



## Biomonitoreo para la limpieza del ambiente

Junto con el desarrollo acelerado de la industria, ha crecido también la cantidad de desechos y compuestos tóxicos que se acumulan en el ambiente. En respuesta, se ha incrementado el interés de la ciencia por conocer y proteger el ambiente, y por elaborar criterios físicos, químicos y biológicos para estimar el impacto de la actividad humana sobre el ecosistema. En ese contexto, la biotecnología ofrece herramientas que permiten detectar compuestos tóxicos (**biomonitoreo**) y descontaminar el ambiente empleando microorganismos y plantas (**biorremediación**, ver Cuadernos N° 36, 46, 79).

### ¿En qué consiste el biomonitoreo?

El biomonitoreo es un conjunto de técnicas basadas en la reacción y sensibilidad de distintos organismos vivos a diversas sustancias contaminantes presentes en un ecosistema. En otras palabras, es la evaluación de los efectos deletéreos de una sustancia tóxica sobre distintos organismos. Estos organismos son empleados como *indicadores biológicos* de la toxicidad de un compuesto que se mide a través de diferentes *índices biológicos* (alteraciones en el desarrollo, en funciones vitales, etc.).

La evaluación de contaminación por biomonitoreo puede realizarse de dos modos:

- a) Mediante el estudio de los efectos sobre los organismos indicadores preexistentes en el ecosistema de interés,
- b) Mediante la toma de muestras del ambiente de interés y el análisis en el laboratorio de la presencia de contaminantes sobre organismos indicadores modelo (ver Cuaderno n°50).

Estos índices biológicos pueden dar información no solo de las condiciones momentáneas, sino también de lo sucedido en momentos previos a la toma de las muestras. Junto con la medición de parámetros físicos y químicos, el biomonitoreo permite evaluar el impacto que la actividad humana tiene en el medio ambiente, ya sea en ecosistemas abiertos como en efluentes industriales o cloacales.

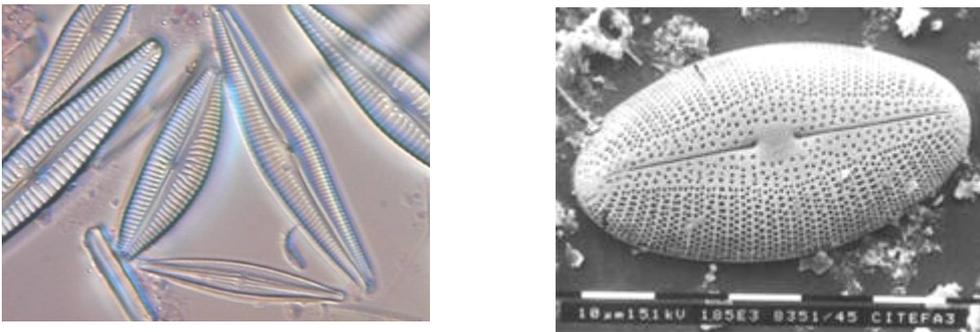
### Biomonitoreo mediante organismos indicadores presentes en el ecosistema de interés

El organismo indicador seleccionado para el estudio de biomonitoreo depende del ecosistema en estudio y de los compuestos tóxicos a determinar. Los organismos más empleados para realizar biomonitoreo de ambientes acuáticos, que están entre los más afectados por diversas contaminaciones, son:

- I. Microalgas: dentro de este grupo se destacan las diatomeas, un grupo de algas unicelulares pertenecientes a la Clase *Bacillariophyceae*, que poseen un tamaño de entre 50 y 500  $\mu\text{m}$  (microplankton). Constituyen el grupo más importante del fitoplancton debido a que contribuyen con cerca del 90% de la productividad de los sistemas. Se las considera ideales para biomonitoreo dado que son fáciles y rápidas de muestrear en

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.

grandes cantidades y sobre pequeñas áreas superficiales. Además, algunas especies de este grupo son muy sensibles a los cambios ambientales ya sea en cortos o largos períodos de tiempo, y esto les otorga a las diatomeas gran importancia en la detección de compuestos vertidos ocasionalmente. Otra característica que las hace ideales como organismos indicadores es que estas algas son particularmente manejables gracias a que sus paredes celulares de sílice son raramente dañadas al ser removidas de los sustratos naturales o artificiales, y son fácilmente cultivables. Además, existe mucha información ecológica referida a sus rangos de tolerancia ambiental.



**Figura 1. Microscopías de diatomeas.** La imagen izquierda muestra una microscopía óptica de diatomeas, y la imagen derecha una microscopía electrónica de diatomeas que revela su estructura exterior (imágenes tomadas del Laboratorio de Diatomeas Continentales-Morfología Vegetal, Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, FCEyN – UBA).

- II. **Macroinvertebrados bentónicos:** incluyen, por ejemplo, insectos acuáticos y cangrejos, empleados desde hace más de 100 años para estimar la calidad de cuerpos de agua. Los macroinvertebrados son utilizados como bioindicadores por varias razones, entre ellas: son relativamente abundantes, tienen el tamaño suficiente para ser observados con equipamientos sencillos sin necesidad de microscopios; son muy sensibles a perturbaciones; tienen un ciclo de vida lo suficientemente largo como para ser afectados por las condiciones de la calidad del agua; están relativamente inmóviles; tienden a formar distintas comunidades que están asociadas con condiciones físicas y químicas muy particulares; son fáciles de recolectar; existen métodos de evaluación y conocimiento sobre taxonomía para varias regiones.



"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.



**Figura 2. Análisis de diversidad de macroinvertebrados en un curso de agua.** Se muestra cómo es la toma de muestra en un río de montaña, y esquemas de los diferentes macroinvertebrados que pueden hallarse (imágenes tomadas de Scheibler, ver Material de consulta).

