

# Biomarcadores

## Señal de alerta de contaminación ambiental Aplicación del estrés oxidativo

**N**umerosas actividades humanas resultan en procesos de contaminación ambiental. Durante las últimas décadas algunas actividades como la agricultura, la industria, la minería, el sector de servicios, la demografía y la economía de consumo han aumentado notablemente y han resultado en impactos diversos sobre el ambiente rural y urbano, y sobre los organismos que habitan en ellos.

Los cuerpos de agua están entre los ambientes más afectados por la contaminación ambiental (figura 1). Cuando una sustancia química es liberada por el hombre al ambiente y llega a un cuerpo de agua es rápidamente transportada más allá de donde se liberó. Esta dispersión de la sustancia puede alcanzar a muchos organismos y afectarlos de distintas maneras. Entre estos organismos se encuentra el hombre que, por lo tanto, también está expuesto a distintos agentes contaminantes en su vivienda y a través de los alimentos

que consume. La Organización Mundial de la Salud muestra que la contaminación de aguas es la principal causa de muertes y enfermedades en el mundo, con valores globales que superan las catorce mil personas cada día.

Numerosos incidentes de contaminación acuática en todo el mundo han recibido gran atención de los medios, lo que provocó la preocupación pública por la calidad del agua y el interés del sector legislativo por medidas para el cuidado del medio ambiente. Entre los casos más emblemáticos de la Argentina se destacan la contaminación del Riachuelo, de la cuenca del río Matanza y el río Reconquista (figura 2), la instalación de una fábrica de producción de pasta de celulosa en la costa oriental del río Uruguay y la contaminación de cuerpos de agua vecinos a zonas de minería a cielo abierto en el noroeste. Asimismo, en los últimos tiempos distintos grupos de investigación y otras organizaciones en todo el país se han enfocado a

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

Descargas de efluentes sin tratamiento o derrames accidentales de sustancias pueden resultar en procesos de contaminación de los cuerpos de agua. ¿Cómo pueden, ciertos organismos, indicarnos la presencia o magnitud de uno u otro contaminante? ¿Existen herramientas de detección temprana de procesos de contaminación que nos permitan prevenir el deterioro ambiental?

Nivel de organización	Parámetros utilizados como biomarcadores
<b>Molécula</b>	Daño genético, mutaciones, actividad de enzimas detoxificantes, niveles de producto de daño oxidativo.
<b>Célula</b>	Daños en organelas, alteraciones de funcionalidad (por ejemplo, en la actividad mitocondrial), proliferación celular.
<b>Organismo</b>	Deformaciones, enfermedad, formación de tumores.
<b>Población</b>	Tasas de supervivencia, crecimiento, mortalidad.
<b>Comunidad</b>	Cambios en la diversidad y abundancia de especies.

los problemas ambientales y de salud asociados al uso de pesticidas en la actividad agropecuaria (figura 3).

Frente a la presencia de estas sustancias contaminantes, los investigadores utilizan distintos organismos, como lombrices, algas o bivalvos, como indicadores para evaluar el impacto de estos compuestos. Entonces, el estudio del efecto de los contaminantes ambientales sobre estos organismos permite definir una herramienta de diagnóstico para evaluar la calidad y el estado de salud de los ecosistemas: los biomarcadores.

## ¿Qué son los biomarcadores y cómo funcionan?

Los biomarcadores son parámetros morfológicos, fisiológicos o bioquímicos que se pueden medir en los organismos y que varían cuando un determinado organismo se expone a un tóxico particular. Una analogía útil para comprender mejor cómo funcionan los bioindicadores en los cuerpos de agua es pensar en el cuerpo humano. Los biomarcadores utilizados en cuerpos de agua funcionan

de manera semejante a un análisis de sangre en una persona; los organismos que viven en él son como la sangre mientras que los biomarcadores representan los parámetros que describen el estado del cuerpo de agua, del mismo modo que las concentraciones de glucosa, hormonas o colesterol en la sangre describen el estado de salud de la persona. De esta manera, los biomarcadores permiten identificar las fuentes de contaminación y establecer límites a la liberación de contaminantes al medio.

