo Freije

PROCESOS QUÍMICOS EN ESTUARIOS

Jorge Marcovecchio & Rubén Hugo Freije (eds)

1. Introducción general

Jorge Marcovecchio, Rubén H.Freije, Alfonso Vázquez Botello

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUARIOS

2. Geomorfología y características de los sedimentos estuariales

Diana Cuadrado, Gerardo M.E.Perillo

3. Tipos de estuarios y procesos físicos asociados

Gerardo M.E.Perillo

4. Humedales en los estuarios

Paula Pratolongo, María Julia Piovan, Georgina Zapperi, Vanesa Negrin, Gabriela González Trilla, Sandra Botté

5. La Biodiversidad y su valor en los estuarios

Silvia G.De Marco, Jerónimo Pan, Micaela Vallina, Sergio Bazzini

PROCESOS QUÍMICOS PROPIOS DE LOS ESTUARIOS

6. Comportamiento conservativo y no-conservativo de los constituyentes disueltos durante la mezcla estuarial

Jorge Marcovecchio & Carla V. Spetter

7. Ciclo bio-geoquímico de nutrientes inorgánicos en estuarios

Carla V.Spetter, Rubén H.Freije & Jorge Marcovecchio

8. Ciclo de materia orgánica: producción primaria

Rubén H.Freije, Ana M. Martínez, John E.Garzón

a. El rol del fitoplancton en los procesos biogeoquímicos en estuarios

Cecilia Popovich, Valeria Guinder

b. Producción en las marismas

Vanesa Negrin, Gabriela González Trilla, Sandra Botté, Carla Mazzón

PROCESOS DE CONTAMINACIÓN EN ESTUARIOS

9. Estuarios: ¿ambientes adecuados para realizar estudios de contaminación?

Jorge Marcovecchio, Rubén H.Freije, Alfonso Vázquez Botello

10. Ciclo de metales pesados

Sandra Botté, Jorge Marcovecchio, Melisa Fernández Severini, Vanesa L. Negrin, María Victoria Panebianco, Pia Simonetti, Natalia Buzzi, Federico Delucchi.

11. Compuestos orgánicos persistentes

Andrés Arias, Ana L.Oliva, Alfonso Vázquez Botello, Guadalupe Ponce Vélez, Matías N.Tartara

12. Consecuencias del cambio climático sobre estuarios

María Cintia Piccolo

13. Bioindicadores y biomonitores: definiciones, estrategias y aplicaciones

Bernd Markert, Simone Wünschmann, Jorge Marcovecchio, Silvia G.De Marco

13.a. Moluscos bivalvos como bioindicadores de contaminación

Susana Villanueva, Alfonso Vázquez Botello

13.b. Biomarcadores de contaminación

Alfonso Vázquez Botello, Xochitl Guzmán, Susana Villanueva

14. Estudios ecotoxicológicos con especies estuariales

Natalia Buzzi, Soledad Diodato, Melisa Fernández Severini, Oscar Amin, Laura Comoglio, Jorge Marcovecchio

15. Programas de monitoreo en estuarios: estudios a largo plazo

Jorge Marcovecchio, Rubén H.Freije, Sandra Botté, Carla Spetter, Andrés Arias, Melisa Fernández Severini, Natalia Buzzi, Silvia De Marco, Vanesa Negrin, Pia Simonetti, Valeria Guinder, Cecilia Popovich, Marcelo Pereyra

CAPÍTULO 15

PROGRAMAS DE MONITOREO EN ESTUARIOS: ESTUDIOS A LARGO PLAZO

Jorge Marcovecchio, Rubén H. Freije, Sandra Botté, Carla Spetter, Andrés Arias, Melisa Fernández Severini, Natalia Buzzi, Silvia De Marco, Vanesa Negrin, Pia Simonetti, Valeria Guinder, Cecilia Popovich, Marcelo Pereyra

¿Qué es un Programa de Monitoreo?

Se llama “monitoreo” a un sistema continuo de observación y control de medidas y evaluaciones para un propósito definido. El monitoreo es una herramienta importante en el proceso de evaluación de impactos, y en cualquier programa de seguimiento y control (Sors, 1987). Actualmente existe un fuerte consenso sobre que el monitoreo ambiental no es un fin en sí mismo, sino un paso esencial en los procesos de administración del ambiente (Stelzenmüller *et al.*, 2013). Teniendo en cuenta los conceptos previamente mencionados, se puede observar la importancia que actualmente tiene el monitoreo en los diversos procesos de la actividad humana. Además, y tal como acertadamente se menciona, es una herramienta fundamental dentro de todo aquel desarrollo o procedimiento que se desee llevar a cabo de manera controlada y segura (Collins *et al.*, 2012).

El monitoreo no es una actividad independiente, sino más bien una parte de un proceso más amplio que puede estar científicamente orientado a la conservación o la gestión (Nichols y Williams, 2006). El paradigma dominante sobre el que se basa la ciencia del monitoreo es la evaluación de los cambios en las variables ambientales seleccionadas entre tratamientos y áreas de control, así como su evolución en el tiempo tras la aplicación de un régimen de gestión (Tulloch *et al.*, 2011).

Los programas de monitoreo consisten en realizar una vigilancia permanente de un sistema natural, controlando el estado y evolución de sus variables, cuantificando las variaciones que se producen, e identificando los motivos que las generaron. Hay diferentes estrategias de trabajo, tanto espaciales como temporales, y pueden desarrollarse exclusivamente en base a datos de campo, en base a datos experimentales, o combinando ambos. Cuando estos programas se llevan a cabo por plazos prolongados (por ejemplo, decadales), el conjunto de información que van proveyendo constituye una base sólida sobre la cual es posible caracterizar con precisión la estructura y funcionamiento del sistema bajo estudio. Siempre y cuando se mantenga la continuidad del monitoreo, se puede sostener que a medida que el programa tiene más antigüedad (por lo tanto más cantidad de información) es más sencillo identificar una anomalía o variación significativa en alguno de los parámetros estudiados, teniendo en cuenta que la distribución de valores “normales” será muy densa, y por lo tanto los que se alejen de ese modelo serán fácilmente distinguibles.

Otro tipo de alternativa de trabajo es la aplicación de bancos de muestras ambientales (ESB – environmental specimen bank – por su sigla en inglés) que pueden resultar de enorme utilidad, ya que permiten establecer Redes de Monitoreo Ambiental (Wise *et al.*, 1993; Giege *et*

al., 1995.) con el objetivo de la detección temprana de modificaciones en los parámetros evaluados (por ejemplo, concentraciones crecientes de contaminantes conocidos). Este proceso constituye un desarrollo de monitoreos en tiempo real (Viana et al., 2010), que resulta de enorme aplicación en procesos de gestión y control. En este caso, y luego de haber desarrollado un programa de monitoreo por un plazo suficientemente largo como para tener caracterizado el funcionamiento del sistema, se almacenan ejemplares de una o varias especies claves del ambiente estudiado, y se las utiliza como referencia permanente para comparar valores del parámetro evaluado obtenidos en diferentes momentos.

Una situación de estudio particular es el uso de indicadores ambientales (por ej.: bioindicadores, geoindicadores, “biomarkers”, etc) que permitan monitorear el sistema a través de variaciones registradas en una especie, tipo de sedimento, moléculas, etc. Es un método muy práctico y dinámico, pero que requiere de un conocimiento muy profundo y consolidado del ambiente evaluado. La aplicación incorrecta, mal fundamentada o inconsistente de estas técnicas puede llevar a conclusiones falsas, y posteriormente a medidas de gestión innecesarias o inadecuadas.

En el caso particular de los Métodos de Control de Calidad de Agua, es justo decir que este tipo de monitoreo a menudo se ha visto como un ejercicio práctico por los que inician un programa. La filosofía subyacente de por qué el seguimiento debería realizarse tiende a ser descuidada. Preguntarse por qué, sin embargo, conduce a un paso esencial en la formulación de los objetivos para los que se obtiene la información. La elección de cómo monitorear queda entonces acotada, considerando que sólo algunas acciones de muestreo y procesamiento de los datos permiten alcanzar los objetivos de la información (Dixon, 1995). De hecho, tanto la elección de los métodos de análisis de datos como los métodos estadísticos y procedimientos sobre como hacer las observaciones deben hacerse antes de la toma de muestras. Además, el concepto de la calidad del agua se debe definir a priori en términos de indicadores que se puedan observar y cuantificar (Dixon y Chiswell, 1996).

Monitoreos a largo plazo

En la bibliografía especializada se pueden encontrar numerosas definiciones y marcos conceptuales sobre el proceso de *Monitoreo a largo plazo* (MLP), y en tal sentido y a los efectos de esta revisión consideraremos el MLP como “repetidas mediciones empíricas basadas en trabajo de campo, recogidas en forma continua, y posteriormente analizadas por lo menos durante 10 años” (Lindenmayer y Likens, 2010).