**Tabla 1. Respuestas típicas de las comunidades de macroinvertebrados a diferentes condiciones de estrés ambiental**

Estrés	Número/Biomasa	Diversidad
Sustancia tóxica	Se reduce	Se reduce
Cambios de temperatura	Se reduce	Se reduce
sedimentos	Se reduce	Se reduce
pH bajo (acidez)	Se reduce	Se reduce
Enriquecimiento orgánico	aumenta	Se reduce

**Tabla 1.** Cambios medidos cuando un sistema acuático es sometido a diferentes alteraciones o tipos de estrés. Parámetros como la diversidad (número de diferentes tipos de organismos) y la abundancia (número total de individuos) de macroinvertebrados en un ecosistema son útiles si se considera la estructura de la comunidad total y los cambios en el tiempo.

Así, en los ríos de montaña de aguas frías, muy transparentes y muy bien oxigenadas, se espera siempre encontrar poblaciones dominantes diferentes a las que existirán en los ríos y quebradas que están siendo contaminados con materia orgánica (de aguas turbias y con poco oxígeno). De hecho, una persona con la suficiente experiencia para reconocer a simple vista todos estos organismos en el campo, en unos pocos minutos después de levantar algunas rocas y troncos sumergidos, y de acuerdo a las características de olor y color de las aguas, puede afirmar con relativa certeza si el ecosistema no está perturbado o, si por el contrario, está siendo impactado por distintos tipos de contaminación (residuos municipales, agrícolas, industriales e impactos de otros usos del suelo sobre los cursos de aguas superficiales).

### **Biomonitoreo a partir de muestras tomadas de los ecosistemas sobre organismos indicadores modelo**

Otra forma de analizar el grado de contaminación y la presencia de compuestos tóxicos en un determinado lugar, es tomar muestras y ponerlas en contacto con organismos o sus derivados y evaluar las alteraciones que en ellos se producen.

La Tabla 2 compara los resultados de ensayos de sensibilidad de distintos sistemas de biomonitoreo. Es decir, qué concentración de los distintos contaminantes (metales pesados en este caso) es detectada por cada sistema, expresada en algunos casos como **EC50** (concentración media efectiva) y **LC50** (concentración media letal).

La **EC50** se define como *la concentración de una sustancia en un medio que se espera produzca un cierto efecto en el 50% de los organismos testeados de una población bajo ciertas condiciones* (IUPAC, 1993).

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.



La **LC50** representa la concentración del compuesto tóxico que resulta letal para el 50% de los organismos expuestos durante un período especificado.

En otros sistemas, no se utilizan valores de EC50 o LC50, sino que se determinan parámetros propios, como por ejemplo, las alteraciones o aberraciones en el ADN del organismo bioindicador (por ejemplo, los ensayos en cebolla).

Tabla 2. Ensayos empleando bioindicadores de diferente naturaleza

Ensayo empleado	Parámetro evaluado	Concentración de metales pesados, EC50 o LC50, para cada metal evaluado				
		Cu <sup>2+</sup> (mg/L)	Cd <sup>2+</sup> (mg/L)	Pb <sup>2+</sup> (mg/L)	Ni <sup>2+</sup> (mg/L)	Zn <sup>2+</sup> (mg/L)
<b>Ensayos con cultivos celulares, bacterias, invertebrados, peces y mamíferos</b>						
Ensayo con MetPLATE en <i>E. coli</i>	EC50 de actividad galactosidasa	0,2	0,03	10	1	0,1
Microtox	EC50	0,6	40,8	ND*	ND	14,5
Pez <i>Pimephales promelas</i>	LC50	0,02-0,1	0,01-2,2	0,81-5,4	3,4	0,33-1,7
Invertebrado <i>Daphnia magna</i> (pulga de agua)	EC50	0,02-0,54	0,02-4,7	3,6-4,9	7,6-11	0,07-5,1
<b>Ensayos con plantas</b>						
Ensayo en <i>Allium cepa</i>	Formación de micronúcleos (alteración del ADN)	>7,94	>5,6	>0,83	ND	ND
Ensayos de mutación y recombinación en <i>Arabidopsis thaliana</i>	Menor concentración que genera puntos azules	0,05	0,001-0,01	0,5	0,5	6

Los elementos medidos son Cobre, Cadmio, Plomo, Níquel y Zinc. \*ND = no determinado.

Según los datos de la tabla se puede interpretar que un valor más elevado de EC50 o LC50 significa que se requiere más metal u otro compuesto que se esté evaluando para que el 50% de los individuos muestren alteraciones o mueran.

Algunos de los ensayos más utilizados para el biomonitoreo son:

i) **Microtox®**: se basa en la detección de la luminiscencia emitida naturalmente por las bacterias marinas *Vibrio fischeri* como subproducto de la respiración celular. El metabolismo de la bacteria es afectado directamente por agentes tóxicos y, en consecuencia, también la emisión de luminiscencia. Se utiliza para determinar la toxicidad aguda de muestras medioambientales y compuestos puros. En el sistema Microtox®, la toxicidad se expresa como la concentración de agente que produce la reducción del 50% de la luminiscencia inicial (EC50). Este sistema de monitoreo se puede aplicar tanto a muestras sólidas (sedimentos y suelos) como a extractos acuosos. Algunos ejemplos de muestras que pueden analizarse con este bioensayo son:

- Efluentes de plantas de tratamiento de aguas.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Porqué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Porqué Biotecnología.



- Aguas de bebida.
- Sedimentos.
- Suelos contaminados en procesos de remediación.
- Aguas industriales.

ii) **MetPlate®**: es específico para detectar metales pesados, aún en presencia de otros agentes tóxicos. Se basa en la inhibición de la enzima  $\beta$ -galactosidasa de la bacteria *Escherichia coli* en muestras acuosas. El resultado se puede evaluar cualitativamente y cuantitativamente. En el primer caso, dado que las muestras cambian su color según la cantidad de metales pesados presentes en ellas, se puede realizar una comparación a simple vista con muestras patrones de composición conocida. Este tipo de procedimiento visual es importante en ensayos de campo, especialmente para sondeos de muestras de gran tamaño. También se pueden realizar mediciones cuantitativas empleando equipamiento adecuado. Este bioensayo tiene, entre sus aplicaciones:

- Búsqueda de desechos municipales e industriales.
- Rastreo de fuentes de metales pesados.



