



Biorremediación: organismos que limpian el ambiente

Biotecnología y medio ambiente

El crecimiento de la población y el avance de las actividades industriales a partir del siglo XIX trajeron aparejados serios problemas de contaminación ambiental. Desde entonces, los países generan más desperdicios, muchos de ellos no biodegradables o que se degradan muy lentamente en la naturaleza, lo que provoca su acumulación en el ambiente sin tener un destino seguro o un tratamiento adecuado. De este modo, en lugares donde no existe control sobre la emisión y el tratamiento de los desechos, es factible encontrar una amplia gama de contaminantes. Habitualmente, los casos de contaminación que reciben mayor atención en la prensa son los derrames de petróleo. Pero, en el mundo constantemente están sucediendo acontecimientos de impacto negativo sobre el medio ambiente, incluso en el entorno directo, generados por un gran abanico de agentes contaminantes que son liberados al ambiente. Un ejemplo lo constituyen algunas industrias químicas que producen compuestos cuya estructura química difiere de los compuestos naturales, y que son utilizados como refrigerantes, disolventes, plaguicidas, plásticos y detergentes. El problema principal de estos compuestos es que son resistentes a la biodegradación, por lo cual se acumulan y persisten en el ambiente y lo perjudican tanto como a los seres vivos, entre ellos el ser humano.

En las últimas décadas, entre las técnicas empleadas para contrarrestar los efectos de los contaminantes, se comenzó a utilizar una práctica llamada biorremediación. El término biorremediación fue acuñado a principios de la década de los '80, y proviene del concepto de *remediación*, que hace referencia a la aplicación de estrategias físico-químicas para evitar el daño y la contaminación en suelos. Los científicos se dieron cuenta que era posible aplicar estrategias de remediación que fuesen biológicas, basadas esencialmente en la observación de la capacidad de los microorganismos de degradar en forma natural ciertos compuestos contaminantes.

Entonces, la biorremediación surge como una rama de la biotecnología que busca resolver los problemas de contaminación mediante el uso de seres vivos (microorganismos y plantas) capaces de degradar compuestos que provocan desequilibrio en el medio ambiente, ya sea suelo, sedimento, fango o mar.

Tipos de biorremediación

En los procesos de biorremediación generalmente se emplean mezclas de ciertos microorganismos o plantas capaces de degradar o acumular sustancias contaminantes tales como metales pesados y compuestos orgánicos derivados de petróleo o sintéticos.

Básicamente, los procesos de biorremediación pueden ser de tres tipos:

