

# Los indicadores de la contaminación de las aguas

## MONITOREO QUÍMICO Y BIOMONITOREO

### El origen de la contaminación del agua

Durante gran parte de la historia del desarrollo humano los ambientes acuáticos han sido considerados como meras fuentes de abastecimiento de agua y eliminación de residuos. La creencia de que todo lo que se vertía en el medio acuático se diluiría debido a la inmensidad de los océanos (algo más de las dos terceras parte de la superficie de nuestro planeta), hizo que la idea de la contaminación acuática resultara algo impensado. Hoy en día se sabe que tanto las actividades humanas como cier-

tos procesos naturales pueden afectar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Es un tema complejo de enorme importancia ambiental, económica y científica, que ha sido objeto de debate en los últimos años.

En diversas oportunidades se planteó que el problema de la contaminación acuática debía ser estudiado de manera unificada *“porque cada contaminante, ya sea que esté en el aire o en la tierra, tiende a terminar en el mar”*. Sin embargo, resulta necesario que exista un límite práctico al alcance del estudio, ya que de otro modo sería demasiado extenso para ser afrontado. En 1968, el Consejo de Europa definió a la contaminación acuática como *“una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua,*

*haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural”*. La contaminación ambiental se puede manifestar en un aumento en la concentración de nutrientes, sedimentos, sales, metales traza, sustancias químicas y otras toxinas, así como organismos patógenos y nuevos contaminantes como disruptores endócrinos, como productos farmacéuticos y hormonas, aditivos industriales y derivados del petróleo.

La contaminación acuática es consecuencia directa o indirecta de las actividades antrópicas. El aumento significativo de la población mundial ha ido acompañado de una urbanización intensiva, un aumento en las actividades

industriales y una mayor explotación y aumento de zonas cultivables, haciendo que la cantidad de contaminantes se incremente día a día. Los distintos tipos de contaminantes pueden tener efectos a diferentes escalas espaciales y temporales. En el caso de los contaminantes orgánicos persistentes (COP), sus efectos nocivos perduran durante décadas en los sistemas acuáticos a escala mundial, mientras que los residuos provenientes de las actividades agrícolas ejercen efectos a corto plazo y a escala local. La lixiviación de los contaminantes proveniente de los desechos producidos por las ciudades, la industria, la desforestación y la actividad agrícola, a través del transporte de los fertilizantes y pesticidas desde los campos a las costas, hacen de las zonas costeras los ambientes más afectados. Los ambientes costeros se caracterizan por ser zonas de una gran productividad biológica; además, más de la mitad de la población mundial habita dentro de los 60 km de la línea costera.

Con el fin de desarrollar e implementar estrategias efectivas de gestión, es necesario comprender la problemática de la contaminación acuática basándose en la investigación y vigilancia de los ambientes marinos y dulceacuícolas. Es necesario que la comunidad, el poder político y la ciencia actúen en conjunto para encontrar las mejores estrategias para evitar y/o solucionar los problemas derivados de la contaminación acuática.

## Legislación

En la Argentina existen diversas leyes que buscan limitar la descarga de contaminantes al medio acuático. Por ejemplo la Ley 24.051 (conocida como la de ley del Régimen de desechos peligrosos) establece los valores máximos permitidos para las concentraciones de algunas sustancias (metales, compuestos orgánicos, entre otros) en el ambiente y las penas que les corresponden quienes "envenenare, adulterare o contaminare de un modo peligroso para la salud, el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general" (artículo 55). Los niveles guía de calidad ambiental son expresiones cuantitativas o narrativas basadas en información científica relativas a parámetros químicos, físicos y biológicos. Tienen por objetivo salvaguardar los componentes bióticos involucrados en los distintos usos (o destinos) del agua. A partir de un nivel de referencia de ambientes no contaminados y sobre la base de información básica proveniente de estudios toxicológicos, ecotoxicológicos y epidemiológicos efectuados en condiciones estandarizadas, se establecen los niveles mínimos de protección y un nivel para el cual los riesgos se consideran que van a ser insignificantes.

El establecimiento de niveles guía de calidad ambiental debe tender a incluir todos aquellos parámetros críticos para el ambiente y su estabilidad. La metodología para la derivación de estos niveles incluye la evaluación de la información científica concerniente a parámetros de calidad relacionada con los destinos del agua (consumo humano, protección de la biota acuática, irrigación de cultivos, etc.), la identificación de parámetros prioritarios en función de su ocurrencia ambiental y su significación deletérea y el cálculo de dichos niveles siguiendo procedimientos específicos. Una de las consideraciones más importantes es que esta metodología asume que los efectos de los parámetros de calidad de agua sobre los organismos son independientes entre sí.