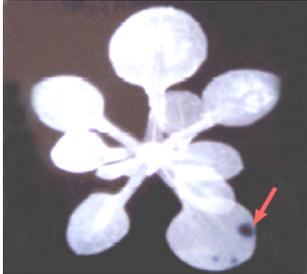
**Figura 3. Bioensayo de Met-Plate®.** Se observa en la figura una placa con los 96 micropocillos y las distintas coloraciones de las muestras ensayadas en función de la concentración del compuesto

iii) **Bioensayo con ratones transgénicos**: se basa en el uso de ratones que portan el gen de la hormona de crecimiento humana (hGH) bajo un promotor inducible por estrés. Cuando cultivos primarios de las células de estos ratones son tratados o inyectados con compuestos tóxicos, se evalúa la producción de hGH.

iv) **Ensayos con plantas transgénicas**: Las plantas también pueden ser usadas como “indicadores” para detectar la presencia de compuestos tóxicos en el medio ambiente, particularmente para la detección de varios metales tóxicos. La estrategia utilizada en el ejemplo que menciona en la tabla, se basa en la transformación de plantas de *Arabidopsis thaliana* con una versión inactiva del gen reportero *uidA*, alterado de manera tal que la transcripción y, por ende, la síntesis de la proteína GUS, está inhibida. Estas plantas se utilizan para la medir la **genotoxicidad** inducida por compuestos tóxicos inorgánicos. Con cierta frecuencia, las mutaciones inducidas por estos agentes puede producir la reversión del gen al estado funcional. La tasa de reversión (medible por la aparición de actividad de

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Porqué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Porqué Biotecnología.

la proteína GUS) es proporcional a la concentración del agente genotóxico. Esta actividad se puede monitorear colocando la planta en un medio con un sustrato adecuado que es transformado en un producto color azul. Luego de decolorar la planta con alcohol, se pueden visualizar puntos o regiones azules en los lugares donde hubo actividad GUS.



**Figura 4. Detección de compuestos tóxicos mediante una planta transgénica.** La presencia de compuestos tóxicos por encima de una concentración mínima muy baja, activan la expresión del gen *uid-A*, cuyo producto es monitoreado como aparición de puntos azules luego de una tinción adecuada (flecha roja). Imagen tomada de Kovalchuk

Otros ensayos convencionales utilizan organismos muy sensibles a distintos compuestos tóxicos como indicadores, ya sea porque producen su mortandad o alteraciones genéticas y fenotípicas varias.

v) Los peces, como por ejemplo *Pimephales promelas*, son organismos muy utilizados para valorar la toxicidad de cuerpos de agua. Cuando la concentración del compuesto tóxico provoca su muerte en 96hs o menos, se la llama **exposición aguda**, mientras que a las exposiciones de mayor duración, con concentraciones sub-letales, se las denomina **exposiciones crónicas**. Para el caso de los estudios de toxicidad aguda, el parámetro que se evalúa es la muerte de los individuos en estudio, reportándose el valor LC50 (concentración del tóxico que es letal para el 50% de los organismos expuestos durante un período determinado). En estudios fisiológicos y en exposiciones crónicas se miden otras respuestas distintas a la muerte. Entre ellas, se pueden medir la velocidad de ciertas funciones, los niveles de algunas enzimas, y la concentración de algunos metabolitos. Un ejemplo: la tasa de respiración, la velocidad de nado, la tasa de consumo de oxígeno, la concentración de electrolitos o de glucosa en suero, el nivel de glutatión hepático, etc.



**Figura 5.** Fotografía del pez *Pimephales promelas* utilizado como bioindicador.  
Fuente: <http://www.nativefish.org/Gallery/>

Qué parámetro se va a determinar depende, en parte, del objetivo del estudio. Si se quiere evaluar la protección medioambiental, se determina la concentración del tóxico que se puede permitir en un cuerpo de agua, sin que cause un daño significativo a los organismos

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.



residentes. Este parámetro normalmente se determina en exposiciones crónicas y es la base para el establecimiento de las normas o criterios de calidad del agua. Si, en cambio, se desea evaluar el impacto ambiental de un compuesto, el parámetro toxicológico más empleado es la toxicidad aguda, expresada como EC50.

A partir de los experimentos que se realizan con exposición crónica en todos los estadios de desarrollo del organismo al tóxico, se identifican los siguientes parámetros:

- la concentración más alta que no produce efectos sobre el crecimiento, reproducción, supervivencia del pez de prueba, éxito de la eclosión y crecimiento de la progenie.
- la concentración más baja que afecta cualquiera de las variables fisiológicas anteriores.

Al rango entre los dos valores se le conoce como la **Concentración Máxima Aceptable del Tóxico (CMAT)**.

### ¿Cómo se procede luego del análisis de contaminación?

Una vez detectado en un ecosistema la presencia de un compuesto tóxico, existen varios caminos para tratar de eliminarlo. Al principio, la descontaminación consistía en transportar el material contaminado a un lugar donde se lo confinaba o incineraba, con el perjuicio especialmente hacia las comunidades cercanas al lugar de confinamiento /incineración.

En los sucesivos años, se han desarrollado procesos físicos, químicos y biológicos a fin de:

- a. transformar los tóxicos ambientales en sustancias menos peligrosas para el hombre ya sea porque se los destruye completamente, se disminuye su toxicidad, disminuye su concentración, o se los modifica químicamente
- b. hacer tolerables los riesgos para la salud durante el proceso de limpieza
- c. que los riesgos remanentes, en casos de remediación, sean iguales o menores que los establecidos en las metas de restauración.
- d. que la transformación se lleve a cabo en el sitio donde se encuentran los tóxicos (*in situ*).
- e. que logren la disminución o eliminación del peligro para la salud en tiempos y costos razonables.