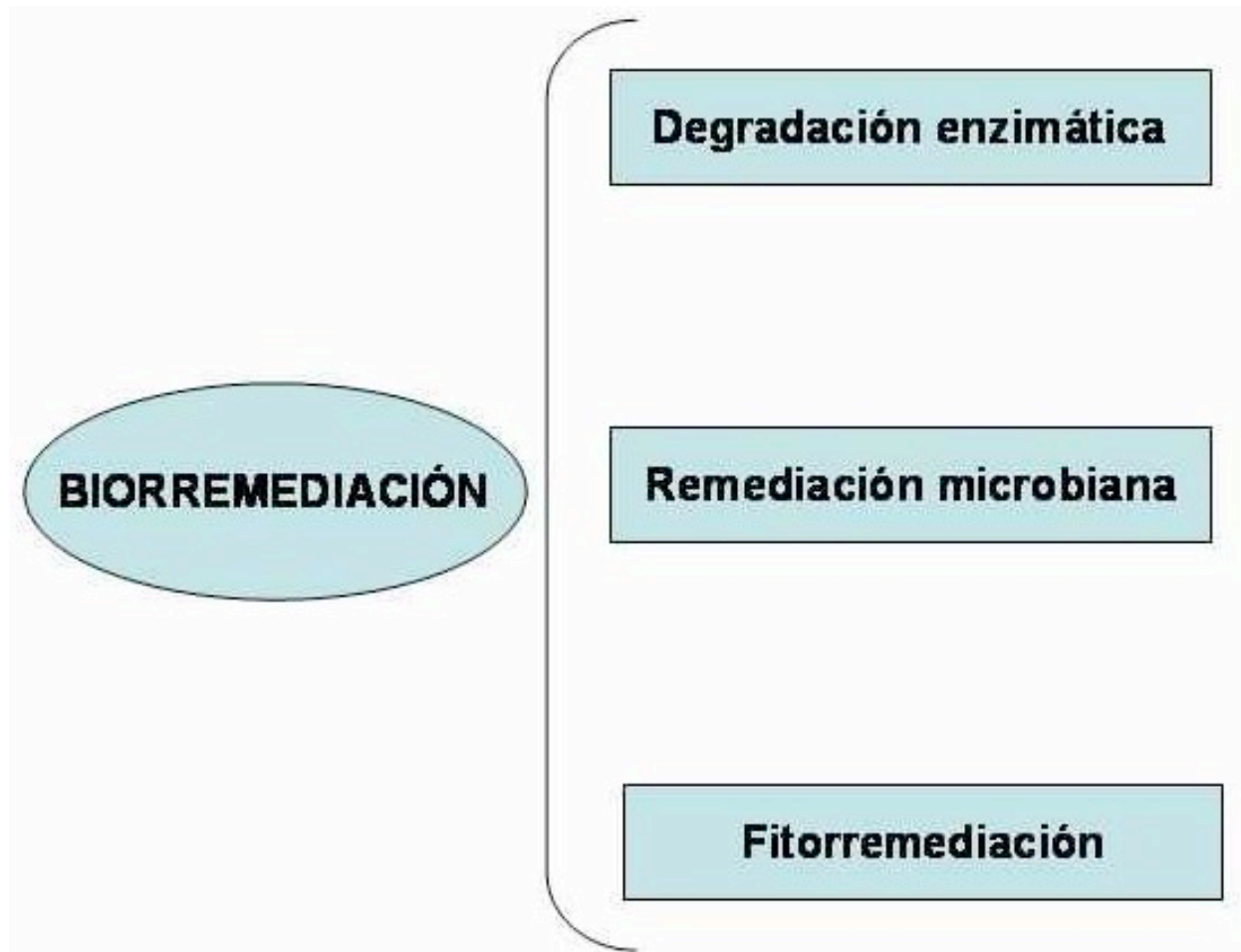


FIG 1: Diferentes modos de biorremediación.

1. Degradación enzimática

Este tipo de degradación consiste en el empleo de enzimas en el sitio contaminado con el fin de degradar las sustancias nocivas. Estas enzimas se obtienen en cantidades industriales por bacterias que las producen naturalmente, o por bacterias modificadas genéticamente que son comercializadas por las empresas biotecnológicas.

Por ejemplo, existe un amplio número de industrias de procesamiento de alimentos que producen residuos que necesariamente deben ser posteriormente tratados.

En estos casos, se aplican grupos de enzimas que hidrolizar (rompen) polímeros complejos para luego terminar de degradarlos con el uso de microorganismos (ver en la próxima sección). Un ejemplo lo constituyen las enzimas lipasas (que degradan lípidos) que se usan junto a cultivos bacterianos para eliminar los depósitos de grasa procedentes de las paredes de las tuberías que transportan los efluentes.

Otras enzimas que rompen polímeros utilizados de forma similar son las celulasas, proteinasas y amilasas, que degradan celulosa, proteínas y almidón, respectivamente.

Además de hidrolizar estos polímeros, existen enzimas capaces de degradar compuestos altamente tóxicos. Estas enzimas son utilizadas en tratamientos en donde los microorganismos



no pueden desarrollarse debido a la alta toxicidad de los contaminantes. Por ejemplo, se emplea la enzima peroxidasa para iniciar la degradación de fenoles y aminas aromáticas presentes en aguas residuales de muchas industrias.

2. Remediación microbiana

En este tipo de remediación se usan microorganismos directamente en el foco de la contaminación. Los microorganismos utilizados en biorremediación pueden ser los ya existentes (autóctonos) en el sitio contaminado o pueden provenir de otros ecosistemas, en cuyo caso deben ser agregados o inoculados (ver Cuaderno N°46)

La descontaminación se produce debido a la capacidad natural que tienen ciertos organismos de transformar moléculas orgánicas en sustancias más pequeñas, que resultan menos tóxicas. El hombre ha aprendido a aprovechar estos procesos metabólicos de los microorganismos. De esta forma, los microorganismos que pueden degradar compuestos tóxicos para el ambiente y convertirlos en compuestos inocuos o menos tóxicos, se aprovechan en el proceso de biorremediación. De esta forma, reducen la polución de los sistemas acuáticos y terrestres.

La gran diversidad de microorganismos existente ofrece muchos recursos para limpiar el medio ambiente y, en la actualidad, esta área está siendo objeto de intensa investigación.

Existen, por ejemplo, bacterias y hongos que pueden degradar con relativa facilidad petróleo y sus derivados, benceno, tolueno, acetona, pesticidas, herbicidas, éteres, alcoholes simples, entre otros. Los metales pesados como uranio, cadmio y mercurio no son biodegradables, pero las bacterias pueden concentrarlos de tal manera de aislarlos para que sean eliminados más fácilmente.