Compuesto	Nivel guía (µg/l) para agua dulce superficial	Nivel guía (µg/l) para agua salada superficial
Aluminio (Al)	5	1500
Cromo (+6) (Cr)	2	18
Zinc (Total) (Zn)	30	4
Benceno	300	7
DDT	0,001	--
Endosulfán	0,02	0,087

Tabla 1. Niveles de concentración guía (µg/l) de algunos compuestos para la protección de la vida acuática en aguas saladas superficiales y aguas dulces superficiales de acuerdo a la Ley 24.051, Decreto 831/93, Anexo II, Tablas 2 y 3.

## Consecuencias ambientales

Una de las principales preocupaciones por la presencia de los desechos industriales, urbanos, agrícolas, y otros productos químicos en el medio ambiente acuático está determinada por las consecuencias ambientales que potencialmente pueden causar estos compuestos sobre los ecosistemas. El efecto que tiene la exposición de los organismos acuáticos a xenobióticos puede producir una cantidad de modificaciones bioquímicas, fisiológicas y/o morfológicas a nivel individual, así como también modificar la composición y abundancia de especies animales y vegetales en las comunidades afectadas, ya que cambios a nivel de los organismos pueden conducir a cambios en las poblaciones y comunidades. En este sentido, parámetros ecológicos como la riqueza (cantidad de especies presentes en una comunidad), la diversidad (tiene en cuenta la riqueza y el carácter de común o raro) y la equitatividad (regularidad con que los individuos están distribuidos entre las especies presentes en la comunidad), entre otros, constituyen herramientas muy importantes para estudiar y comparar comunidades. Todas estas características se ven influenciadas por la etapa sucesional en que se encuentra la comunidad y, eventualmente, por la ocurrencia de disturbios, entre ellos los originados por la presencia de xenobióticos.



Espectrofotómetro. El monitoreo químico evalúa la presencia de contaminante en el agua y en los organismos acuáticos.

## Monitoreo químico y biomonitoreo

Contrariamente al monitoreo químico, en el que principalmente se evalúa la presencia de contaminantes en el agua y en los organismos acuáticos por medio de análisis químicos, los métodos de biomonitoreo evalúan no solo la presencia, sino también la respuesta de los organismos a los contaminantes. El enfoque ecotoxicológico en el monitoreo ambiental se basa en el uso de biomarcadores, que son las respuestas metabólicas, bioquímicas y fisiológicas específicas en los organismos, relacionadas con

la toxicidad inducida por la exposición a xenobióticos. Una característica fundamental de los biomarcadores en la evaluación del impacto de los contaminantes es su capacidad para detectar la aparición temprana de estrés y predecir alteraciones en diferentes niveles de organización, debido a que cambios en los organismos conducen a cambios en los ecosistemas. El uso de biomarcadores en el monitoreo no reemplaza al monitoreo químico o los estudios poblacionales, sino que los complementa al determinar los efectos tóxicos de los contaminantes, incluso cuando estos se encuentran en concentraciones bajas y subletales.

## Los moluscos como bioindicadores

Distintos organismos acuáticos acumulan diferentes concentraciones de xenobióticos en sus tejidos. Así, diferentes invertebrados acuáticos que viven en el mismo hábitat pueden tener distintas concentraciones de xenobióticos, incluso dentro de taxones estrechamente relacionados. La captación y toxicidad de los contaminantes está influida no sólo por su concentración, sino también son relevantes el tiempo de exposición y factores ambientales tales como la salinidad, pH y temperatura. Entre los animales que son considerados bioacumuladores de xenobióticos, se destacan los moluscos filtradores, ya que al procesar grandes volúmenes de agua pueden estar expuestos a diversas sustancias tóxicas disueltas en el agua.

Numerosas investigaciones abordaron el estudio de biomarcadores en moluscos marinos para determinar la presencia y potencial tóxico de distintos contaminantes. Algunos gasterópodos como *Trophon* sp. y *Nacella* (P) sp. y bivalvos como el mejillón *Brachidontes* sp., la navaja *Tagelus* sp., el mejillón *Mytilus edulis*, y la cholga *Aulacomya atra*, son utilizados en el monitoreo de niveles de contaminación en las costas patagónicas, Tierra del Fuego y la Antártida. Entre los bivalvos bioindicadores de agua dulce para el biomonitoreo de niveles de coliformes se destacan las almejas *Neocorbicula limosa*, habitante conspicuo en ríos, arroyos y lagunas, y *Diplodon chilensis*, presente en lagos y ríos andinopatagónicos.