Entre las técnicas biológicas que pueden emplearse para la eliminación de contaminantes en suelo y agua, se encuentra la **biorremediación**, que consiste en el uso de microorganismos para degradar las sustancias tóxicas convirtiéndolas, de ser posible, en dióxido de carbono, agua y sales minerales (ver Cuaderno n° 36 y 46), y la fitorremediación (ver Cuaderno n° 79), en la cual se emplean plantas o árboles en la limpieza del ambiente.

### Tratamiento de efluentes industriales y cloacales

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.



Una de las causas de contaminación ambiental, con perjuicio para la salud humana y animal, son los efluentes industriales y cloacales, problema incrementado por el aumento poblacional y la creciente demanda de industrialización. En el caso de los efluentes de origen industrial y cloacal se requiere de una etapa previa de tratamiento de la contaminación. Esto implica que ningún desecho industrial, por ejemplo, que contenga sustancias tóxicas, debe alcanzar el medio ambiente sin antes haber recibido un tratamiento. El mismo debe servir para reciclar o destruir el compuesto tóxico, o al menos para modificarlo y así poder confinarlo de manera segura y conveniente. Algunas de las tecnologías de biorremediación empleadas para descontaminar ecosistemas, también pueden usarse para tratar los efluentes industriales antes de salir de la planta, y así evitar que liberen tóxicos al ambiente.

Las industrias pueden generar distintos tipos de residuos: líquidos, sólidos y gaseosos. A pesar de ser los residuos gaseosos muy tóxicos en casos como el anhídrido sulfuroso o el ácido cianhídrico, los líquidos y sólidos han sido de mayor interés por la posibilidad de utilizar métodos biológicos para su tratamiento. Los efluentes cloacales están compuestos por una mezcla variable de sustancias y de microorganismos, mientras que los efluentes industriales contienen, en general, muy pocos microorganismos, y a veces una alta cantidad de materia orgánica.

A pesar de estas diferencias, se emplea un enfoque similar para resolver ambos problemas:

- i) los materiales inorgánicos deben ser tratados por procesos físico/químicos
- ii) hay que reducir a niveles mínimos la materia orgánica mediante el tratamiento con microorganismos que la oxidan antes de que se reintroduzcan en una corriente de agua.

En particular para los efluentes industriales, las soluciones para resolver el problema de la contaminación incluyen desde

- a) disminuir la cantidad de compuestos perjudiciales producidos por las industrias, los volúmenes de efluentes o la cantidad de materia orgánica presente en ellos
- b) tratar los efluentes con instalaciones adecuadas (ver siguiente Figura)
- c) aprovechar total o parcialmente los efluentes en alguna aplicación adicional que lo permita, a fin de recuperar productos valiosos.

#### **Figura. Modelo de planta para tratamiento de efluentes**

Adaptado de <http://www.glutal.com.ar/archivos/medioambiente/plantratam.htm>

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.



"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.



Por lo general, en el tratamiento de efluentes se integran procesos físicos, químicos y biológicos, en etapas múltiples:

- i) Tratamiento primario: son separaciones físicas en las que se hace pasar agua por una serie de filtros y el efluente se deja reposar para que sedimenten los sólidos suspendidos
- ii) Tratamiento secundario: son procesos cuyo objetivo es disminuir la materia orgánica, que se traduce en una demanda bioquímica de oxígeno. Pueden ser de dos tipos:
  - a) Procesos anaeróbicos: son procesos de fermentación básicamente, realizados por bacterias. El resultado final el  $\text{CO}_2$  y gas metano cuando están presentes bacterias metanogénicas. Este tipo de proceso se suele emplear cuando hay que tratar materiales con mucha sustancia orgánica insoluble como celulosa, etc. Se llevan a cabo en tanques cerrados llamados “digestores”. Los restos insolubles se secan y luego se queman o confinan
  - b) Procesos aeróbicos: las aguas de desecho se mezclan y airean en grandes tanques abiertos para acelerar los procesos de degradación. Una de las técnicas recibe el nombre de “barros/lodos activados”. En ellos se desarrollan hongos y diversos tipos de bacterias.
- iii) Tratamiento terciario: son procesos de alto costo que incluyen un tratamiento de filtración, precipitación y cloración para disminuir los niveles de fosfatos y nitratos del efluente final.

“Es conveniente conceptualizar la restauración ambiental y la prevención de la contaminación como una estrategia más amplia que engloba a ambos procesos y que tiene, como propósito fundamental, la reducción de riesgos para la salud de la población. La misma técnica, evaluación de riesgos, se usa para decidir la intervención de un sitio contaminado, para establecer las metas de restauración y para diseñar las estrategias de prevención. Lo mismo sucede con las tecnologías para remediar ambientes contaminados que también se pueden usar para tratar efluentes con el fin de prevenir la contaminación” (Programa Superfund, Universidad de Arizona).

**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.**



## CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

Uno de los temas principales para trabajar con los alumnos al abordar el tema de biomonitorio y biorremediación es el concepto de **contaminación, contaminante y tóxico**. Una limpieza adecuada del ambiente requiere conocer en detalle el problema, y evaluar las acciones más convenientes y beneficiosas para el ambiente y sus habitantes. Es importante tener en cuenta que todas las actividades humanas provocan cambios en el ambiente, que pueden impactar de manera positiva o negativa. Cuando el cambio que se produce en el ambiente provoca un desequilibrio en el ecosistema se habla de **contaminación**. La mayoría de las actividades humanas provocan algún tipo de contaminación. Por ejemplo, la calidad del aire se puede ver afectada por los ruidos, los olores y la incorporación de sustancias tóxicas, polvos, etc. La calidad del agua es afectada por descargas de agua servidas domésticas y de desechos industriales, de detergentes y por el lavado de suelos con altas concentraciones de agroquímicos. Una sustancia es **contaminante** cuando provoca una alteración en el equilibrio del ecosistema. Puede ser una sustancia que existe habitualmente en la naturaleza, como el dióxido de carbono o algunos metales pesados, pero la cantidad que se produce o se libera es tan elevada que no puede ser reciclada naturalmente y se acumula en el ambiente provocando alteraciones. Existe una amplia gama de contaminantes que se pueden clasificar según diferentes criterios. Por ejemplo según su naturaleza, el medio que alteran, su forma de ingreso al organismo, el tipo de sustancia de que se trata, y la posibilidad de que sean degradados naturalmente. Este último criterio es muy significativo desde el punto de vista ecológico ya que da idea de la acumulación y persistencia del contaminante en el ambiente y, en consecuencia, de sus efectos a largo plazo. Los **contaminantes no degradables** son aquellos materiales que no se descomponen o que lo hacen muy lentamente en el medio natural. Es decir que los procesos de tratamiento naturales que degradan estas sustancias no pueden nivelarse con la tasa de productos elaborados por el hombre que entran al ambiente (aluminio, detergentes, plásticos y vidrio, y algunos metales pesados como el plomo, el mercurio y el cadmio, entre otros).