Las actividades microbianas en el proceso de biorremediación se pueden resumir en el siguiente esquema:

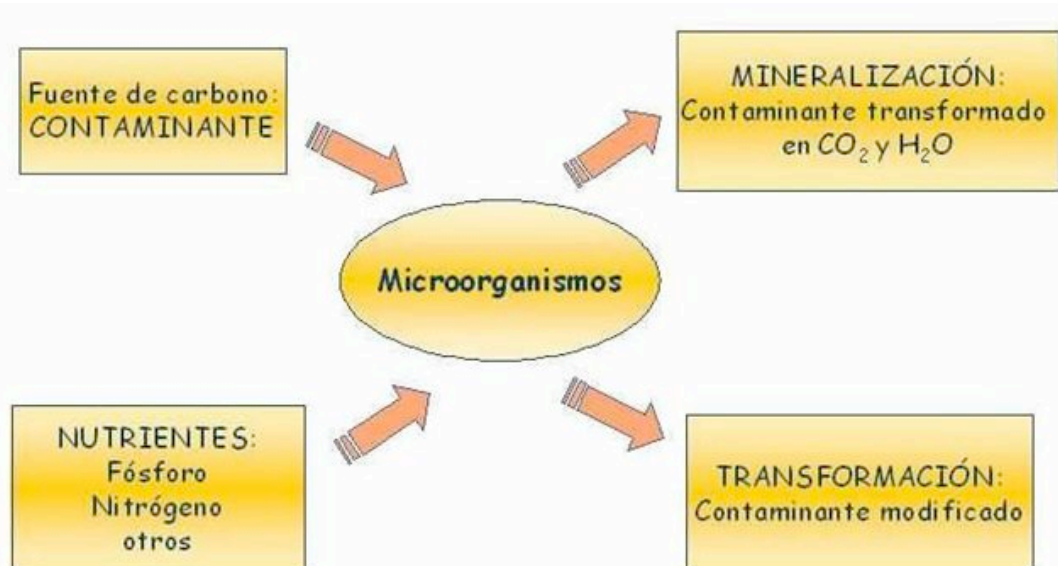


FIG 2: "METABOLISMO MICROBIANO". Los microorganismos ingieren contaminantes como fuente de carbono y algunos nutrientes como fósforo y nitrógeno. La digestión de estos compuesto en sustancias más simples como parte del metabolismo del microorganismo,



puede resultar en la degradación del compuesto en forma parcial (transformación) o total a dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O).

3. Remediación con plantas (fitorremediación)

La fitorremediación es el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados. Aunque se encuentra en desarrollo, constituye una estrategia muy interesante, debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos. La fitorremediación ofrece algunas ventajas y desventajas frente a los otros tipos de biorremediación:

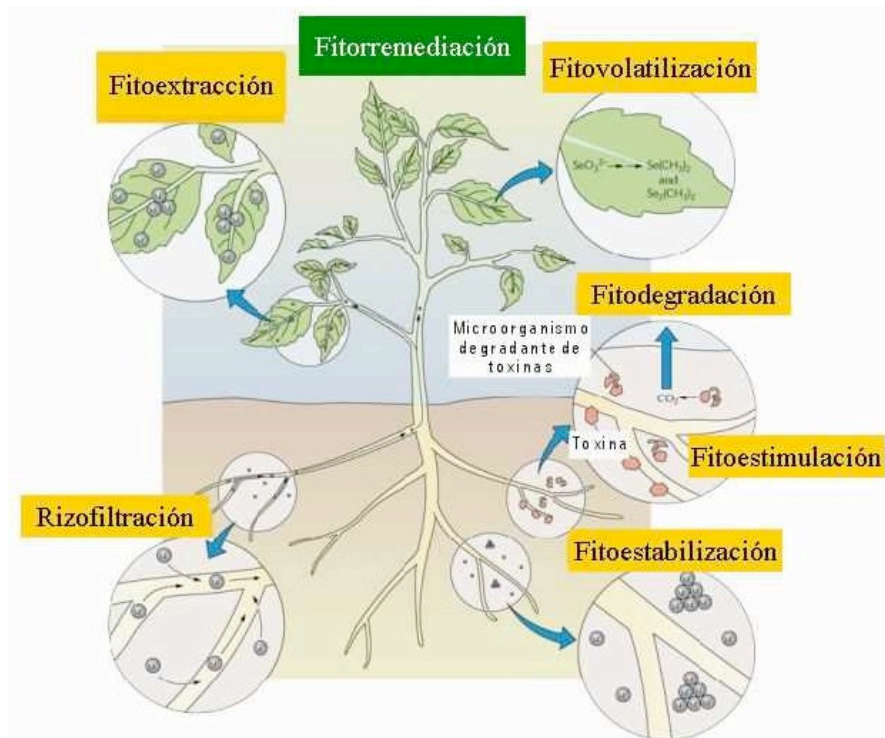
Ventajas:

- ü Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar suelos y aguas contaminadas.
- ü Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
- ü Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.

Limitaciones:

- ü El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas.
- ü Los tiempos del proceso pueden ser muy prolongados.
- ü La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante de la captación.

Las plantas pueden incorporar las sustancias contaminantes mediante distintos procesos que se representan en la siguiente ilustración y se explican en la tabla que continúa:



FITORREMIACIÓN: Tipos de fitorremediación, en donde se indica la zona de la planta en donde ocurre el proceso.