En algunos ámbitos se tiende a subestimar el valor científico del monitoreo, sin saber que la estructuración de un MLP requiere necesariamente de excelente trabajo de investigación científica (Yoccoz *et al.*, 2001; Nichols y Williams, 2006). En principio se debe destacar que la buena Ciencia, y por lo tanto los buenos MLP, comienzan con *buena preguntas*. Algunas de las consideraciones que debemos tener presentes para formular “buenas preguntas” son las siguientes:

- (1) Pensar críticamente.

- (2) Construir sólidos modelos conceptuales que representen el funcionamiento de los ecosistemas estudiados (por ejemplo, Bormann y Likens, 1967).
- (3) Evaluar verdaderas preguntas (Walters, 1986) sobre políticas relevantes para la gestión (Russell-Smith *et al.*, 2003).
- (4) Promover el diálogo abierto entre los científicos y los dirigentes a cargo de la gestión (Lawton, 2007; Likens, 1989; Likens *et al.*, 2009).
- (5) Evaluar críticamente el diseño y oportunismo del estudio propuesto.

En este sentido es importante aclarar que no consideramos monitoreo a largo plazo a las nuevas visitas (o re-visitas) a un sitio después de una ausencia prolongada (por ejemplo, Currie y Parry, 1999; Smith *et al.*, 2007), así como a mediciones eventuales discontinuadas en el tiempo.

En función a su estructura y diseño, podemos diferenciar tres tipos principales de Programas de Monitoreo:

Monitoreo pasivo o impulsado por la curiosidad. Este es el monitoreo desprovisto de preguntas específicas o diseño subyacente del estudio, y con poco o ningún propósito que no sea la curiosidad. Su utilidad es muy limitada para abordar los problemas ambientales o para el descubrimiento de cómo el mundo funciona, porque no está impulsada por hipótesis y porque carece de intervenciones de gestión o de diferentes tratamientos experimentales que facilitan la comprensión científica de esas cosas como respuesta de los ecosistemas a las perturbaciones naturales o humanas.

Monitoreo mandatorio o dirigido. En este tipo de monitoreo se recogen los datos ambientales tal y como lo estipula algún requisito de la legislación gubernamental o político (por ej.: una directiva sobre el monitoreo del clima o el caudal del río, etc.). Lo usual es que tengan enormes exigencias de calidad, y que deban seguir estrictos protocolos para asegurar la validez de la información recogida. El diseño de este tipo de monitoreo no trata de identificar o entender el mecanismo que produce un cambio en un ecosistema o una entidad, sino solamente de detectar su existencia.

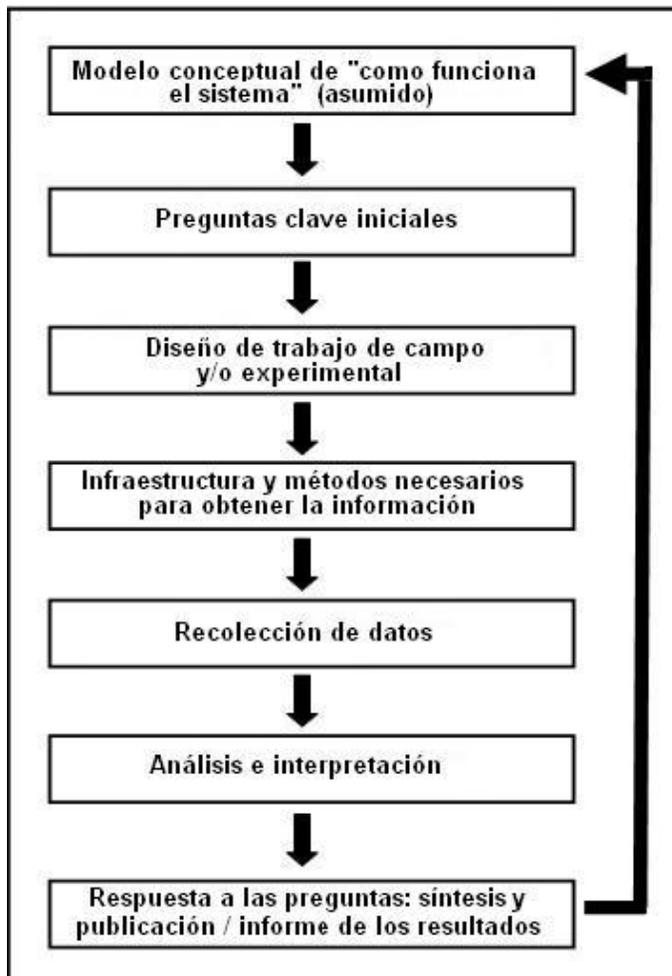
Monitoreo impulsado por preguntas. Este es el monitoreo guiado por un modelo conceptual y por un diseño riguroso del estudio. El uso de un modelo conceptual típicamente resultará en predicciones a priori que pueden ser probadas como parte del desarrollo del programa. A menudo, este tipo de aprendizaje está caracterizado por fuertes intervenciones de gestión contrastantes (Carpenter *et al.*, 1995). En el lenguaje estadístico, este tipo de estudios podría denominarse "estudios con intervenciones longitudinales" (por ejemplo Lindenmayer *et al.*, 2008). Por lo tanto, estos enfoques pueden conducir a generar una capacidad predictiva sólida, y permitir a un investigador plantear nuevas preguntas. Así, un programa de monitoreo puede evolucionar a medida que cambian las preguntas clave. La capacidad predictiva puede ser de gran valor para los investigadores, administradores de recursos y tomadores de decisiones, en

contraste con las líneas de tendencia simples obtenidas a partir de muchos programas de vigilancia dirigidos.

Estructura de un Programa de Monitoreo a Largo Plazo

Es importante tener en claro que un MLP no se limita simplemente a realizar una gran recolección de datos y su correspondiente almacenamiento, sino que debe cumplir una serie secuencial de pasos que constituyen un Ciclo de monitoreo. Cuanto mayor sea el número de ciclos de monitoreo que tenga el MLP, mayor será su eficiencia, más fácil será la interpretación de la información generada, se identificarán con mayor velocidad y certeza las anomalías, se simplificarán las tareas de evaluación, y las conclusiones a las que se arriben permitirán tomar mejores medidas de gestión a las Autoridades correspondientes.

Un esquema tentativo de un MLP sería el siguiente: Tal y como se vislumbra a partir de la **Fig. 15.1**, hay algunas propiedades de los MLP que los distinguen particularmente, y que enmarcan muchas de sus ventajas. Las principales de estas características distintivas que merecen ser destacadas son:



- Basados en buenas preguntas, que evolucionan
- Fundamentados sobre modelos conceptuales
- Concretados por interlocutores activos
- Desarrollados por equipos de trabajo sólidos bien liderados
- Sostenidos por una financiación adecuada y continua
- Generadores de un uso frecuente de la información
- Reservorios de una intensa productividad científica
- Calificados a través de procesos de validación apropiada de calidad de los datos, y calibración de los métodos de campo y laboratorio.

Figura 15.1 : Esquema de un Monitoreo a Largo Plazo.

Cuando los **Programa de Monitoreo a Largo Plazo** se ejecutan de acuerdo al esquema anteriormente comentado, los datos que se generan y las conclusiones a las que se arriba son fundamentalmente valiosos para muchos propósitos, incluyendo:

- Documentar y proporcionar puntos de referencia contra los cuales se pueda evaluar cambios de condiciones o de puntos extremos (por ejemplo: Keeling *et al.*, 1995, 1996).
- Evaluar las respuestas ecológicas a perturbaciones naturales o experimentales (Schindler *et al.*, 1985).
- Detectar y cuantificar los cambios en la estructura y función del ecosistema (Krebs *et al.*, 2001; Danell *et al.*, 2006).
- Identificar las “sorpresas” ecológicas (eventos inesperados) (por ejemplo, Zhan *et al.*, 2006).
- Sentar principios basados en evidencias que sirvan como soporte de legislación ambiental (por ejemplo, leyes que controlan los niveles de contaminantes en el aire y el agua) (Likens, 1992).
- Generar nuevas preguntas significativas acerca de la dinámica ecológica (Persson *et al.*, 2009).
- Proporcionar datos empíricos para probar la teoría ecológica (Shrader-Frechette y McCoy, 1993) y los modelos de desarrollo, tales como los modelos numéricos de simulación (Burgman *et al.*, 1993; Neves *et al.*, 2008).

Un poco de historia de los Programas de Monitoreo

Si bien durante mucho tiempo se realizaron trabajos científicos, básicamente de campo, con estructuras asimilables a Programas de Monitoreo, se puede considerar como un caso pionero al llevado a cabo por Jack Pearce en 1967, cuando concretó un programa de investigación bentónica en la cuenca marina de Nueva York, con vistas a determinar las consecuencias del vertimiento durante más de dos años de materiales de dragado y fangos cloacales en esa zona marina. Los objetos de investigación para esa fase inicial fueron cerca de 100 especies de organismos bentónicos y demersales, una huella de media docena de metales tóxicos, un microorganismo indicador (*Escherichia coli*), y los niveles de materia orgánica en los sedimentos afectados por los residuos sólidos. A principios de 1970 fueron publicados los informes con los datos obtenidos, incluyendo las distribuciones de metales traza en sedimentos, los niveles de bacterias en y alrededor de los vertederos, los datos sobre peces enfermos, y las principales especies bentónicas desaparecidas (o severamente afectadas), como algunas de anfípodos, dentro y alrededor de los centros de operaciones de descarga (Pearce, 1998).