Las cholgas (A), los mitílidos (B) y *Diplodon* (C) acumulan diferentes concentraciones de xenobióticos en sus tejidos, y por eso son utilizados en el monitoreo de niveles de contaminación en las costas patagónicas.

## Glosario

**Lixiviación.** Es el desplazamiento hacia los ríos y mares de los desechos y contaminantes producidos por la actividad humana al ser arrastrados por el agua.

**Xenobiótico.** Del griego xeno ('extraño') y bio ('relativo a la vida'). Son compuestos que poseen una estructura química poco frecuente o inexistente en la naturaleza, ya que se trata de compuestos sintetizados por el hombre. La mayoría han aparecido en el medio ambiente durante los últimos 200 años.

**Etapas sucesional.** Se denomina sucesión ecológica al cambio a través del tiempo en la composición o estructura de una comunidad. Estos cambios se pueden verificar en tiempos relativamente cortos hasta cientos o miles de años. Cada una de los estadios por los que pasa la comunidad se denomina etapa sucesional. De esta manera, las etapas iniciales están dominadas por especies denominadas pioneras, que son paulatinamente reemplazadas por otras especies, determinadas intermedias y finales.

**Biomonitoreo.** Se denomina biomonitoreo a una serie de técnicas que aprovechan la sensibilidad de los organismos vivos frente a las sustancias contaminantes. Estos organismos se denominan indicadores biológicos y sirven para evaluar la toxicidad de un compuesto por medio de alteraciones en el desarrollo, la morfología, la fisiología, etc.

**Estrés oxidativo.** El término estrés oxidativo se refiere a la existencia de un desequilibrio entre la producción de las denominadas especies reactivas del oxígeno (EROs) y la capacidad de un sistema biológico de reparar el daño resultante.

Diferentes autores han propuesto las determinaciones de parámetros de estrés oxidativo como biomarcadores de contaminación ambiental ya que una gran variedad de productos químicos y de contaminantes poseen el potencial de causar daños en los organismos acuáticos. La producción controlada de especies reactivas de oxígeno (EROs) en las células aeróbicas tienen un papel esencial en diversos procesos biológicos. No obstante, dada su toxicidad, los organismos requieren de numerosos mecanismos antioxidantes para protegerse de reacciones oxidativas no deseadas a distintos componentes celulares (proteínas, lípidos y ADN). En circunstancias normales existe un equilibrio entre la producción de EROs y los procesos antioxidantes. El desequilibrio entre la generación y la neutralización de especies reactivas del oxígeno, ya sea por un déficit de las defensas o por un incremento en la producción de EROs, es lo que se denomina estrés oxidativo. Este desequilibrio puede causar efectos tóxicos a través de la producción de peróxidos y radicales libres que producen daños en las proteínas, los lípidos y el ADN a nivel celular.

Otros biomarcadores ampliamente utilizados para indicar una situación de estrés generada por contaminantes son la síntesis de metalotioneínas (MTs), proteínas de unión a metales implicadas en su detoxificación; también la relación ARN/ADN como medida de la síntesis de proteínas como biomarcador bioquímico de crecimiento que refleja una respuesta general a factores de estrés ambiental, además de proporcionar una estimación del estado nutricional y la síntesis de novo de proteínas; la for-

mación de micronúcleos se utiliza como biomarcador de genotoxicidad que indica el daño sobre el ADN originado por el contaminante. El seguimiento de biomarcadores en los organismos es un método validado y sirve como alerta temprana de efectos adversos, cambios y daños resultantes de la exposición a xenobióticos.