Tipo	Proceso Involucrado	Contaminación Tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces)	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc isótopos radioactivos, compuestos fenólicos
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire.	Lagunas de deshecho de yacimientos mineros. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc
Fitolatilización	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano)
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenceno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.

Se conocen alrededor de 400 especies de plantas con capacidad para hiperacumular selectivamente alguna sustancia. En la mayoría de los casos, no se trata de especies raras, sino de cultivos conocidos. Así, el girasol (*Heliantus annuus*) es capaz de absorber en grandes



cantidades el uranio depositado en el suelo. Los álamos (género *Populus*) absorben selectivamente níquel, cadmio y zinc. También la pequeña planta *Arabidopsis thaliana* de gran utilidad para los biólogos es capaz de hiperacumular cobre y zinc. Otras plantas comunes que se han ensayado con éxito como posibles especies fitorremediadoras en el futuro inmediato son el girasol, la alfalfa, la mostaza, el tomate, la calabaza, el esparto, el sauce y el bambú. Incluso existen especies vegetales capaces de eliminar la alta salinidad del suelo, gracias a su capacidad para acumular el cloruro de sodio.

En general, hay plantas que convierten los productos que extraen del suelo a componentes inocuos, o volátiles. Pero cuando se plantea realizar un esquema de fitorremediación de un cuerpo de agua o un área de tierra contaminados, se siembra la planta con capacidad (natural o adquirida por ingeniería genética) de extraer el contaminante particular, y luego del período de tiempo determinado, se cosecha la biomasa y se incinera o se le da otro curso dependiendo del contaminante. De esta forma, los contaminantes acumulados en las plantas no se transmiten a través de las redes alimentarias a otros organismos.

Uso de organismos modificados genéticamente en biorremediación

En los últimos años, los avances en ingeniería genética han permitido el desarrollo de organismos transgénicos. Y la biorremediación hace uso de esta nueva tecnología para resolver varios problemas de contaminación. El futuro promete aún más.

Muchos grupos de investigación están desarrollando en el laboratorio, plantas y microorganismos genéticamente modificados para ser mejores agentes de biorremediación, es decir que degraden mejor o más eficientemente a los agentes contaminantes.

Por ejemplo, se puede utilizar material genético de bacterias resistentes a metales para insertarlo en el genoma de una planta que, entonces, adquiriría esta nueva característica.

Un grupo de investigación utilizó un gen llamado *merA*, que codifica para la enzima *reductasa del ion mercúrico*, altamente tóxico, que cataliza su reducción hasta la forma volátil y poco tóxica de mercurio elemental, gaseoso en condiciones de temperatura no muy elevadas. Estos investigadores, consiguieron la transferencia del gen bacteriano *merA* a cultivos de *Liriodendro tulipifera* (álamo amarillo). El gen se expresó adecuadamente en ese material vegetal, de modo que las plántulas regeneradas germinaron y crecieron vigorosamente en los medios de cultivo, que contenían niveles de iones mercurio que son normalmente tóxicos, siendo capaces de captarlo en su forma iónica y de reducirlo en el interior de la planta, tras lo cual era liberado en la forma gaseosa no tóxica.

Esta investigación ha abierto el camino para que en el futuro sea posible realizar plantaciones arbóreas transgénicas que, mediante este proceso de fitovolatilización u otros parecidos, sean capaces de descontaminar terrenos con altos niveles de contaminantes.

Se están perfeccionando nuevos métodos de biotecnología para el tratamiento del agua, que eliminarán los compuestos que contengan fósforo, nitrógeno y azufre. Este bioprocesamiento se está extendiendo a varios procesos industriales, entre ellos los de las industrias petroquímicas, químicas y mineras, con el uso de bacterias oxidantes.

La biorremediación mediante bacterias ofrece grandes posibilidades de limpiar y descontaminar sistemas complejos y gracias a sus ventajas económicas y ambientales será una de las



tecnologías más desarrolladas durante este siglo. Se están utilizando cepas especializadas de microorganismos de alta actividad para tratar agentes contaminantes en diferentes sectores, como las industrias que utilizan catalizadores, las textiles, las curtiembres, el procesamiento de celulosa y almidón, la galvanoplastia, la minería, el desengrasado y recubrimiento de superficies y la impresión.