Aproximadamente al mismo tiempo, los derrames de petróleo producido en diferentes lugares del planeta (por ejemplo, el English Channel; Puerto de San Juan de Puerto Rico; o, frente a Santa Bárbara, California, entre otros) motivaron el desarrollo de Programas de Monitoreo para evaluar los efectos y consecuencias sobre los sistemas naturales afectados. A los pocos años, los científicos estaban informando sobre el arribo de plaguicidas agrícolas a la Bahía de Monterrey Canyon, a partir de actividades desarrolladas en los grandes valles de

California. Otros señalaron a algunos puertos como áreas fuertemente contaminadas (por ejemplo, Londres, en Inglaterra; o, Boston, Seattle y Washington en USA). Estos trabajos, y muchos otros informes desarrollados en ese período, reivindicaron significativamente la vigilancia a largo plazo. A la brevedad fueron convocados Talleres nacionales e internacionales y grupos de estudio para discutir el seguimiento y la evaluación de contaminantes, y esbozar estrategias para el desarrollo de programas de monitoreo en sistemas acuáticos y terrestres (National Academy of Sciences, 1975; 1977). Para 1978 la preocupación científica se centraba en la preparación de programas a largo plazo y la creación de bancos de especímenes, así como en la estandarización de procedimientos para la recolección y la manipulación de las muestras.

En la década siguiente se llevaron adelante varias investigaciones y programas de monitoreo nacionales, y se comenzaron a hacer evaluaciones globales; entre otros, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, o UNEP por su sigla en inglés) comenzó a ceder los datos, y facilitó los estudios e informes sobre el estado del Medio Marino (GESAMP, 1990).

Estos programas fueron evolucionando y siendo perfeccionados, y muchos esfuerzos fueron mutando e hicieron foco en otros aspectos ignorados hasta ese momento, como la medición de los valores ecológicos, genéticos, patológicos y fisiológicos que permitían identificar los cambios producidos cuando la vida costera y la plataforma marina comenzaron a ser impactadas por contaminantes y presiones físicas. Muchas de las mediciones utilizadas como herramientas fueron esbozados en McIntyre y Pearce (1980), planteándose que resultaban ser indicadores más realistas de la degradación del hábitat que la medición convencional y la evaluación de la presencia de tóxicos en la biota, los sedimentos o el agua.

Un punto de inflexión histórico: el *Mussel Watch Program*

El proyecto de "Vigilancia a través del Mejillón" (*Mussel Watch Program*) se propuso inicialmente como una estrategia alternativa para entender la calidad de las aguas marinas (Goldberg, 1975). Los bivalvos habían sido reconocidos por su capacidad para concentrar cuatro grupos de contaminantes a partir de las aguas del sistema que habitan: los elementos transuránicos, hidrocarburos halogenados (PCBs, DDTs), hidrocarburos de petróleo, y metales pesados (Bryan, 1973 ; Boyden, 1974). Estas sustancias, movilizadas por las actividades humanas, son introducidas a través del aire y/o el agua al medio marino y, posteriormente, pueden generar peligro para la salud pública de las poblaciones humanas o de la vida marina. La estructura inicial de este programa involucraba a un poco más de 100 estaciones de muestreo en aguas costeras de Estados Unidos, analizadas trimestralmente, y originalmente financiada durante los primeros tres años (1976-1978) por la Agencia Federal de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA) (Goldberg *et al.*, 1978).

Este concepto de organismo centinela o "Vigilancia a través del Mejillón" (Butler, 1973; Goldberg *et al.*, 1978; Phillips, 1980; Cowan, 1981) es un método para evaluar el estado actual de la contaminación química de las aguas costeras y para identificar áreas geográficas de interés y temas nuevos o renovados para la investigación científica.

El marco teórico que permite el uso del mejillón común (*Mytilus sp.*), varias especies de ostras (*Crassostrea*, *Ostrea*), y otros bivalvos como organismos centinela incluye las siguientes premisas (Goldberg *et al.*, 1978; Phillips, 1980; Farrington *et al.*, 1983):

1. Los bivalvos son cosmopolitas (ampliamente distribuidos geográficamente). Esta característica minimiza los problemas inherentes a la comparación de datos entre especies muy diferentes, con diferentes historias de vida y tipos de relaciones con su hábitat.
2. Son sedentarios, y son por lo tanto más útiles que las especies móviles como integradores de estado químico de la contaminación en un área determinada.
3. Muchos productos químicos se concentran con factores de 10^2 - 10^5 con respecto a los contenidos del agua de mar en su hábitat. Esto facilita significativamente las mediciones de elementos traza, que resultan mucho más abundantes en los tejidos de los bivalvos que en el agua de mar.
4. Al realizar la medición de los productos químicos en los bivalvos, se está logrando una evaluación de la disponibilidad biológica de los compuestos estudiados.
5. A diferencia de los peces y crustáceos, los bivalvos presentan una actividad muy baja o indetectable de los sistemas enzimáticos que metabolizan muchos xenobióticos (por ejemplo, hidrocarburos aromáticos policíclicos -PAHs-, o bifenilos policlorados -PCBs-, entre otros. Esto permite hacer evaluaciones más precisas de la magnitud de contaminación por xenobióticos en el hábitat de los bivalvos estudiados.
6. Existen muchas poblaciones locales de bivalvos relativamente estables y suficientemente amplias para tomar muestras en repetidas ocasiones, proporcionando datos sobre los cambios temporales a corto y largo plazo en las concentraciones de los productos químicos contaminantes.
7. Sobreviven en condiciones de contaminación que a menudo podrían reducir severamente o eliminar a otras especies.
8. Pueden ser trasplantados de sitios de anclaje y mantenidos con éxito en diferentes intermareales costeros, aun con condiciones muy diferentes. Esto permite identificar distintos procesos de distribución de tóxicos entre áreas diferentes, mecanismos de detoxificación, tiempos de recuperación, etc.
9. Son especies marinas que se utilizan para alimentación humana en casi todas las culturas y etnias, lo que les asigna un alto valor comercial en todo el mundo. Por lo tanto, la medición de la contaminación química en estas especies es de interés para la salud pública.

Posteriormente, el mismo Goldberg (1986) comentó que otra ventaja adicional de esta estrategia de trabajo es que las vidas medias biológicas de los contaminantes en bivalvos pueden durar hasta períodos de meses. Hay por lo tanto, una integración espacial y temporal de los niveles de contaminantes en los tejidos del organismo. Por lo tanto, el uso de los bivalvos ofrece ventajas sobre el uso de agua de mar y sedimentos para la determinación del contaminante, donde el período de integración puede variar desde corto (un día o menos) hasta largo (por lo general un año o más); esta situación resulta muy ventajosa para la elaboración del diseño de los programas de vigilancia.

Esta excelente herramienta de evaluación comenzó a difundirse rápidamente en todo el mundo. Por ejemplo, desde 1979 se ha llevado a cabo un *Mussel Watch Program* en bivalvos

de la zona costera francesa: la Red Nacional para la Observación de la Calidad del Medio Ambiente Marino (*Réseau National d'Observation*, R.N.O.). Se han determinado los niveles de concentración de metales (Hg, Cd, Pb) y contaminantes orgánicos (PAHs, PCBs, DDT, DDD, y DDE) en las partes blandas de mejillón y ostras muestreados trimestralmente. El Ministerio del Medio Ambiente de Francia ha financiado este programa de monitoreo para determinar niveles de contaminación en las aguas costeras francesas, utilizando los mencionados organismos como especies indicadoras cuantitativas. La planificación y realización han sido coordinadas por el Instituto Francés de Investigación para la Exploración del Mar (IFREMER)(Claisse, 1989). Este programa permitió resumir los resultados de diez años de seguimiento de mercurio, cadmio, plomo, hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), bifenilos policlorados (PCBs), y dicloro-difenil-cloroetanos (p,p' DDT, p,p' DDD, p,p' DDE) en los tejidos blandos de los moluscos estudiados: *Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis* y *Crassostrea gigas*. La red estaba compuesta por 110 estaciones de muestreo a lo largo de toda la longitud de la costa francesa, y las muestras se tomaron en febrero, mayo, agosto y noviembre de cada año.