Los **contaminantes biodegradables** son aquellos para los cuales existen mecanismos eficientes de tratamiento natural, es decir que la naturaleza por sí misma los descompone, dispersa o recicla rápidamente. Las aguas cloacales, el dióxido de carbono, los nitratos y otros desechos orgánicos producto del metabolismo son ejemplos de contaminantes biodegradables. El problema con estos agentes se suscita cuando se acumulan en el ambiente porque la cantidad que entra al medio supera la capacidad de degradación de la naturaleza.

La contaminación implica un costo para la sociedad que se mide en pérdida de recursos naturales, en gastos destinados al tratamiento de los contaminantes, ya sea para su eliminación o reciclado, y en riesgos para la salud. Muchos contaminantes, biodegradables o no, son **tóxicos**, es decir que constituyen una amenaza para la salud ya que interfieren con los procesos vitales. La toxicidad de estas sustancias depende de la dosis que se

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



incorpora al organismo, sus efectos pueden ser evidentes o solo detectables a través de exámenes específicos, y sus consecuencias pueden ser variadas, desde simples molestias hasta la muerte.

Se sugiere trabajar en clase los diferentes tipos de contaminación, las fuentes contaminantes en ambientes rurales y en las ciudades, que se analicen los niveles de contaminación en comparación con los niveles considerados tolerables según criterios de la Organización Mundial de la Salud, y las diferentes acciones que se realizan al día de hoy para solucionar o evitar la contaminación. Es interesante trabajar aspectos como la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, el Acuerdo de Kyoto, entre otros abordajes del tema a nivel mundial. Este tema puede ser trabajado en coordinación con los docentes de Ciencias Sociales, para abordar el aspecto social, de regulación, control y consensos a nivel nacional y mundial en el tema ambiental.

Otro aspecto que fue trabajado en el Cuaderno 50 y que se sugiere repasar en este caso es el de **especies modelo**, es decir aquellas que se emplean en las investigaciones científicas como modelos sobre los cuales realizar mediciones que pueden extrapolarse luego a otros organismos.

Asimismo, será importante que los alumnos repasen el tema de clasificación de los organismos al trabajar las diferentes especies que se emplean en el biomonitoreo.

**CONCEPTOS RELACIONADOS:** ecosistema; contaminación ambiental; contaminantes biodegradables y no biodegradables; tóxicos; actividades humanas e impacto ambiental; limpieza del ambiente; recursos naturales; desarrollo sustentable; clasificación de los seres vivos.

## ACTIVIDADES

### Actividad 1. Repaso de contenidos.

Responder Verdadero/Falso a las siguientes afirmaciones, justificando las consideradas "Falso"

a) Se denomina Biomonitoreo al empleo de técnicas químicas y físicas para la determinación de la presencia de sustancias contaminantes en un ecosistema.

Rta: Falso. El biomonitoreo es un conjunto de técnicas basadas en las reacciones y sensibilidad de distintos organismos vivos (indicadores biológicos) a diversas sustancias contaminantes presentes en un ecosistema dado

b) En la evaluación de calidad y sanidad ecosistemas acuáticos, los organismos más utilizados como indicadores son las bacterias.

Rta.: Falso. En la evaluación de calidad de sistemas acuáticos, los organismos más utilizados como indicadores son microalgas y macroinvertebrados.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Porqué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Porqué Biotecnología.



c) Es objetivo de una planta de tratamiento de efluentes eliminar o disminuir la materia orgánica presente en dichos efluentes. **Rta.: Verdadero**

d) El término EC50 hace referencia a la dosis de un compuesto tóxico para la cuál el 50% de los organismos testeados muere. **Rta.: Falso. La EC50 o concentración media efectiva, es la concentración del compuesto tóxico que produce un efecto particular en el 50% de los organismos testeados.**

e) En el tratamiento de efluentes, existe una etapa en la cuál se utilizan microorganismos capaces de emplear algunas sustancias contaminantes como fuente de carbono, convirtiéndolas en productos más simples y menos tóxicos en la mayoría de los casos. **Rta.: Verdadero.**

## Actividad 2. Unir con flechas según corresponda

- |   |  |
|---|--|
| a) Met-Plate  | i) Plantas transgénicas con gen <i>uidA</i> no funcional       |
| b) Detecta el aumento en las tasas de mutaciones puntuales y de recombinación a través de la actividad de la enzima GUS | ii) Alteración en la luminiscencia de una bacteria marina      |
| c) Determinación de parámetros fisiológicos y de desarrollo en presencia del agente tóxico                              | iii) Inhibición de la enzima b-galactosidasa de <i>E. coli</i> |
| d) Microtox   | iv) Observación de aberraciones cromosómicas                   |
| e) <i>Allium cepa</i>   | v) <i>Pimephales promelas</i>                                  |

**Rta.: a-iii / b-i / c-v / d-ii / e-iv**

## Actividad 3. Análisis de una nota periodística

Se propone leer la nota y responder a las preguntas que aparecen a continuación.