La detección de alteraciones en biomarcadores permite evaluar de forma temprana los efectos negativos de los contaminantes, sirviendo como herramientas de diagnóstico. Los biomarcadores pueden ser agrupados en distintos niveles de organización, molécula, célula, organismo, y otros que se describen en la tabla anterior. Según qué nivel de complejidad se quiera analizar, se seleccionan diferentes biomarcadores.

Los biomarcadores se pueden utilizar para:

- Demostrar la presencia de contaminantes en un medio a partir de una respuesta específica a un tóxico.
- Estimar las consecuencias biológicas y ambientales de la exposición a un contaminante.



**Figura 1.** Diagrama de contaminación en los cuerpos de agua y sus consecuencias. Tomado y adaptado de Wisconsin Water Resources Clip Art Collection (<http://clean-water.uwex.edu/pubs/>).



**Figura 2.** (a) Imagen de la cuenca Matanza-Riachuelo en el tramo que atraviesa la localidad de Ezeiza (gentileza de Iara Rocchetta); (b) desembocadura de efluentes cloacales en un tramo del río Reconquista que atraviesa la localidad de Moreno (<http://naturalezademoreno.blogspot.com.ar>).



**Figura 3.** Envases de pesticidas utilizados en campos en la provincia de Entre Ríos, desechados al costado del campo donde se aplicaron (gentileza de Gerardo Cueto).

- Servir como herramienta para tomar decisiones de manejo de efluentes o bien para intervenir legislativamente o incluso modificar las políticas de uso y liberación al ambiente de sustancias químicas.

Por otra parte, los contaminantes dentro de un organismo pueden sufrir distintos procesos:

- Bioacumulación, que se da cuando un organismo absorbe un contaminante y lo retiene en su cuerpo por mucho tiempo.
- Biomagnificación, que se da cuando un organismo contaminado es ingerido por otro organismo y se produce un incremento de la concentración de un contaminante en los organismos de los sucesivos niveles tróficos, incrementando así los efectos tóxicos provocados por el contaminante.

Los biomarcadores también permiten determinar si se está dando alguno de estos procesos en los organismos de estudio y monitorear organismos clave dentro de un ecosistema, de forma tal de obtener una visión del impacto del contaminante sobre ese ambiente. El monitoreo de especies sensibles a contaminantes (organismos centinela) puede utilizarse como un aviso temprano de potenciales riesgos ecológicos.

## Parámetros de estrés oxidativo como biomarcadores

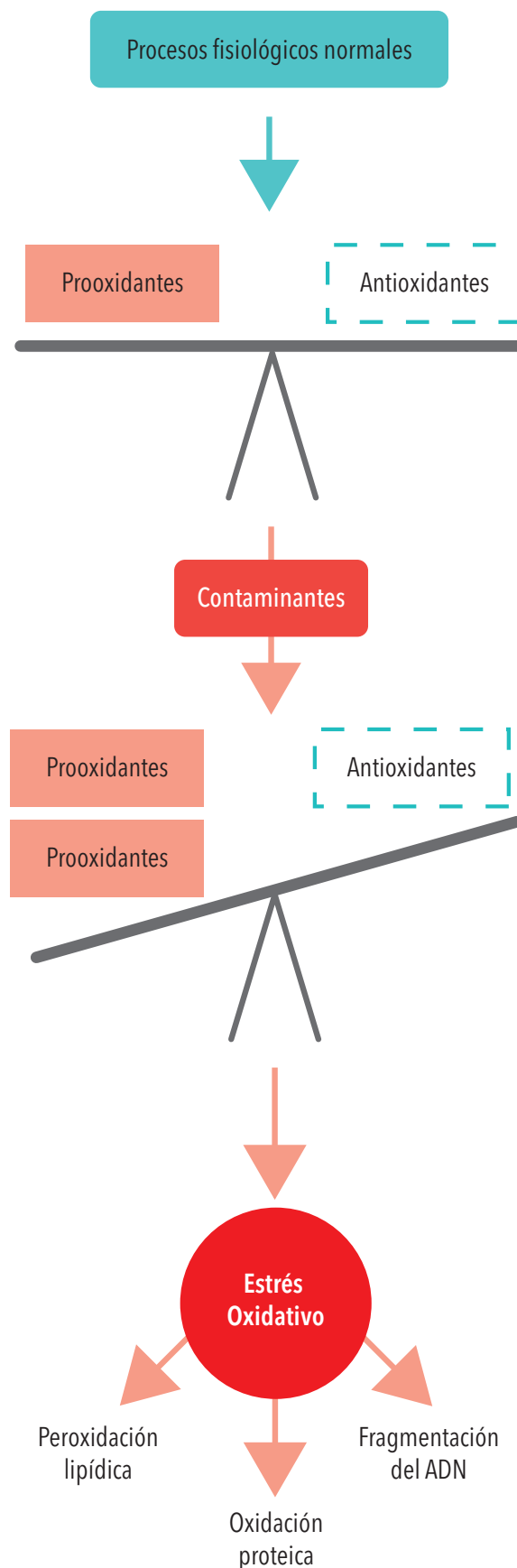
El estrés oxidativo es un estado fisiológico de desbalance entre sustancias prooxidantes y los mecanismos de defensa