A pesar de la amplia aceptación lograda por el concepto de "Vigilancia a través del Mejillón" (Goldberg *et al.* 1978), la utilización de organismos centinela (principalmente bivalvos como *Mytilus* sp) para el seguimiento de la concentración de contaminantes en las zonas costeras, y como un indicador de su biodisponibilidad, demostrado a través del establecimiento de este tipo de programas tanto a nivel nacional como internacional, se observó un problema importante. Desafortunadamente, las especies más útiles, los mejillones y las ostras, no se dan con frecuencia en aguas tropicales, donde también se requieren estrategias de vigilancia de la contaminación, y esto resultaba un inconveniente para la ejecución de programas globales de vigilancia. Para salvar este problema, se llevó adelante un programa de investigación en la región de la Bahía de Todos os Santos (Bahia, Brasil)(Porte *et al.*, 1990), en el que básicamente se destacaban dos aspectos centrales: (1) la evaluación de la distribución geográfica de los hidrocarburos en bivalvos comestibles del intermareal de la bahía; y (2) la selección de organismos indicadores de la contaminación orgánica de las regiones tropicales de la costa de Brasil. Se hizo particular énfasis en el uso de marcadores químicos para el reconocimiento del origen de los hidrocarburos, considerando que los organismos marinos pueden concentrar en sus tejidos no sólo una variedad de hidrocarburos antropogénicos, sino también los biogénicos obtenidos a través de su dieta (Albaigés *et al.*, 1987; Llorente *et al.*, 1987). Este fue el primer estudio de este tipo realizado en el Atlántico Sur. A partir de los resultados obtenidos, se pudo concluir que el concepto de "Vigilancia a través del Mejillón" también puede ser aplicado en zonas tropicales utilizando especies de bivalvos alternativas como organismos centinela. En ese sentido, los datos preliminares indican que *Anomalocardia brasiliensis* da una respuesta satisfactoria frente a la exposición a cambios locales en la concentración de contaminantes. Los bivalvos seleccionados para este estudio fueron *Anomalocardia brasiliensis*, *Protothaca pectorina*, *Lucina pectinata* y *Macoma constricta* (Porte *et al.*, 1990).

El rápido aumento del comercio de sustancias químicas en los países asiáticos en vías de desarrollo implicó una mayor producción y uso de productos tóxicos como los organoclorados (OCs) y compuestos orgánicos de estaño (BTs), con un potencial aumento de la exposición de los seres humanos y la vida silvestre a esas sustancias. En consecuencia, los problemas ambientales asociados con contaminación por compuestos como BTs y OCs pasaron a ser de gran preocupación (Tanabe *et al.*, 2000). Considerando que los bivalvos, particularmente los mejillones, han sido utilizados como bioindicadores para el monitoreo de sustancias tóxicas en aguas costeras debido a su amplia distribución geográfica, estilo de vida sésil, el muestreo fácil, la tolerancia a una considerable variación de salinidad, resistencia a la tensión y alta acumulación de una amplia gama de productos químicos (Goldberg, 1994), se

decidió aplicarlos para evaluar esta situación ambiental conflictiva. Para este caso se optó por utilizar el mejillón verde *Perna viridis*, que tiene una amplia distribución geográfica en la región asiática del Pacífico, y además se reconoce como un marisco con alto valor comercial e intensamente consumido por las poblaciones de la región (Vakily, 1989). Los estudios de monitoreo desarrollados comprenden una parte de la región del Programa de Vigilancia *Mejillón del Pacífico Asiático* (Asia-Pacific Mussel Watch Program -APMWP-), el cual tiene como objetivo controlar la contaminación marina en esta región utilizando mejillón como bioindicador (Tanabe, 1994). APMWP está bajo el paraguas del programa *Internacional Mussel Watch Program*, que implica principalmente un programa de monitoreo costero con bivalvos como centinelas (mejillones y ostras como bioindicadores), a fin de determinar la calidad de las aguas costeras marinas. La fase inicial de este programa se llevó a cabo en América del Sur y Central durante el período de 1991 ± 1993 y reveló graves contaminación por insecticidas organoclorados en los países del tercer mundo en esta región (Sericano *et al.*, 1995). La segunda fase tiene la intención de cubrir las tres zonas de la mencionada región: Pacífico Asiático, Pacífico Noroccidental y Pacífico Sur. Por otra parte, además de la tradicional evaluación de compuestos persistentes como los PCBs, DDT y sus metabolitos, y los HCH y HCB, otros compuestos de interés ambiental como metales (Cu y Sn) ligados orgánicamente, y compuestos altamente tóxicos (dioxinas, furanos y PCB coplanares) también fueron incluidos para ser monitoreados en esta segunda fase. El proyecto APMWP fue un trabajo de colaboración de científicos de la Filipinas, Tailandia, India y Japón, coordinado por el Prof. Shinzuke Tanabe de la Ehime University (Matsuyama, Japón) (Tanabe *et al.*, 2000).

De manera análoga se puede mencionar que el programa de vigilancia ambiental para metales traza utilizando bivalvos ha funcionado regularmente en Corea desde la década de 1990 (Choi *et al.*, 2010). Sin embargo, el monitoreo regular de contaminantes orgánicos en un escala nacional se inició en 2001. Los estudios anteriores no incluyeron mediciones regulares de contaminantes orgánicos (Kim *et al.*, 2002; Monirith *et al.*, 2003; Shim *et al.*, 2005). En ese trabajo se presentan resultados sobre la distribución y la evaluación de las tendencias temporales de los contaminantes orgánicos a lo largo de la costa de Corea a través de varios años, compilado a partir del monitoreo entre 2001 - 2007. Se evalúan contaminantes tales como bifenilos policlorados (PCBs), pesticidas organoclorados (OCs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), compuestos de butilestaño (BTs), y dioxinas / furanos (PCDDs / PCDFs).

A raíz del éxito y la confiabilidad que demostró tener esta herramienta de monitoreo su uso se dispersó por todo el mundo, y fue ampliamente aceptada aunque siempre con el cuidado y la puntiliosidad que exige su aplicación. Sirven como ejemplo algunas de las numerosas aplicaciones de la "Vigilancia a través de mejillón" desarrolladas en diferentes partes del planeta en los últimos años: el impacto de derrames de petróleo en el litoral cantábrico de España y Portugal (Marigómez *et al.*, 2006); el monitoreo de ¹³⁷Cs en las zonas costeras de los países europeos sobre el Mediterráneo y el Mar Negro (Thébault *et al.*, 2008); el Programa Nacional de Evaluación de la Contaminación Marina de Sudáfrica, desarrollado desde 1960 y hasta la actualidad (Wepener y Degger, 2012); la evaluación de contaminación por compuestos orgánicos persistentes (COPs) en la zona intermareal dominada por manglares de Senegal, en el África Occidental (Bodin *et al.*, 2011); la contaminación por mercurio en ambientes tropicales y subtropicales de Brasil (Costa *et al.*, 2012); el monitoreo de metales traza y compuestos orgánicos persistentes en las regiones litorales de la India (Subramanian y Tanabe, 2007) o el estudio de compuestos organoclorados tóxicos en un lago salobre de gran importancia en la producción de mejillones cultivados, en Egipto (Barakat *et al.*, 2012).

Programas de monitoreo en Argentina

En nuestro país hay antecedentes de programas de monitoreo en diferentes ambientes acuáticos, y son muy escasos los de monitoreos a largo plazo. En general los programas existentes están ligados a grandes centros urbanos o a ambientes condicionados por alguna particularidad que potencialmente dificulta su funcionamiento.

Uno de los ambientes que históricamente ha recibido sucesivos programas de monitoreo de la calidad de sus aguas, sedimentos y/u organismos es el Río de La Plata, aunque dichos programas han tenido a lo largo del tiempo diferentes coordinaciones, estilos de gestión y objetivos. En este sentido se puede mencionar, entre otros, los trabajos presentados por AGOSBA / SHIN (1997) en el que se evaluó la calidad ambiental (características físico-químicas, bacteriología, nutrientes, metales pesados, plaguicidas) en aguas y sedimentos superficiales de la Franja Costera Sur del Río de La Plata. Este Informe sintetizó la información de 3 años de trabajo. De la misma manera es posible mencionar numerosos trabajos de grupos de investigación que estudiaron diferentes fenómenos ambientales y llegaron a conclusiones muy valiosas. En ese sentido se puede mencionar -entre otros- los trabajos de la Comisión Administradora del Río de la Plata (CARP, 1989), que incluye datos de calidad de las aguas y algunos datos de contaminantes; o de Janiot *et al.* (1991) determinando plaguicidas organoclorados en sedimentos de la costa argentina y zona frontal del Río de la Plata. En tiempos más recientes se publicaron trabajos de otros grupos, como los de Colombo *et al.* (2006) midiendo concentraciones y flujos de hidrocarburos aromáticos en sedimentos del Río de la Plata; o, de Ronco *et al.* (2008) quienes presentaron información de un “*screening*” de contaminantes en sedimentos de tributarios de la zona sudoccidental del Río de la Plata, entre otros. Este ambiente es un claro ejemplo de sistemas de los que se dispone de mucha información generada en diferentes momentos a lo largo de un período extenso, pero que no puede ser considerado un programa de monitoreo a largo plazo, porque la serie de datos tiene orígenes diferentes, discontinuidades en su ejecución y diferentes metodologías de trabajo en varias etapas de su concreción.