**Una planta de tratamiento evita que los efluentes cloacales lleguen al mar.**

**La experiencia se puso en marcha. El agua es tratada y utilizada para riego**

Fuente: <http://www.radatilly.gov.ar/municipios/ver.asp?MID=24&tipo=noticia&id=582>

**La planta de tratamiento evita que diariamente, 1.100.000 litros de efluentes urbanos cloacales y aguas servidas contaminen las napas o el mar en Rada Tilly**

Con una Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales, el municipio de Rada Tilly evita diariamente que 1.100.000 litros de aguas servidas y potencialmente contaminantes (el equivalente a 550 tanques de agua domiciliarios de 2 mil litros) desemboquen en el mar. El sistema, que permitió el saneamiento de los "pozos negros" que representaban un riesgo ecológico con posibles perjuicios para la población, reutiliza el agua y la destina al riego. Los barros excedentes también son sometidos a un proceso de desinfección para, una vez estabilizados, ser utilizados directamente como abono forestal, conformando parte de otros composts o en lombricultura.

Con la puesta en marcha de la planta se evitó la contaminación de las napas y se realizó un saneamiento evitando que los desechos diarios de efluentes cloacales y aguas servidas lleguen al mar.

**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.**



Una ordenanza otorgó la concesión del servicio a la Cooperativa de Agua (COAGUA), que se ocupa del funcionamiento de la planta desde marzo de 1998. "Jamás se dispuso el volcado al mar ni siquiera del agua tratada. Esta es una característica distintiva de la planta porque se utiliza para riego incentivando nuevos planes de forestación", comentó Eduardo Riso, bioquímico a cargo del proceso de tratamiento. La planta de tratamiento fue inaugurada a fines de 1994 y exigió una inversión aproximada de 1.700.000 dólares repartidos en cuatro diferentes etapas. Una ordenanza de 1997 permitió que, a partir de marzo de 1998, la Cooperativa de Agua (COAGUA) se hiciera cargo de la concesión del servicio para tratar allí los efluentes urbanos cloacales y aguas servidas, evitando la contaminación. Actualmente a la planta llegan un promedio de 1.100.000 litros de líquido y desechos por día que, una vez tratados, se transforman en agua para riego y abono forestal.

Eduardo Riso, bioquímico a cargo del proceso que se realiza en la planta, aseguró que "este es un proceso de lodos activados. Se recibe una masa biológica o ecosistema biológico natural y aquí se degrada de forma aeróbica. Se eligió este método precisamente porque no echa olor. Como la localización de la planta está al oeste de la ciudad, no se quería provocar otro factor de contaminación".

En la planta se tratan los efluentes urbanos cloacales y aguas servidas que se colectan a través de la red y confluyen a varias cámaras que están ubicadas en diversos sectores de la villa balnearia. "Esas cámaras colectoras reciben el líquido y se accionan automáticamente por sensores de nivel elevando el crudo a la planta de tratamiento mediante bombas. Sólo dos de los barrios envían efluentes de gravedad", explicó Riso. Según estimó el bioquímico, por lo menos el 98 por ciento de la población de Rada Tilly tiene posibilidad de conectar sus cloacas a la red troncal. Esto quiere decir que el servicio pasa frente a sus viviendas. De este total, casi el 70 por ciento ya envía los desechos generados diariamente directamente para su tratamiento.

Riso comentó que los efluentes urbanos cloacales y aguas servidas ingresan a la planta de tratamiento a través de una reja que retiene los sólidos más gruesos y pasan a la estación elevadora de crudo (cámara de recepción que se acciona en forma automática a nivel).

"Allí hay dos bombas elevadoras que envían el fluido al desarenador donde los sólidos pesados, a medida que transitan lentamente, son separados por gravedad. Los sólidos finos pueden ser extraídos del desarenador y conducidos a la playa de secado de arenas, en tanto que el agua escurrida regresa a la estación elevadora de crudo".

El crudo desarenado sigue su recorrido y pasa a una cámara donde puede ser descargado de forma conjunta con el barro activado (que es un ecosistema formado por sólidos, agua y microorganismos) para ingresar a la celda de aireación, que es el lugar donde se produce la oxidación biológica de la materia orgánica. En la celda de aireación se insufla aire comprimido por medio de difusores dispuestos en el fondo. También se efectúa una agitación de superficie que mantiene los sólidos en suspensión y genera una corriente circular en la celda. Con el suministro de aire se realiza la oxidación biológica en forma aeróbica.

## SIN CONTAMINANTES

Riso continuó diciendo que "completado un determinado período de retención, el líquido ya tratado sale a través de una válvula pasando por una cámara de unión. Se dirige luego a la cámara partidora de la cual se distribuye el efluente a los sedimentadores secundarios cuya función es separar los sólidos en suspensión del líquido tratado".

El rebalse del sedimentador es desinfectado por hipocloración mediante el uso de bombas dosificadoras. El líquido ya clorado ingresa a celda de clorinación permaneciendo en tránsito por un período de tiempo a los efectos de que el contacto líquido-desinfectante sea efectivo. El rebalse de esta celda conduce a la cámara de la estación elevadora de tratado, que dispone el efluente de la planta de tanques ubicados en cerros cercanos desde donde se reutiliza para riego por surcos y regado de calles.

"En Rada Tilly tenemos una ventaja: como la villa no maneja un sector industrial no debemos tratar aquí metales pesados, plaguicidas o tóxicos contaminantes no existen. Son todos efluentes clocales. La planta fue pensada para evitar la contaminación de napas que podía llegar al mar de la villa a través de los pozos negros. El objetivo fue sanear la ciudad", explicó Riso.

Los barros excedentes del sistema se conducen del sedimentador al concentrador de barros. Estos barros concentrados son desinfectados y se deshidratan en un filtro de banda, luego son mezclados con viruta o inoculados con compost estabilizado, dispuestos en la playa de compostaje realizar una etapa de fermentación térmica. "Una vez

**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Porqué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Porqué Biotecnología.**



estabilizados se pueden utilizar directamente como abono forestal o conformando parte de los compost o en lombricultura", explicó el bioquímico.