Nuevos desarrollos biotecnológicos en plantas y bacterias

Entre los desarrollos biotecnológicos que se están llevando a cabo para procesos de fitorremediación se encuentran los siguientes:

- Ø Rizofiltración para la extracción de Uranio de aguas subterráneas en Asthabula, Ohio, EEUU.
- Ø Rizofiltración a nivel de cultivo *in vitro* para detoxificar compuestos fenólicos en aguas contaminadas (por ejemplo los derivados de los herbicidas tradicionales y contaminantes como el 2,4-D) en la Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba por el grupo de investigación de la Dra. Elizabeth Agostini.
- Ø Fitovolatilización de mercurio (Hg) por medio de plantas transgénicas (*Arabidopsis thaliana*) que fueron transformadas con dos genes provenientes de microorganismos que pueden transformar el mercurio iónico en mercurio más estable.
- Ø Plantas transgénicas de tabaco con genes provenientes de bacterias que le permiten detoxificar TNT y GTN en suelos de campos minados.
- Ø Plantas transgénicas de *Arabidopsis thaliana* que toleran la acumulación de cadmio, arsénico y mercurio.
- Ø Bacterias *Pseudomonas* transgénicas que son capaces de degradar compuestos tóxicos que contienen cloro en compuestos menos nocivos.
- Ø Microorganismos capaces de degradar TNT, un explosivo de gran potencia y muy agresivo para el entorno.
- Ø Bacterias capaces de reducir las formas altamente tóxicas de mercurio en otras menos tóxicas y volátiles.
- Ø Bacterias que transforman metales del suelo en formas menos tóxicas o insolubles. Por ejemplo: la reducción de cromo (Cr^{+6} a Cr^{+3}).
- Ø La utilización de la bacteria *Deinococcus radiodurans* para eliminación de elementos radiactivos presentes en el suelo y aguas subterráneas. Este microorganismo es un extremófilo que resiste condiciones extremas de radiación, sequedad, agentes oxidantes y diversos compuestos mutagénicos.
- Ø Cianobacterias a las que se le han introducido genes de bacterias *Pseudomonas* con capacidad de degradar diferentes hidrocarburos o pesticidas.



CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

Se recomienda complementar este Cuaderno y sus actividades con El Cuaderno N° 46 que trata el mismo tema.

Este cuaderno puede ser empleado con alumnos pequeños, haciendo hincapié en el beneficio que pueden aportar microbios y plantas en la limpieza del ambiente, como parte de su función en el ecosistema, sin incursionar en este nivel en la acción enzimática o los productos de la digestión enzimática. Con los alumnos más grandes es conveniente trabajar previamente aspectos vinculados con la estructura y la acción enzimática, la transformación de polímeros en sustancias más sencillas o en los monómeros, la especificidad enzimática y la temperatura óptima para la actividad de las diferentes enzimas, entre otros conceptos que se detallan a continuación.

El Cuaderno en su introducción contrasta dos aspectos que resulta interesante debatir con los alumnos e indagar acerca de sus ideas previas al respecto. Esto se refiere a los progresos tecnológicos que traen beneficio a la humanidad y las consecuencias negativas que pueden traer aparejados. Se puede trabajar a partir de acontecimientos históricos como la Revolución Industrial y la Revolución Verde, como procesos que trajeron progreso, nuevas tecnologías, y que causaron (y causan) efectos no deseados. Resulta importante dejar en claro a este respecto que toda tecnología, incluida la biotecnología, no es imparcial y que tampoco es buena o mala en sí misma. Esto significa que los desarrollos tecnológicos tienen un fin y ofrecen un beneficio a determinado sector de la población, pero su impacto positivo o negativo depende del uso que se haga de ellos y de las medidas de control y de regulación que se establezcan.

Otro concepto básico a trabajar con los alumnos previo a abordar la biorremediación es el concepto de **impacto ambiental** y el de **contaminación**. Se puede definir el impacto ambiental como cualquier alteración, positiva o negativa, de las propiedades físicas, químicas o biológicas del medio, causada por la actividad humana que, directa o indirectamente, puedan afectar el aire, el agua, el suelo, el clima, el paisaje y los seres vivos, entre ellos el hombre, sus condiciones de vida y sus propiedades culturales. Cuando el cambio que se produce en el ambiente provoca un desequilibrio en el ecosistema se habla de **contaminación**.

Otro aspecto interesante para trabajar con los alumnos es el concepto de **biodegradable**. 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. Se incluyen en esta clase de contaminantes las latas de aluminio, algunos 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. Existen compuestos sintéticos que pueden ser degradados naturalmente por organismos que están en el ambiente. Sin embargo, su composición química hace que el ritmo de degradación natural sea demasiado lento en comparación con el ritmo de acumulación en el ambiente, por lo que podrían considerarse no biodegradables.

"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.



Se sugiere también trabajar el concepto de **recursos renovables y recursos no renovables**. Un recurso renovable es aquel que se renueva espontáneamente a través de procesos naturales, o que puede volver a generarse antes de que se agote si se lo usa de manera racional. Son ejemplos de recursos renovables el agua, el suelo y la energía solar, entre otros. Un recurso no renovable es aquel que podría agotarse ya que la naturaleza no lo renueva por sí misma, o lo hace a un ritmo muy lento en comparación con el uso que se hace de él. Los combustibles fósiles, como el petróleo, son ejemplos de recursos no renovables. El petróleo es una mezcla de hidrocarburos que proviene de la transformación de los fósiles, es decir de restos orgánicos que son renovables. Sin embargo, el ritmo de uso del petróleo y sus derivados por el hombre es tan alto que no llega a compensar el ritmo de producción. Por otra parte, cada vez más se reconocen los efectos negativos que causan en el ambiente el uso de los derivados de estos productos, por lo que se buscan fuentes alternativas de energía que sean renovables y “limpias”.