Otro ambiente actualmente bajo monitoreo es el Río Uruguay. Ante la problemática de la existencia de floraciones algales que presenta este río y la posible aparición de cianobacterias que pueden afectar a las localidades que utilizan de ese recurso hídrico para la producción y consumo de agua potable, como así al uso recreativo y turístico, los organismos provinciales rubricaron dos convenios, uno en el año 2008 y el último en el 2010, con dos años de duración, mediante los cuales se efectúan controles permanentes de la calidad de agua del mencionado río. En forma conjunta el Instituto Correntino del Agua y del Ambiente (ICAA) y el Ente regulador Administración de Obras Sanitarias Corrientes (AOSC) realizan desde diciembre de 2008 monitoreos permanentes del Río Uruguay, estableciendo como estaciones de muestreo cuatro localidades de la provincia: Garruchos, Paso de los Libres, Santo Tomé y Monte Caseros, determinando parámetros *in situ* y en el laboratorio físico-químicos, bacteriológicos y protistológicos. El estudio permite determinar alertas tempranas para la implementación de planes de contingencia en las plantas potabilizadoras, antes de la presencia de cianobacterias, así también caracterizar efluentes y disponer de información veraz en cuanto a capacidad de carga y autodepuración del río Uruguay (ICAA, 2012).

También se comenzó a desarrollar en el mismo ambiente mencionado un Programa de Vigilancia Ambiental del Río Uruguay, coordinado por la Subsecretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, y en el cual participan diferentes instituciones académicas de gran trayectoria y prestigio en Argentina (Universidades Nacionales de La Plata y de Buenos Aires, Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro de Investigaciones Toxicológicas de Buenos Aires, Servicio Meteorológico Nacional, entre otros). Los temas de investigación

incluidos en este Programa abarcan: Estudios biogeoquímicos; de plancton, biofilms y cianobacterias; de bentos; de anfibios; de peces; de hidrodinamismo y dispersión de contaminantes. Estudios de línea de base y monitoreo de indicadores de salud y biomarcadores de efecto en poblaciones de peces. Caracterización del medio bentónico. Geoquímica isotópica forense. Análisis del impacto ambiental sobre el componente aire. Análisis de las comunidades planctónicas y parámetros fisicoquímicos. Puesta a punto de estación de medición continua de calidad de aire en la zona de Costa Uruguay Sur. Estación de medición de datos meteorológicos. Dioxinas y furanos en aire. Estación fija de medición continua de calidad de aire en estancia Ñandubaysal. Estación móvil de medición continua de calidad de aire en el Río Uruguay en el área de Gualeguaychú y Zonas Aledañas. Instalación y operación de tres estaciones de meteorología continua, compuesta por torres de 40 metros de altura. Muestreos con equipos portátiles en distintos puntos de la zona. Recolección, procesamiento de datos y mantenimiento de bases de datos actualizadas. Generación de pronósticos diarios de condiciones meteorológicas en la región y de dispersión de contaminantes emitidos desde la planta de Botnia (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2012).

En muchos otros ambientes de nuestro país se llevan adelante programas de monitoreo ambiental, siguiendo diferentes modelos de diseño y de aplicación: embalse Río Hondo (Subsecretaría de Recursos Hídricos, 2007); Programa de Monitoreo Integrado de la cuenca Matanza – Riachuelo / Autoridad de la Cuenca Matanza – Riachuelo, ACUMAR (Servicio de Hidrografía Naval, 2012); etc.

El monitoreo a largo plazo del estuario de Bahía Blanca

La información existente sobre el estuario de Bahía Blanca es muy amplia, y sus antecedentes se remontan a la segunda mitad del siglo XIX, incluyendo informes realizados por Darwin (1845) sobre la distribución y caracterización de sales presentes en el *Salitral de la Vidriera*. De todas maneras es importante destacar que en su primera etapa la información es fragmentada y dispersa, y no tiene ninguna sistematicidad en su obtención. A pesar de la existencia de varios trabajos que incluyeron mediciones de parámetros fisicoquímicos del agua del estuario, recién en 1974 se inicia un muestreo sistemático quincenal en Ing. White y Puerto Cuatros (en la zona interior del estuario), que continúa en la actualidad. Los resultados obtenidos en este programa de trabajo han permitido definir a la zona interior del estuario como “verticalmente homogéneo” e “hipersalino” en ocasión de veranos cálidos y secos (Freije *et al.*, 1981; 1988; Marcovecchio y Freije, 2004; Freije y Marcovecchio, 2004). Simultáneamente se identificó también la influencia que ejercen sobre la salinidad las precipitaciones producidas sobre la cuenca de los tributarios y sobre la bahía misma.

La identificación del comportamiento y distribución natural de los parámetros fisicoquímicos estructurales (por ejemplo, temperatura, salinidad, pH, alcalinidad) y ecofisiológicos (por ejemplo, nutrientes inorgánicos, oxígeno disuelto, materia orgánica, pigmentos fotosintetizadores) del sistema determinados durante un período muy prolongado (como es el caso de este estudio), permiten caracterizar plenamente las condiciones basales de funcionamiento del mismo, y detectar rápidamente las desviaciones del comportamiento normal atribuibles a actividades humanas desarrolladas en la región.

¿Qué cuarenta años no es nada...?

Existen antecedentes de programas de investigación global a largo plazo de la

distribución de sustancias químicas, incluyendo contaminantes, en grandes áreas geográficas de varios continentes; entre ellos ya se han mencionado el *International Mussel Watch Programme* (Goldberg *et al.*, 1978; Farrington y Tripp, 1995) o el *Worldwide Persistent Organochlorine Compounds Monitoring Programme* (Tanabe *et al.*, 1987; 1994; Tanabe y Tatsukawa, 1991) que se ocuparon de evaluar las tendencias globales en la distribución de algunos compuestos en sistemas marinos costeros de todo el mundo. A diferencia de éstos, el programa de estudios desarrollado en la zona interior del estuario de Bahía Blanca consiste en la generación de una larga serie temporal de datos obtenidos con alta frecuencia; de hecho, y a partir de diciembre de 1974, se realizaron muestreos quincenales en dos puntos de la mencionada región, y que incluso fueron semanales en buena parte del período indicado. El desarrollo sistemático de este estudio en el estuario de Bahía Blanca, realizado durante las últimas casi cuatro décadas, ha permitido generar una base de datos sobre la cual se pueden fundamentar algunos conceptos que explican el funcionamiento y la condición físico-química del estuario. La larga serie de datos permite por otro lado diferenciar los desvíos debidos a la variabilidad natural de las muestras de aquellos producidos por la incidencia de alguna actividad realizada en la región y que aparta los datos de su distribución normal. Este programa de estudio ha permitido caracterizar significativamente la condición ambiental y el funcionamiento del estuario de Bahía Blanca, de lo que se presenta una breve síntesis a continuación:

- El análisis de esta larga serie de datos considerada permite caracterizar plenamente la condición ambiental del estuario de Bahía Blanca. La distribución de los parámetros físico-químicos del agua de mar, observada tanto en la etapa previa a la fuerte industrialización de esta región (´70s) como en la posterior, demuestra que el sistema no ha sufrido cambios significativos que implicaran variaciones en su funcionamiento. En tal sentido se puede comentar la estabilidad relativa que muestran los parámetros estructurales (por ejemplo, temperatura y salinidad) del sistema, así como las tendencias de los parámetros eco-fisiológicos (por ej., nutrientes, oxígeno disuelto, pigmentos fotosintetizadores) sostenidas en el tiempo y observadas a lo largo de los 30 años evaluados. Otro hecho importante que debe ser destacado es que el sistema conserva plenamente su sincronidad, al repetir con frecuencias sostenidas los ciclos naturales de los elementos (por ej., N, P, Si) que sostienen la producción biológica, así como la potencia y magnitud la misma. La distribución horizontal de estos parámetros no presentó variaciones espaciales significativas, y la vertical fue totalmente homogénea, lo que permite caracterizar al sistema como no estratificado. Todo esto indica que las actividades humanas que se desarrollan en la zona interna del estuario de Bahía Blanca no han generado cambios significativos en la condición físico-química basal del sistema, que mantiene sus propiedades y tendencias de distribución de sus parámetros similares a los correspondientes registros históricos.
- En cambio al evaluar la distribución de sustancias potencialmente contaminantes en este ambiente se pudo registrar una situación diferente. La mayor parte de los contaminantes estudiados fueron registrados en niveles claramente detectables en el estuario, incluyendo metales pesados, hidrocarburos y organoclorados. Estos contaminantes se encontraron básicamente en los sedimentos del sistema, aunque algunos (por ej., metales pesados) también fueron determinados en tejidos de organismos, material particulado en suspensión y disueltos en el agua. En lo que se refiere a la evolución temporal de la concentración de metales en el sistema, se identificaron tres situaciones diferentes: (i) algunos metales (por ej., mercurio) muestran una significativa tendencia decreciente en los compartimientos del sistema en las últimas dos décadas; (ii) otros metales (por ej., Pb, Cu, Cr) muestran niveles sostenidos en el tiempo, con variaciones intermedias; y, (iii) Zn y Cd que muestran una tendencia creciente a lo largo del tiempo, el primero con una pendiente mayor que el

segundo. La distribución horizontal de estos contaminantes mostró para la mayoría una variación espacial marcada, con los mayores valores en la zona interior y los menores en la externa, indicando la existencia de procesos de depositación en las zonas más ligadas a las fuentes externas de esos compuestos.