Preguntas para el análisis de la nota:

a) ¿Qué tipo de contaminantes son tratados en la planta de tratamiento de efluentes de Rada Tilly? **Rta.: desechos cloacales**

b) ¿En qué tipo de procedimiento se basa la planta depuradora de efluentes mencionada en el artículo? **Rta.: Se basa en el sistema de lodos activados, un procedimiento para la degradación aeróbica de la materia orgánica por los microorganismos añadidos. Los procesos anaeróbicos se emplean principalmente para el tratamiento de sustancias orgánicas insolubles, como la celulosa. Además, los procesos anaeróbicos generan olores desagradables, que son indeseables cuando hay una población cercana a la planta de tratamiento.**

c) ¿Qué destino tienen los productos luego del tratamiento (agua y desechos sólidos)? **Rta.: los líquidos se utilizan como agua para riego, y los sólidos como abono forestal o para la formulación de compost y sustratos para lombricultura**

d) Esquematizar de manera similar a la Figura 6, los pasos que se llevan a cabo en la planta de Rada Tilly

**Rta:**

- 1) 1.100.000 L/día de residuos cloacales se colectan en varias cámaras que se accionan automáticamente cuando el nivel de residuos alcanza determinado valor
- 2) Filtrado para retención de los sólidos más gruesos
- 3) Desarenador: los sólidos pesados se separan por gravedad, y los sólidos finos son extraídos y conducidos a una playa de sacado. El agua sigue camino
- 4) Incorporación del barro activado (sólidos, agua y microorganismos) e ingreso a la celda de aireación: allí se produce la oxidación biológica de la materia orgánica. Allí se ingresa aire comprimido y se efectúa agitación para mantener los sólidos en suspensión
- 5) El líquido ya tratado se envía a una cámara partidora que distribuye el efluente a los sedimentadotes secundarios
- 6) Sedimentadotes secundarios: separan los sólidos en suspensión del líquido tratado
- 7) Luego se realiza una desinfección por hipocloración mediante bombas dosificadoras
- 8) El líquido ya tratado se acumula en tanques para ser reutilizado como agua de riego y regado de calles.

Los barros excedentes son desinfectados y deshidratados para utilizarlos como abono forestal o en la composición de compost

#### **Actividad 4. Limpieza del agua de un río o pantano**

(Adaptado de Actividades para Química I. Una propuesta diferente. Ediciones Colihue. 1987).

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.



El objetivo de esta actividad es poner en práctica un procedimiento simple para limpiar el agua y filtrar impurezas. La actividad se realiza en grupos de 3-4 alumnos cada uno. Se sugiere trabajar en conjunto con docentes de físico-química que pueden ayudar a comprender algunos de los principios que rigen este mecanismo de purificación.

**Atención!** Hay que tener en cuenta que el agua que se obtiene finalmente no estará completamente purificada, es decir que no es apta para el consumo. Aunque pueda verse limpia, puede contener microorganismos que son invisibles a simple vista.

**Materiales:**

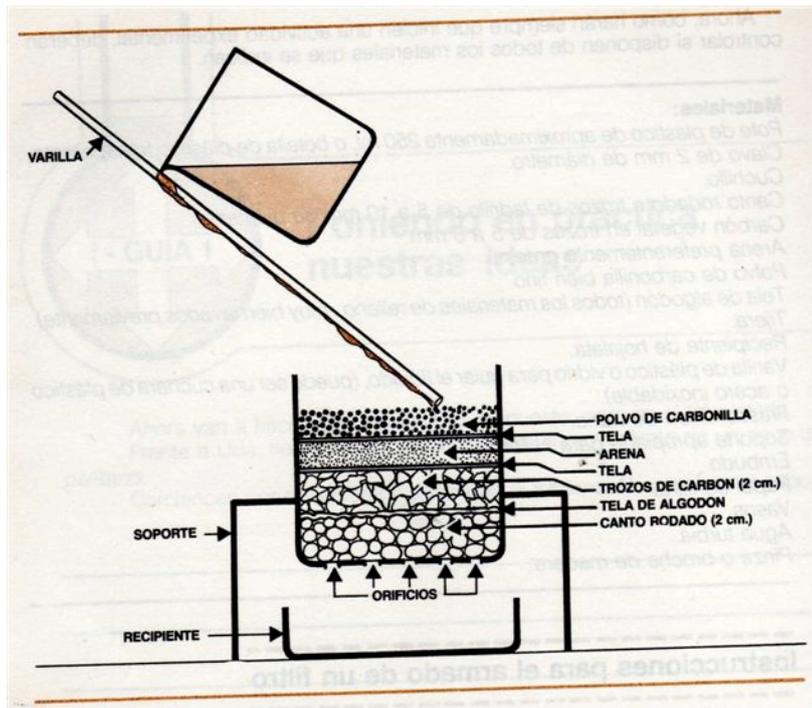
- ü Pote de plástico de aproximadamente 250 ml. o botella de plástico transparente.
- ü Clavo de 2 mm. de diámetro
- ü Cuchillo
- ü Canto rodado o trozos de ladrillo de 5 a 10 mm. de diámetro
- ü Carbón vegetal en trozos de 5 a 8 mm.
- ü Arena, preferentemente gruesa
- ü Polvo de carbonilla bien fino
- ü Tela de algodón
- ü Tijera
- ü Recipiente de hojalata
- ü Varilla de plástico o vidrio para guiar el líquido (o cuchara de plástico o acero inoxidable)
- ü Frasco chico de vidrio
- ü Soporte para filtro
- ü Embudo
- ü Papel de filtro
- ü Vasos
- ü Agua turbia (de río, pantano o charco)
- ü Pinza o broche de madera

**Procedimiento**

1. Cortar la parte inferior de una botella de plástico, en una altura de 12 cm. aproximadamente. Que será el recipiente de filtrado.
2. Con un clavo caliente sostenido con un broche de madera. Perforar el fondo de del recipiente de filtrado.
3. Calcinar la arena colocando al fuego en una lata hasta que se ponga oscura y corra libremente. Esto es para eliminar sustancias orgánicas!
4. armar el filtro apisonando bien los materiales de granulos más pequeños con ayuda del frasquito, en el orden que muestra la figura 1.
5. Una vez todo listo, se puede comenzar la filtración. Reservar una pequeña cantidad del líquido original como testigo. Del resto colocar no más de 250 ml. en un vaso y filtrar en el recipiente como indica la Figura 1.