El tema abordado en este cuaderno muestra las múltiples aplicaciones de los microorganismos y su relación con el medio ambiente. Es importante aclarar con los alumnos que los microorganismos no actúan “intencionalmente” en beneficio del hombre, sino que incorporan las sustancias del entorno como el resto de los seres vivos, lo que les permite nutrirse y sobrevivir. La utilidad de los microorganismos es producto del aprovechamiento que el hombre hace de ellos en beneficio propio. Incluso cuando las bacterias se transforman mediante técnicas de ingeniería genética para que actúen como descontaminantes o para emplear las enzimas que producen con ese fin, las bacterias no hacen más que cumplir con sus funciones vitales. Lo mismo ocurre con las plantas que pueden incorporar productos contaminantes y convertirlos en productos inocuos.

Es importante aclarar con los alumnos que la utilización de plantas en los procesos de fitorremediación deben ser planificados y controlados. De esta forma los productos contaminantes que ellas acumulan se transforman en sustancias no nocivas que vuelven al ambiente o se acumulan en las plantas que se desechan, de forma tal que no pasan a la cadena alimentaria y, en consecuencia, no perjudican a otros organismos que puedan alimentarse de estos vegetales.

Respecto del uso de artículos o novedades científicas, es interesante analizar el texto completo, incluido el título, que sean trabajados y analizados en clase, e incorporados como parte de los contenidos a ser evaluados, al igual que otros textos escolares. De lo contrario pierden valor como recurso de enseñanza.



CONCEPTOS RELACIONADOS

El tema abordado en este Cuaderno se puede incorporar al trabajar en el aula los siguientes contenidos: contaminación; impacto ambiental; ecosistema; enzimas y digestión enzimática; polímeros y monómeros; microorganismos y su función en el ecosistema; las plantas y su función en el ecosistema; recursos naturales; compuestos biodegradables; ingeniería genética; organismos transgénicos; biotecnología y ambiente.

ACTIVIDADES

Actividad 1. Revisión de conceptos

El objetivo de la actividad es aplicar los conocimientos adquiridos por el alumno a partir de la lectura del Cuaderno y de una introducción teórica brindada por el docente.

Se sugiere que cada alumno responda de manera individual estas preguntas en la clase, y luego se realice una puesta en común general. Es fundamental que al hacer la puesta en común los alumnos puedan justificar sus respuestas con argumentos basados en los conocimientos adquiridos.

Elegir la/s respuesta/s correctas en las siguientes opciones múltiples:

1- En la limpieza de aguas residuales se emplean microorganismos porque...

- a-...son descomponedores naturales.
- b-...emplean todas las sustancias como alimentos.
- c-...obtienen energía aún de los compuestos venenosos.
- d- Ninguna opción es correcta.

Rta. a, b y c

2- La biorremediación involucra...

- a-...el uso de organismos vivos.
- b-...el uso de compuestos sintéticos.
- c-...el uso de "remedios".
- d-...el uso de componentes celulares.
- e-...el uso de enzimas libres.

Rta. a, d y e

3- Algunas estrategias para ayudar al ecosistema a remediarse pueden ser...

- a-...agregar nutrientes para estimular el crecimiento de las poblaciones naturales.
- b-...permitir que el ecosistema naturalmente logre su saneamiento.
- c-...introducir microorganismos exógenos dentro del ecosistema.
- d- Todas las respuestas son correctas.

Rta. a y c

4- Existen microorganismos que pueden...

- a-...recuperar metales preciosos.
- b-...limpiar vertidos peligrosos.
- c-...vivir en las raíces de las plantas y degradar compuestos tóxicos.

"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.



d-Todas las opciones son correctas.

Rta. d

5- La ingeniería genética...

a-...no puede aplicarse en biorremediación porque no tiene sentido tratar de modificar a los descomponedores.

b-...puede permitir que las bacterias presenten mayor capacidad para producir enzimas implicadas en el mecanismo de degradación.

c-...permite agregarle a plantas genes de microorganismos para que sean mejores biorremediadoras.

d-Ninguna opción es correcta.

Rta. b y c

6- Las plantas pueden ser utilizadas...

a-...para absorber metales.

b-...para descontaminar suelos empetrolados.

C-... para descontaminar mares

d-...ninguna opción es correcta.