- Los ensayos de toxicidad realizados con organismos típicos del estuario demuestran que los niveles determinados en este ambiente son significativamente inferiores a los que generan efectos deletéreos letales, pero no existen hasta el momento evaluaciones sobre los correspondientes efectos subletales. La integración de esta información permite sostener que las actividades humanas que se desarrollan en la zona interior del estuario producen -en términos de contaminación- un impacto concreto sobre la calidad ambiental del sistema, que si bien no está en niveles de peligrosidad inminente, debe ser cuidadosamente vigilado para advertir nuevos cambios que se pudieran producir en esta condición.
- Como dato final vale la pena destacar la importancia de la realización de evaluaciones sistemáticas y de largo alcance en sistemas naturales afectados por actividades humanas, teniendo en cuenta la facilidad que significa interpretar datos ambientales potencialmente impactantes en el contexto de una larga serie de información que marquen una tendencia definida, a diferencia de las interpretaciones parciales que pueden hacerse en base a datos puntuales obtenidos en forma eventual.

Esta información ha sido parcialmente incluida en varias publicaciones (Marcovecchio, 2000; Marcovecchio *et al.*, 2001; 2008; 2009; 2010; Popovich y Marcovecchio, 2008; Botté *et al.*, 2010; Arias *et al.*, 2011; 2012, entre otros).

Por otro lado, este valioso programa académico se complementó con otro monitoreo en el mismo sistema realizado por solicitud de la Cámara Regional de la Industria de Bahía Blanca (durante el período 1997 – 2000) y posteriormente por el Comité Técnico Ejecutivo para el Monitoreo del Estuario de Bahía Blanca, dependiente de la Municipalidad de esa ciudad (durante el período 2000 – 2011). Esta considerable información adicional también está disponible y cubre otra área del estuario, generando de esta manera una ampliación real de la base de datos del ambiente estudiado (IADO, 1997; 2000; 2002; 2004; 2006; 2008; 2009; 2010; 2011).

De esta manera, en el estuario de Bahía Blanca se desarrolla un programa de monitoreo mixto, que combina el tipo “impulsado por preguntas” con el “mandatorio o dirigido”, y los resultados que se han obtenido representan una herramienta excelente para una buena gestión por parte de las autoridades responsables del área.

REFERENCIAS

- AGOSBA / SHIN (Adm. Gral. Obras Sanit. Pcia. Bs. As./ Serv. Hidrogr. Naval). 1997. Calidad de las aguas de la franja costera sur del Río de la Plata (San Fernando – Magdalena). *Infor. Cons.Perm. para el Monitoreo de la Calidad de las Aguas de la Franja Costera Sur del Río de la Plata*, 173 pp.
- Albaigés J., Farran A., Soler M., Gailifa A., Martín P. 1987. Accumulation and distribution of biogenic and pollutant hydrocarbons, PCBs and DDT in tissues of Western Mediterranean fishes. *Mar. Env. Res.* 22: 1-18.
- Arias A.H., Pereyra M.T., Marcovecchio J.E. 2011. Multi-year monitoring of estuarine sediments as ultimate sink for DDT, HCHs and other organochlorinated pesticides in Argentina. *Env. Monit. Ass.* 172 : 17-32.

- Arias A.H., Piccolo M.C., Spetter C.V., Freije R.H., Marcovecchio J.E. 2012. Lessons from multi-decadal oceanographic monitoring at an estuarine ecosystem in Argentina. *Int. J. Env. Res.* 6:219-234.
- Barakat A.O., Mostafa A., Wade T.L., Sweet S.T., El Sayed N.B. 2012. Assessment of persistent organochlorine pollutants in sediments from Lake Manzala, Egypt. *Mar.Poll. Bull.* 64: 1713–20.
- Bodin N., N'Gom Ka R., Le Loc'h F., Raffray J., Budzinski H., Peluhet L., Tito de Morais L. 2011. Are exploited mangrove molluscs exposed to Persistent Organic Pollutant contamination in Senegal, West Africa?. *Chemosph.* 84: 318–327.
- Bormann F.H., Likens G.E. 1967. Nutrient cycling. *Science* 155: 424–429.
- Botté S.E., Freije R.H., Marcovecchio J.E. 2010. Distribution of several heavy metals in tidal flats sediments within Bahía Blanca Estuary (Argentina). *Wat: Air Soil Poll.* 210: 371-388.
- Boyden C.R. 1974. Trace element content and body size in molluscs. *Nature* 251: 311-314.
- Bryan G.W. 1973. The occurrence and seasonal variation of trace metals in the scallops *Pecten maximus* (L.) and *Chlamys opercularis* (L.). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 53: 145-166.
- Burgman M.A., Ferson S., Akçakaya H.R. 1993. Risk Assessment in Conservation Biology. Chapman and Hall, New York, London. 844pp.
- Butler P.A. 1973. Organochlorine residues in estuarine mollusks 1965-1972 National Pesticide Monitoring Program. *Pest. Monit. J.* 6: 238-246.
- CARP (Comisión Administradora del Río de la Plata) 1989. Estudios para la Evaluación de la Contaminación del Río de la Plata. CARP-Serv. Hidrogr.Naval (Argentina)-Serv. Oceanog..Hidrogr.y Meteor. Armada (Uruguay). *Informe de Avance. Buenos Aires-Montevideo.* 42 pp.
- Carpenter S.R., Chisholm S.W., Krebs C.J., Schindler D.W., Wright R.F. 1995. Ecosystem experiments. *Science* 269: 324–327.
- Choi H.G., Moon H.B., Choi M., Yu J., Kim S.S. 2010. Mussel watch program for organic contaminants along the Korean coast, 2001–2007. *Env. Monit. Ass.* 169: 473–485.
- Claisse D. 1989. Chemical Contamination of French Coasts. The Results of a Ten Years Mussel Watch. *Mar. Poll. Bull.* 20: 523 -528.
- Collins A., Ohandja D-G., Hoare D., Voulvoulis N. 2012. Implementing the Water Framework Directive: a transition from established monitoring networks in England and Wales. *Env. Sci. Pol.* 17: 49-61.
- Colombo J.C., Cappelletti N., Laschi J., Migoya M.C., Speranza E., Skorupa C.N. 2006. Sources, Vertical Fluxes, and Equivalent Toxicity of Aromatic Hydrocarbons in Coastal Sediments of the Río de la Plata Estuary, Argentina. *Env. Sci.Technol.* 40: 734-740.
- Costa M.F., Landing W.M., Kehrig H.A., Barletta M., Holmes C.D., Barrocas P.R.G., Evers D.C., Buck D.G., Vasconcellos A.C., Hacon S.S., Moreira J.C., Malm O. 2012. Mercury in tropical and subtropical coastal environments. *Env. Res.* (en prensa)
- Cowan A.A. 1981. Organochlorine compounds in mussels from Scottish coastal waters. *Env. Poll.* 2: 129-143.
- Currie D.R., Parry G.D. 1999. Changes to benthic communities over 20 years in Port Phillip Bay, Victoria. *Mar. Poll. Bull.* 38: 36–43.
- Danell K., Bergström R., Duncan P., Pastor J. (Eds.) 2006. Large Mammalian Herbivores, Ecosystem Dynamics, and Conservation. *Cambridge Univ. Press*, Cambridge, England, 617pp.
- Darwin C.R. 1845. Journal of Researches into the Natural History and Geology of the various countries visited by H.M.S. Beagle. Murray Ed., London, UK.
- Dixon W. 1995. Information goals and their implications for sampling and interpretation. *Proc. AWWA Workshop on Monitoring for Managers. Australian Wat. Wastew. Ass. Inc.*, Brisbane, Australia.
- Dixon W., Chiswell B. 1996. Review of aquatic program design. *Wat. Res.* 30: 1935-48.
- Farrington J.W., Goldberg E.D., Risebrough R.W., Marlin J.H., Bowed V.F. 1983. U.S. "Mussel Watch" 1976-1978: An Overview of the Trace-Metal, DDE, PCB, Hydrocarbon, and Artificial Radionuclide Data. *Env. Sci.Technol.* 17: 490-496.
- Farrington J.W., Tripp B.W. 1995. International Mussel Watch Project. Initial implementation phase: final report. *NOAA Technical Memorandum NOS-ORCA* 95, 136 pp.
- Freije R.H., Zavatti J.R., Gayoso A., Asteasuain R.O. 1981. Producción primaria, pigmentos y fitoplancton del estuario de Bahía Blanca. 1) Zona Interior: Puerto Cuatrerros. *Contr. Cient. IADO* N° 46, 14pp.
- Freije R.H., Gayoso A. 1988. Producción primaria en el estuario de Bahía Blanca. *Inf. Cs. del Mar - UNESCO* 47: 112-114.
- Freije R.H., Marcovecchio J.E. 2004. Oceanografía química, *En: El ecosistema del estuario de Bahía Blanca*, Piccolo, Hoffmeyer (eds), IADO, Bahía Blanca, Cap. 8: 69-78. (ISBN 987-9281-96-9)