antioxidante del organismo (figura 4). Este desequilibrio puede darse tanto por un aumento en la producción de prooxidantes como por una deficiencia en los mecanismos celulares de defensa y, en el caso de la producción de sustancias prooxidantes, estas pueden ser endógenas o exógenas al organismo. El estrés oxidativo está asociado a daños de los componentes celulares que a su vez pueden resultar en la afección de tejidos y, en última instancia, puede derivar en el desarrollo de procesos patológicos.

Los ambientes acuáticos son los más afectados por la contaminación ambiental debido a la descarga continua de tóxicos a los cuerpos de agua, ya sea por proximidad al sitio de uso, por derrames accidentales o por deriva de agroquímicos desde la zona en que se aplican hacia los cuerpos de agua vecinos. Existen numerosas evidencias que indican que muchos de estos agentes contaminantes, al llegar a los cuerpos de agua, son absorbidos por los organismos que allí habitan y pueden desencadenar en ellos el proceso de estrés oxidativo. Alteraciones en los parámetros de estrés oxidativo pueden servir como una señal temprana de exposición a contaminantes y de posibles consecuencias relacionadas con daños celulares posteriores y es por esto que su estudio ha despertado el interés en el campo de la toxicología acuática y ambiental en los últimos tiempos. Más aún, los avances en esta materia han permitido su utilización como herramienta de diagnóstico, con capacidad predictiva para evidenciar el impacto de los contaminantes sobre los organismos.

En investigaciones recientes se ha demostrado la participación del estrés oxidativo en el mecanismo de toxicidad de diversos contaminantes (efuentes urbanos, herbicidas y metales pesados) en organismos de ambientes acuáticos. Por medio de organismos modelo tales como las algas unicelulares o las almejas (figuras 5a, 5b), hemos podido corroborar la participación del estrés oxidativo en procesos de toxicidad, en forma simultánea con la existencia de otras alteraciones morfológicas y funcionales de los organismos expuestos a los agentes contaminantes. Estas alteraciones generalmente son una función positiva de la concentración y el tiempo de exposición a los contaminantes.

Los distintos contaminantes ambientales tienen efectos muy diversos sobre los organismos, por lo tanto, no es posible establecer un efecto único para un contaminante dado. Para el estudio del impacto de contaminantes de un ecosistema se debe considerar el ecosistema en su conjunto y tener en cuenta que todos los organismos en la comunidad son importantes para mantener el equilibrio. Es por esto mismo que los trabajos de investigación de un mismo contaminante sobre distintos organismos no son redundantes sino complementarios. Asimismo, la gama de biomarcadores utilizados se ha ampliado con el avance de las tecnologías disponibles, lo que también permite aumentar el entendimiento sobre el mecanismo de acción de los contaminantes. El conocimiento de los mecanismos de acción permite inferir posibles efectos




**Figura 4.** Esquema de la generación de estrés oxidativo por contaminación a través del desbalance entre sustancias prooxidantes y defensas antioxidantes y su efecto sobre macromoléculas de vital importancia.