El uso de biomarcadores de toxicidad en moluscos ha aumentado considerablemente en los estudios toxicológicos de los últimos años, con el objeto de predecir el impacto biológico causado por la presencia de contaminantes, tanto a escala geográfica como temporal. Sin embargo, debido a que los biomarcadores, además de ser afectados por la presencia de xenobióticos, también pueden serlo por factores ambientales (por ejemplo la temperatura) o fisiológicos y metabólicos (reproducción, envejecimiento) es necesaria la realización de futuras investigaciones que permitan lograr una correcta interpretación de las respuestas obtenidas. Así, estas podrán ser utilizadas para evaluar en forma más eficiente el impacto producido por la presencia de contaminantes, y en la toma de decisiones e implementación de políticas ambientales por parte de las instituciones responsables de la regulación y el manejo de los recursos acuáticos. ■ ■ ■

*Por Sebastián E. Sabatini,*

*María D. Ruíz y*

*Javier A. Calcagno*

CONICET

Universidad Maimónides

## LECTURAS SUGERIDAS

Najle, R. y Luquet, C. M. 2005. Ansaldo, M., Nahabedian, D. E., Di Fonzo, C. y Wider, E.A. 2008. Effect of cadmium, lead and arsenic on the oviposition, hatching and embryonic survival of *Biomphalaria glabrata*. Science of the Total Environment 407, 6: 1923-1928.

Bigatti G. y Carranza, A. 2007. Phenotypic variability associated with the occurrence of imposex in *Odontocymbiola magellanica* from Golfo Nuevo, Patagonia. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 87: 755-759.

Bigatti G., Primost, M. A., Cledón, M., Averbuj, A., Theobald, N., Gerwinski W., Arntz W., Morriconi E. y Penchaszadeh, P. E. 2009. Bio-monitoring of TBT contamination and imposex incidence along 4700 km of Argentinean shoreline (SW Atlantic: From 38S to 54S). Marine Pollution Bulletin 58, 5: 695-701.

Calcagno, J. A., López Gappa, J. y Tablado, A. 1997. Growth and production of the barnacle *Balanus amphitrite* Darwin in an intertidal area affected by sewage pollution. Journal of Crustacean Biology 17, 3: 417-423.

Calcagno, J. A., López Gappa, J. y Tablado, A. 1998. Population dynamics of the barnacle *Balanus amphitrite* Darwin in an intertidal area affected by sewage pollution. Journal of Crustacean Biology 18, 1: 128-137.

Sabatini, S. E., Chaufan, G., Juárez A. B., Coalova, I., Bianchi, L., Eppis, M. R. y Ríos de Molina, M. C. 2009. Dietary copper effects in the estuarine crab, *Neohelice (Chasmagnathus) granulata*, maintained at two different salinities. Comparative Biochemistry and Physiology, 150: 521-527.

Sabatini, S. E., Rocchetta, I., Nahabedian, D. E., Luquet, C. M., Eppis, M. R., Bianchi, L. y Ríos de Molina, M. C. 2011a. Oxidative stress and histological alterations produced by dietary copper in the freshwater bivalve *Diplodon chilensis*. Comparative Biochemistry and Physiology, 154: 391-398.

Sabatini, S. E., Rocchetta, I., Luquet, C. M., Guido M. I. y Ríos de Molina, M. C. 2011b. Effects of sewage pollution and bacterial load on growth and oxidative balance in the freshwater mussel *Diplodon chilensis*. Limnologia, 41: 356-362.

## LA CARTA EUROPEA DEL AGUA

El Consejo de Europa adoptó en octubre de 1967 la CARTA EUROPEA DEL AGUA, proclamada en Estrasburgo el 6 de mayo de 1968, consta de 12 artículos:

1. No hay vida sin agua. El agua es un tesoro indispensable para toda actividad humana.
2. El agua no es inagotable. Es necesario conservarla, controlarla y, si es posible, aumentar su cantidad.
3. Contaminar el agua es atentar contra la vida humana y la de todos los seres vivos que dependen de este bien.
4. La calidad del agua debe mantenerse en condiciones suficientes para cualquier uso; sobre todo, debe satisfacer las exigencias de la salud pública.
5. Cuando el agua residual vuelve al cauce, debe estar de tal forma que no impida usos posteriores.
6. Mantener la cubierta vegetal, sobre todo los bosques, es necesario para conservar los recursos del agua.
7. Los recursos del agua deben ser inventariados.
8. La correcta utilización del agua debe ser planificada por las autoridades competentes.
9. La conservación del agua debe potenciarse intensificando la investigación científica, formando especialistas y mediante una información pública adecuada.
10. El agua es un bien común, cuyo valor debe ser conocido por todos. Cada persona tiene el deber de ahorrarla y usarla con cuidado.
11. La administración del agua debe fundamentarse en las cuencas naturales más que en las fronteras políticas y administrativas.
12. El agua no tiene fronteras. Es un bien común que requiere la cooperación internacional.