- GESAMP. 1990. GESAMP: The State of the Marine Environment. UNEP Reg. Seas Rep. and Studies, No 115. Group of Experts on Scientific Aspects of Marine Pollution. Nairobi, Kenya, 111 pp.
- Giege B., Barikmo J., Hirvi J.P., Odsjö T., Petersen H., Petersen A.E. 1995. Nordic environmental specimen banking – methods in use in ESB. *En: Man. for the Nordic Countr*, ThemaNord, p. 534.
- Goldberg E.D. 1975. The mussel watch - a first step in global marine monitoring. *Mar. Poll. Bull.* 6: 111.
- Goldberg E.D., Bowen V.T., Farrington J.W., Harvey D., Martin J.H., Parker P.L., Risebrough R.W., Robertson W., Scheiner E., Gamble E. 1978. "The Mussel Watch". *Env. Cons.* 5: 101-125.
- Goldberg E.D. 1986. The Mussel Watch Concept. *Env. Monit. Ass.* 7: 91-103.
- Goldberg E.D. 1994. Coastal zone space: prelude to conflict?. UNESCO, 138 pp.
- IADO. 1997. Estudio de la calidad del agua en la ría de Bahía Blanca. *Inf. Final Cámara Reg. de la Ind. (CRI)*, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, 60 pp.
- IADO. 2000. Estudio de la calidad del agua en la ría de Bahía Blanca, 2da.Etapa. *Inf.Final Cámara Reg. de la Ind. (CRI)*, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, 55pp.
- IADO. 2002. Programa de monitoreo de la calidad ambiental de la zona interior del estuario de Bahía Blanca. *Inf. Final*, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, 76 pp.
Disponible en: http://www.bahiablanca.gov.ar/cte/informes_medamb.php
- IADO, 2004. Estudio del impacto de la descarga cloacal de la ciudad sobre el estuario de Bahía Blanca. *Informe final*, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, 105 pp.
Disponible en http://www.bahiablanca.gov.ar/cte/informes_medamb.php
- IADO, 2006. Programa de monitoreo de la calidad ambiental de la zona interior del estuario de Bahía Blanca. *Informe Final*, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, 90 pp.
Disponible en http://www.bahiablanca.gov.ar/cte/informes_medamb.php
- IADO, 2008. Programa de monitoreo de la calidad ambiental de la zona interior del estuario de Bahía Blanca. *Informe Final*, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, 103 pp.
Disponible en http://www.bahiablanca.gov.ar/cte/informes_medamb.php
- IADO. 2009. Programa de monitoreo de la calidad ambiental de la zona interior del estuario de Bahía Blanca. *Informe Final*, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, 107 pp.
Disponible en http://www.bahiablanca.gov.ar/cte/informes_medamb.php
- IADO, 2010. Programa de Monitoreo de la Calidad Ambiental de la Zona Interior del Estuario de Bahía Blanca. Addenda al Inf. Final 2009. Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, 92 pp.
Disponible en http://www.bahiablanca.gov.ar/cte/informes_medamb.php
- IADO, 2011. Programa de monitoreo de la calidad ambiental de la zona interior del estuario de Bahía Blanca. *Informe Final*, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, 90 pp.
Disponible en http://www.bahiablanca.gov.ar/cte/informes_medamb.php
- ICAA (Instituto Correntino del Agua y del Ambiente) (2012) Monitoreo permanente del río Uruguay. <http://www.icaa.gov.ar/?p=388> (consultado el 06/04/2012)
- Janiot L.J., Orlando A.M., Roses O.E. 1991. Niveles de Plaguicidas Clorados en el Río de la Plata. *Acta Farm. Bonaer.* 10: 15-23.
- Keeling C.D., Whorf T.P., Wahlen M., van der Plicht J. 1995. Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980. *Nature* 357: 666–670.
- Keeling C.D., Chin J.F., Whorf T.P. 1996. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO2 measurements. *Nature* 382; 146–149.
- Kim S.K., Oh J.R., Shim W.J., Lee D.H., Yim U.H., Hong S.H. 2002. Geographical distribution and accumulation features of organochlorine residues in bivalves from coastal areas of South Korea. *Mar, Poll, Bull*, 45: 268–279.
- Krebs C.J., Boutin S., Boonstra R. 2001, Ecosystem Dynamics of the Boreal Forest: *The Kluane Project*. Oxford Univ, Press, New York.
- Lawton J.H. 2007. Ecology, politics and policy. *J. Appl. Ecol* 44: 465–474.
- Likens G.E. 1989: Long-term Studies in Ecology. *Appr. and Alternatives*. Springer-Verlag, New York.
- Likens G.E. 1992. The Ecosystem Approach: Its Use and Abuse. *Excell. in Ecology*, Vol. 3, Ecology Institute, Oldendorf / Luhe, Germany.
- Likens G.E., Walker K., Davies P., Brookes J., Olley J., Young W., Thoms M., Lake S., Gawne B., Davis J., Arthington A., Thompson R., Oliver R. 2009. Ecosystem science: toward a new paradigm for managing Australia's inland aquatic ecosystems. *Mar. Freshw. Res.* 60: 271–279.
- Lindenmayer D.B., Cunningham R.B., McGregor C., Crane M., Michael D., Montague-Drake R., Fischer J., Felton A., Manning A. 2008. The changing nature of bird populations in woodland remnants as a