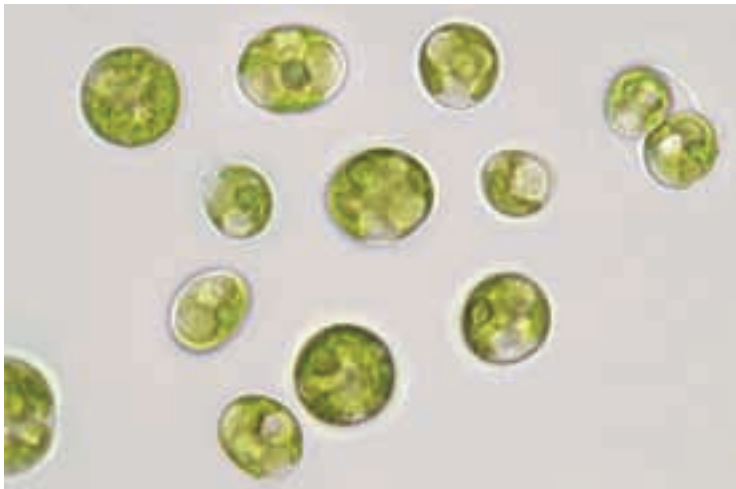
del contaminante sobre otros organismos que aún no han sido estudiados.

## Perspectivas en nuestro país y en el mundo

El objetivo común a todos estos trabajos es poder proponer biomarcadores que den una señal temprana de toxicidad en el ambiente y aportar herramientas que contribuyan a monitorear ambientes acuáticos y generar adecuadas políticas de protección al medio.

La propuesta de desarrollar un biomarcador debe basarse en el conocimiento de su mecanismo de respuesta frente a un contaminante dado. Es entonces cuando en las últimas décadas, tanto en la Argentina como en el mundo, numerosos grupos de investigación han enfocado sus esfuerzos en el estudio de los efectos de los contaminantes sobre distintos organismos afectados con el fin de seleccionar los parámetros adecuados como biomarcadores.

En este sentido, se han hallado para distintos ambientes biomarcadores que responden a ciertos contaminantes específicos alrededor del globo. Incluso, se han desarrollado programas de monitoreo ambiental que utilizan biomarcadores como la herramienta para diagnosticar el estado de salud del ecosistema y las comunidades que lo habitan. Particularmente, en la Argentina, algunos ejemplos de los programas de biomonitoreo en marcha son el de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, que analiza la calidad del aire a través de líquenes; el que analiza las comunidades de abejas de la ciudad de Bahía Blanca para determinar presencia de metales pesados e hidrocarburos en el agua y el aire y, en Mar del Plata, el que busca determinar la presencia de metales pesados y pesticidas en el agua. 



**Figura 5.** Imágenes de algunos de los modelos de estudio empleados en el LEEM: (a) microalgas de agua dulce, *Scenedesmus vacuolatus*, (b) almeja de agua dulce, *Diplodon chilensis* (gentileza de María Soledad Yusseppone).



### Anabella Victoria Fassiano

Licenciada en ciencias biológicas, UBA.  
Becaria doctoral.  
[afassiano@qb.fcen.uba.ar](mailto:afassiano@qb.fcen.uba.ar)



### María del Carmen Ríos de Molina

Doctora en ciencias químicas, UBA.  
Profesora adjunta, Departamento de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.  
Investigadora independiente del Conicet.  
Miembro de la subcomisión de doctorado del Departamento de Química Biológica, FCEYN, UBA.  
[mcrios@qb.fcen.uba.ar](mailto:mcrios@qb.fcen.uba.ar)



### Ángela Beatriz Juárez

Doctora en ciencias biológicas, UBA.  
Jefe de trabajos prácticos, Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, FCEYN, UBA.  
Investigadora en UBA categoría III.  
[abjuarez@bg.fcen.uba.ar](mailto:abjuarez@bg.fcen.uba.ar)

## LECTURAS SUGERIDAS

**BLESSING, A.**, 2001, *Pesticides and water quality*, Purdue Pesticide Programs. <http://www.ppp.purdue.edu/Pubs/PPP35.html>

**MUDRY M. y CARBALLO M.**, 2006, *Genética toxicológica*, Buenos Aires, De los Cuatro Vientos.

**RÍOS DE MOLINA M.C.**, 2003, 'El estrés oxidativo y el destino celular', *Química Viva*, 2 (1). Revista electrónica. [www.qb.fcen.uba.ar](http://www.qb.fcen.uba.ar).

Blog del Laboratorio de Enzimología, Estrés y Metabolismo. [www.leemqb.blogspot.com.ar](http://www.leemqb.blogspot.com.ar)

Biomarcadores de contaminación. Patricia Olivella. Noticias de Exactas. <http://noticias.exactas.uba.ar/?p=2877>