Rta. a y b

Actividad 2. Crucigrama

En la siguiente actividad se propone resolver un crucigrama a partir de la definiciones dadas:

```
1  _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ A _ _ _ _  
2  _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ M _ _  
3  _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ B _ _ _ _ _ _ _ _  
4  _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ I _ _ _ _ _ _ _ _  
5  _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ E _ _ _ _ _ _ _ _  
6  _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ N _ _ _ _  
7  _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ T _ _  
8  _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ E _ _ _ _ _ _ _ _
```

1. Proceso por el cual se usan plantas para contener, remover o neutralizar contaminantes. Rta: [fitorremediación](#)
2. Organismos microscópicos utilizados en la digestión de sustancias contaminantes. Rta: [microorganismos](#)
3. Microorganismos que emplean el petróleo como fuente de energía. Rta: [bacterias](#)
4. Proceso por el cual las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración. Rta: [Fitovolatilización](#)
5. Proceso por el cual las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces). Rta: [Fitoextracción](#)
6. Uno de los tipos de microorganismos utilizados en saneamiento ambiental. Rta: [hongos](#)
7. Compuesto tóxico altamente explosivo Rta: [TNT](#)
8. Proceso por el cual las plantas estimulan el crecimiento de bacterias descontaminantes en su raíces. Rta: [fitoestimulación](#)

"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.



Actividad 3. Análisis de noticias

En la siguiente actividad se propone analizar los siguientes textos y responder las preguntas que se realizan a continuación.

Artículo 1

Descubren las bases moleculares de la acumulación y la tolerancia a metales pesados en plantas

Publicado el 11/12/2003 en la sección Novedades de Biotecnología del sitio "Por qué Biotecnología" www.porquebiotecnologia.com.ar

Científicos del Instituto Max Planck difundieron la semana pasada un estudio en el que se develan las bases moleculares de la acumulación de metales y la tolerancia a los mismos en las plantas. El estudio se realizó comparando los perfiles de expresión de los genes de *Arabidopsis thaliana* y *Arabidopsis alleri*. *A. alleri* es una planta que vive de forma natural en suelos con alto contenido en cadmio y zinc y que muestra además una gran tolerancia a otros metales pesados. La planta acumula estos metales en las vacuolas celulares de determinados tejidos. La investigación se basa en el parentesco entre *A. alleri* y *A. thaliana*, ya que se conoce el genoma completo de esta última especie, considerada modelo para investigación en fisiología y genética vegetal. *A. thaliana* tiene una tolerancia limitada a los metales pesados, acumulándolos en cierta medida en sus raíces, mientras que *A. alleri* los acumula en mucha mayor proporción y también en su parte aérea. Comparando la homeostasis de los metales de ambas plantas y sus ARN mensajeros utilizando chips genéticos (microarrays) se han identificado las secuencias que corresponden a las proteínas claves en el secuestro y la detoxificación de los metales, así como en su traslocación dentro de la planta. Este descubrimiento puede ser clave para conseguir plantas que crezcan en condiciones hostiles, lo que podría tener su aplicación práctica en agricultura de ciertas zonas y en la descontaminación (biorremediación) de suelos.

Preguntas guía para analizar el Artículo 1:

1. ¿Qué especies se utilizaron en esta investigación? **Rta:** se utilizaron dos plantas del mismo género pero distinta especie: *Arabidopsis thaliana* y *Arabidopsis alleri*
2. ¿Por qué creen que seleccionaron estas dos especies? **Rta:** Se seleccionaron ambas especies debido a que son parientes cercanos, pero difieren respecto de la tolerancia a metales.
3. ¿Cuáles son las características particulares de cada una de ellas? **Rta:** *A. thaliana* es ampliamente estudiada, se conoce su genoma y es una especie modelo, mientras que *A. alleri*, si bien no es tan conocida, es tolerante a cadmio, zinc y otros metales pesados.
4. ¿Por qué se comparan los ARNm de las dos especies? **Rta:** esta técnica se utiliza para conocer qué genes se están expresando en determinadas condiciones, por ejemplo los genes que están involucrados en la tolerancia que tiene *A. alleri* a los metales pesados.
5. ¿Cuáles son las potenciales aplicaciones de este descubrimiento en el área agronómica y el cuidado del medio ambiente? **Rta:** una vez conocidos los genes involucrados en el proceso de tolerancia a metales, se podrían insertar dichos genes en otras plantas de mayor tamaño, como son los árboles para que descontaminen el ambiente de metales pesados.