- pine plantation emerges: results from a large-scale “natural experiment” of landscape context effects. *Ecol. Monogr.* 78: 567–590.
- Lindenmayer D.B., Likens G.E. 2010. The science and application of ecological monitoring. *Biol. Cons.* 143: 1317-28.
- Llorente G.A., Farran A., Ruiz X., Albaigés J. 1987. Accumulation and distribution of hydrocarbons, PCBs and DDT in tissues of three species of Anatidae from the Ebro Delta (Spain). *Arch. Env. Cont. Toxicol.* 16: 563-572.
- Marcovecchio J.E. 2000. Land-based sources and activities affecting the marine environment at the Upper Southwestern Atlantic Ocean: an overview. *UNEP Reg. Seas Rep. Studies* 170, 67 pp.
- Marcovecchio J.E., Andrade J.S., Ferrer L.D., Asteasuain R.O., De Marco S.G., Gavio M.A., Scarlato N., Freije R.H., Pucci A.E. 2001. Mercury distribution in estuarine environments from Argentina: the detoxification and recovery of salt-marshes after 15 years. *Wetl.Ecol. Manag.* 9: 317-322.
- Marcovecchio J.E., Freije R.H. 2004. Efectos de la intervención antrópica sobre sistemas marinos costeros: el estuario de Bahía Blanca. *An.Acad.Nac.Cs.Exact.Fís.Nat. Argentina* 56, 115-132.
- Marcovecchio J.E., Botté S.E., Delucchi F., Arias A.H., Fernández Severini M.D., De Marco S.G., Tombesi N.B., Andrade J.S., Ferrer L.D., Freije R.H. 2008. Pollution processes in Bahía Blanca estuarine environment. *En: Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America. Part B.* Neves, Baretta, Mateus (eds), IST Scientific Publishers, Lisboa, Ch.28: 303-316.
- Marcovecchio J.E., Spetter C.V., Botté S.E., Delucchi F., Arias A.H., Fernández Severini M.D., Negrin V.L., Popovich C.A., Freije R.H. 2009. Inorganic nutrients and organic matter tidal time-scale variation in a mesotidal estuary: Bahía Blanca, Argentina. *Chem. & Ecol.* 25: 453-465.
- Marcovecchio J.E., Botté S.E., Fernández Severini M.D., Delucchi F. 2010. Geochemical control of heavy metals concentrations and distribution within Bahía Blanca estuary (Argentina). *Aq. Geochem.*16: 251-266.
- Marigómez I., Soto M., Cancio I., Orbea A., Garmendia L., Cajaraville M.P. 2006. Cell and tissue biomarkers in mussel, and histopathology in hake and anchovy from Bay of Biscay after the Prestige oil spill (Monitoring Campaign 2003). *Mar. Poll. Bull.* 53: 287–304.
- McIntyre A.D., Pearce J.B. 1980. Biological Effects of Marine Pollution and the Problems of Monitoring. *ICES Rapp. Proc.-Verb. Reunions.* 179, Copenhagen, 346 pp.
- Monirith I., Ueno D., Takahashi S., Nakada H., Sudaryanto A., Subramanian A. 2003. Asia-Pacific mussel watch: Monitoring contamination of persistent organochlorine compounds in coastal waters of Asian countries. *Mar. Poll. Bull.* 46: 281–300.
- National Academy of Sciences. 1975. Assessing Potential Ocean Pollutants: A Report of the Study Panel on Assessing Potential Ocean Pollutants. *Nat. Acad. Sci., Washington DC*, 438 pp.
- National Academy of Sciences. 1977. Environmental Monitoring, A Report to the U.S.EPA from the Study Group on Environmental Monitoring. *Nat. Acad. Sci., Washington DC*, 181 pp.
- Neves R., Baretta J., Mateus, M. 2008. Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America. *IST Scientific Publ.*, Lisboa.
- Nichols J.D., Williams B.K. 2006. Monitoring for conservation. *Trends Ecol. & Evol.* 21: 668–673.
- Pearce J.B. 1998. A short history of Marine Environmental Monitoring. *Mar. Poll. Bull.* 37; 1-2.
- Persson I.-L., Nilsson M.B., Pastor J., Eriksson T., Bergström R., Danell K. 2009. Depression of belowground respiration rates at simulated high moose population densities in boreal forests. *Ecology* 90: 2724–33.
- Phillips D.J.H. (1980) Quantitative Biological Indicators. Their Use to Monitor Trace Metal and Organochlorine Pollution. *Applied Science*, London, 356 pp.
- Popovich C.A., Marcovecchio J.E. 2008. Spatial Variability of Phytoplankton and Environmental Factors in a Temperate Estuary of South América (Atlantic Coast, Argentina). *Cont. Shelf Res.* 28; 236-244.
- Porte C., Barceló D., Tavares T.M., Rocha V.C., Albaigés J. 1990. The Use of the Mussel Watch and Molecular Marker Concepts in Studies of Hydrocarbons in a Tropical Bay (Todos os Santos, Bahia, Brazil). *Arch. Env. Cont. & Toxicol.* 19: 263-274.
- Ronco A., Peluso L., Jurado M., Bulus Rossini G., Salibian A. 2008. Screening of Sediment Pollution in Tributaries from the Southwestern Coast of the Río de la Plata Estuary. *Lat. Am. J.of Sed.& Basin Anal.* 15: 67-75.
- Russell-Smith J., Whitehead P.J., Cook G.D., Hoare J.L. 2003. Response of Eucalyptus-dominated savanna to frequent fires: lessons from Munmarlary 1973–1996. *Ecol. Monogr.* 73 349–375.

- Schindler D.W., Mills K.H., Malley D.F., Findlay D.L., Shearer J., Davies I.J., Turner M.A., Linsey G.A., Cruikshank D.R. 1985. Long-term ecosystem stress: the effects of years of experimental acidification on a small lake. *Science* 228: 1395–1401.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2012. Programa de Vigilancia Ambiental del Río Uruguay. <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=7779> (consultado el 14/abr/2012)
- Sericano J.L., Wade T.L., Jackson T., Brooks J.M., Tripp B.W., Farrington J.W., Mee L.D., Readmann J.W., Villeneuve J.-P., Goldberg E. D. 1995. Trace Organic Contamination in the Americas: An Overview of the US National Status & Trends and the International “Mussel Watch” Programmes. *Mar. Poll. Bull.* 31: 214-225.
- Servicio de Hidrografía Naval. 2012. Programa de monitoreo integrado de la calidad del agua superficial y sedimentos de la Cuenca Matanza-Riachuelo y del Río de la Plata, y sistematización de la información generada. *Informe Final de la 2da Campaña – Marzo/Abril 2012*, 139 pp.
- Shim W.J., Yim U.H., Kim N.S., Hong S.H., Oh J.R., Jeon J.K. 2005. Accumulation of butyl- and phenyltin compounds in starfish and bivalves from the coastal environment of Korea. *Env. Poll.* 133: 489–499.
- Shrader-Frechette K.S., McCoy E.D. 1993. Method in Ecology: Strategies for Conservation. *Cambridge Univ. Press*, Cambridge, UK.
- Smith T.B., Purcell J., Barino J.F. 2007. The rocky intertidal biota of the Florida Keys: fifty-two years of change after Stephenson and Stephenson (1950). *Bull. Mar. Sci.* 80: 1–19.
- Sors A.I. 1987. Monitoreo y evaluación de impacto ambiental. *Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud – OPS / OMS, ECO Doc.de Divulgación* 38, 22 pp.
- Stelzenmüller V., Breen P., Stamford T., Thomsen F., Badalamenti F., Borja A., Buhl-Mortensen L., Carlstöm J., D’Anna G., Dankers N., Degraer S., Dujin M., Fiorentino F., Galparsoro I., Giakoumi S., Gristina M., Johnson K., Jones P.J.S., Katsanevakis S., Knittweis L., Kyriazi Z., Pipitone C., Piwowarczyk J., Rabaut M., Sørensen T.K., van Dalftsen J., Vassilopoulou V., Vega Fernández T., Vincx M., Vöge S., Weber A., Wijkmark N., Jak R., Qiu W., Hofstede R. 2013. Monitoring and evaluation of spatially managed areas: A generic framework for implementation of ecosystem based marine management and its application. *Mar. Policy* 37: 149-164.
- Subramanian A., Tanabe S. 2007. Persistent Toxic Substances in India. *En: Developments in Environmental Science, Vol. 7, Persistent Organic Pollutants in Asia: Sources, Distributions, Transport and Fate, Chapter 9*, Pp. 433–485
- Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación. 2007. Programa de Monitoreo Embalse Río Hondo (Diciembre de 2007). http://www.hidricosargentina.gov.ar/InformeMonitoreo_cap5.pdf
- Tanabe S. 1994. International mussel watch in Asia-Pacific. *Mar. Poll. Bull.* 28: 518-526.
- Tanabe S., Kannan N., Subramanian A.N., Watanabe S., Tatsukawa R. 1987. Highly toxic coplanar PCBs: occurrence, source, persistency and toxic implications to wildlife and humans. *Env. Poll.* 47:147-163.
- Tanabe S., Tatsukawa R. 1991. Persistent organochlorines in marine mammals. *En: Organic contaminants in marine mammals*, Jones (ed), Elsevier Sci. Publ., New York, pp.275-289.
- Tanabe S., Iwata H., Tatsukawa R. 1994. Global contamination by persistent organochlorines and their ecotoxicological impact on marine mammals. *Sci. Tot. Env.* 154: 163-177.
- Tanabe S., Prudente M.S., Kan-atireklap S., Subramanian A. 2000. Mussel watch: marine pollution monitoring of butyltins and organochlorines in coastal waters of Thailand, Philippines and India. *Oc. & Coast. Manag.* 43: 819-839.
- Thébault H., Rodríguez y Baena A.M., Andral B., Barisic D., Albaladejo J.B., Bologna A.S., Boudjenoun R., Delfanti R., Egorov V., El Khoukhi T., Florou, H., Kniewald G., Noureddine A., Patrascu V., Pham M., Scarpato A., Stokozov N., Topcuoglu S., Warnau M. 2008. 137Cs baseline levels in the Mediterranean and Black Sea: A cross-basin survey of the CIESM Med. Mussel Watch Progr. *Mar. Poll. Bull.* 57: 801–806.
- Tulloch A., Possingham H.P., Wilson K. 2011. Wise selection of an indicator for monitoring the success of management actions. *Biol. Cons.* 144: 141-154.
- Vakily J.M. 1989. En: The biology and culture of mussels of the genus *Perna*. *ICLARM*, Manila, 63 pp.
- Viana I.G., Aboal J.R., Fernández J.A., Real Villares R., Carballeira A. 2010. Use of macroalgae stored in an Environmental Specimen Bank for application of some European Framework Directives. *Wat. Res.* 44: 1723-44.
- Walters C.J. 1986. Adaptive Management of Renewable Resources. Macmillan Pub. Co., New York.
- Wepener V., Degger N. 2012. Status of marine pollution research in South Africa (1960–present). *Mar. Poll. Bull.* 64: 1508–12.

- Wise S.A., Koster B.J., Langland J.K., Zeisler R. 1993. Current activities within the national biomonitoring specimen bank. *Sci. Tot. Env.* 139/140: 1–12.
- Yoccoz N.G., Nichols J.D., Boulinier T. 2001. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecol. & Evol.* 16: 446–453.
- Zhan X., Li M.Y., Zhang Z., Goossens B., Chen Y., Wang H., Bruford M., Wei F. 2006. Molecular censusing doubles giant panda population estimate in a key nature reserve. *Curr. Biol.* 16: 451–452.