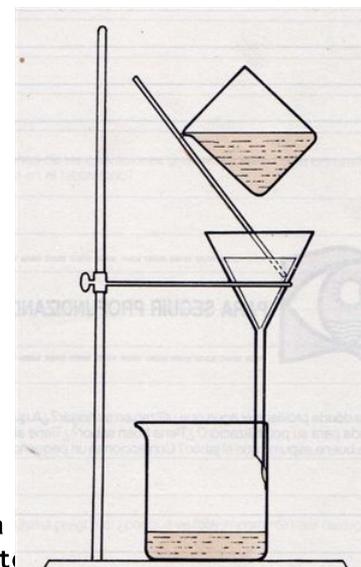
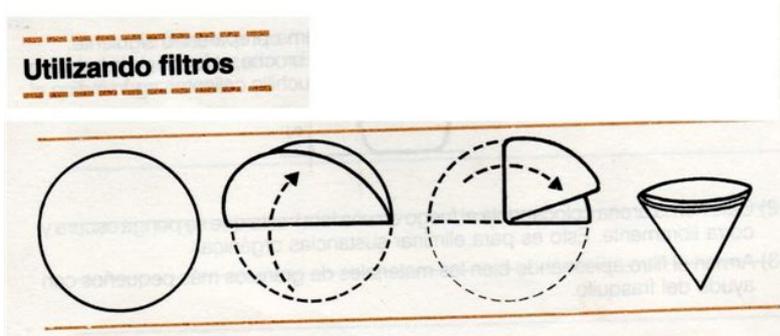
"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.

Figura 1.



6. Mientras unos alumnos realizan el filtrado anterior, otros pueden preparar un filtro con el embudo y el papel, y filtrar otra porción del agua (Figura 2).

Figura 2.



"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología y autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.



7. Clarificar el agua turbia: se puede clarificar el agua filtrada mediante el empleo de alumbre, un clarificante mineral de fácil adquisición.

Los materiales que se necesitan son:

- ü Agua turbia (obtenida en la experiencia anterior)
  - ü Un filtro armado por el grupo
  - ü Varilla de vidrio
  - ü Alumbre en polvo
  - ü Cucharita
  - ü Vaso.
- a) Reservar una muestra de agua como testigo.
  - b) Colocar una cucharita chica de alumbre en el agua turbia y agitar bien. Esperar unos 20 minutos. ¿Ocurren cambios?
  - c) Si hay cambios, observar, anotar y filtrar la muestra.
  - d) Comparar con la muestra testigo.

#### Guía para el análisis de la experiencia

1. Anotar en el cuaderno la diferencia que notan entre la apariencia del agua inicial y la que queda después del filtrado.
2. ¿Cómo se podría demostrar la presencia de determinados contaminantes en el agua? **Rta. Mediante diferentes pruebas de biomonitorio in situ o en el laboratorio, mediante organismos modelo.**
3. ¿Por qué en algunos casos el filtro es suficiente para separar sustancias y en otro no? **Rta. Esto se relaciona con el tamaño de partícula a filtrar y el tamaño de orificios del filtro.**
4. ¿Qué etapa de tratamiento de efluentes es la que se practica a través de esta experiencia? **Rta. Se elimina fundamentalmente material inorgánico mediante tratamientos físicos y químicos.**
5. ¿Cuál sería la etapa que faltaría para eliminar los restos orgánicos? **Rta. hay que reducir a niveles mínimos la materia orgánica mediante el tratamiento con microorganismos (bacterias y hongos), mediante procesos aeróbicos y anaeróbicos.**

#### **Material de consulta**

Actividades para Química I. Una propuesta diferente. Ediciones Colihue. 1987. Propuesta de actividades experimentales para el trabajo en el aula.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.



El filtro de agua. Explora. Chile. <http://www.explora.cl/otros/agua/filtro.html>

Limpiando el agua. Para el Educador. El tema de esta actividad fue seleccionado del programa de Noticiencias NASA™ del Explorador del Siglo 21 titulado “¿Dónde conseguirá un explorador agua y oxígeno?” [http://ksnsp.larc.nasa.gov/21Century/pdf/p9\\_educator.pdf](http://ksnsp.larc.nasa.gov/21Century/pdf/p9_educator.pdf)

Scheibler E. “Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en el Río Mendoza”. Disponible en [http://www.cricyt.edu.ar/entomologia/Tesis\\_Scheibler.html](http://www.cricyt.edu.ar/entomologia/Tesis_Scheibler.html)

Toro J., Schuster J. P., Kurosawa J., Araya E., Contrera M. “Diagnóstico de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. Río Maipú (Santiago, Chile). XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica Disponible en [www.conama.cl/rm/568/articles-30399\\_NOR\\_01\\_04\\_13.pdf](http://www.conama.cl/rm/568/articles-30399_NOR_01_04_13.pdf)

Programa Superfund - Centro de Toxicología – Universidad de Arizona, USA <http://toxcenter.pharmacy.arizona.edu/>

Desarrollo de planta para tratamiento de efluentes – Empresa Glutal <http://www.glutal.com.ar/archivos/medioambiente/plantratam.htm>

Desarrollo práctico para biomonitoreo <http://outreach.ecology.uga.edu/wfl/biomonitoring.htm>

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo PorquéBiotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo PorquéBiotecnología.