Artículo 2

Modifican bacterias que viven en las plantas para ayudar con la limpieza del medio ambiente

Publicado el 15/04/2004 en la sección Novedades de Biotecnología del sitio "Por qué Biotecnología" www.porquebiotecnologia.com.ar

El uso de plantas para limpiar o restaurar el medio ambiente se denomina fitorremediación, y como toda tecnología, suele tener sus limitaciones. Por ejemplo, los compuestos contaminantes o sus metabolitos pueden matar o dañar a las plantas, o volver al medio ambiente por evaporación en las hojas. Pero un grupo de investigadores del Departamento de Energía del Laboratorio Nacional Brookhaven de Estados Unidos y sus colegas de Bélgica encontraron una manera para mejorar el proceso: transferir genes de bacterias del suelo que normalmente degradan contaminantes a bacterias que residen en las plantas. Mostraron que esta estrategia puede emplearse en fitorremediación y, usando estas bacterias "reforzadas", aumentaron la capacidad de las plantas de degradar tolueno. "Lo que hicimos fue introducir los genes correspondientes a una vía metabólica de degradación en bacterias que residen en las plantas. Inoculando las plantas con estas bacterias, denominadas "endófitas", podríamos hacer que las plantas sean capaces de degradar una gran variedad de contaminantes orgánicos", dijo Daniel van der Lelie, uno de los investigadores en el proyecto. Los científicos empezaron introduciendo los genes de una bacteria que degrada tolueno en otra bacteria que coloniza naturalmente las raíces y tallos de una planta modelo. Seleccionaron las bacterias endófitas que habían adquirido la capacidad de degradar tolueno y las usaron para inocular las plantas. Al cabo de un tiempo, confirmaron que las raíces y brotes estaban colonizados por bacterias capaces de crecer en un medio de cultivo con tolueno. Probaron, además, que las plantas inoculadas también podían crecer en presencia de tolueno, en condiciones en las que las plantas sin inocular morían. Aún más, vieron que las plantas inoculadas con las bacterias endófitas modificadas liberaban tres o cuatro veces menos tolueno a la atmósfera. El próximo paso es probar la técnica en álamos y sauces, que son árboles de raíces profundas usados en fitorremediación. "En los árboles, los contaminantes suelen demorar muchas horas o días hasta alcanzar las hojas. Eso nos da el tiempo suficiente como para conseguir una degradación eficiente con las bacterias endófitas", agregó van der Lelie. Los científicos ya aislaron 150 especies de bacterias que viven como endófitas en los álamos, e iniciaron experimentos para ver cuáles serían las más fáciles de modificar genéticamente.

Preguntas guía para analizar el Artículo 2:

1. ¿Cuáles son los individuos estudiados que se mencionan en el artículo y cuáles son las características de cada uno de ellos? **Rta:** en este trabajo se investigan: bacterias que degradan tolueno, bacterias endófitas que viven dentro de plantas y plantas huéspedes de estas últimas.
2. ¿Cuál de ellos son los que metabolizan sustancias contaminantes? **Rta:** las bacterias son las que metabolizan el tolueno, de las cuales se estudiarán las enzimas (y los genes) involucrados en el proceso de detoxificación.
3. En el artículo se menciona que usarán "bacterias reforzadas". ¿Qué quieren decir estos términos? **Rta:** el "refuerzo" proviene del gen agregado a las bacterias endófitas para que, una vez en la planta huésped, degraden el tolueno.
4. Las plantas utilizadas en este estudio, ¿son transgénicas? **Rta:** No. La planta sólo sirve de "nicho" para que las bacterias transgénicas vivan y éstas, a su vez, les ayudan a tolerar suelos contaminados con tolueno, cosa que la planta sola no podría.

"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.



5. ¿Cuáles son las perspectivas que tienen los investigadores a partir de los resultados obtenidos? Rta: Próximamente probarán la técnica en álamos y sauces. La ventaja de usar árboles es que, debido a su tamaño, los contaminantes demoran muchas horas o días hasta alcanzar las hojas y eso da tiempo para que las bacterias endófitas degraden eficientemente.

MATERIAL DE CONSULTA

- Breve presentación sobre biorremediación, en castellano:
<http://universidaddesantiago.cl/ima/bioremed.htm>
- Aplicaciones de la biorremediación (caso del desastre del Prestige en la costa de Galicia)
http://www.belt.es/noticias/2003/febrero/24_28/28/prestige.htm
- Biorremediación en Mendoza (Universidad de Cuyo)
<http://www.eco2site.com/informes/biorremediacion.asp>
- Documento de INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial y UBA):
<http://www.inti.gov.ar/cequipe/dicaria.pdf>
- Biorremediación: Reportaje al Dr. en Ciencias Bernardo González.
http://www.bioplanet.net/magazine/bio_julago_2001/bio_2001_julago_reportaje.htm
- Utilización de la biorremediación en minería. http://www.yloenvias.com/usuarios/ecopest_sl/bsr.htm
- Aplicación de la biorremediación en el derrame del Prestige en Galicia. <http://www.belt.es>
- Microbiología y metales pesados. Revista Química viva. Vol. 2, número 3, 2003.
<http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar>
- Fitorremediación. http://www.cam_mx.com; <http://www.sefv.org>; <http://www.ucm.es>;
<http://eclipse.red.cinvestav.mx>