



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:

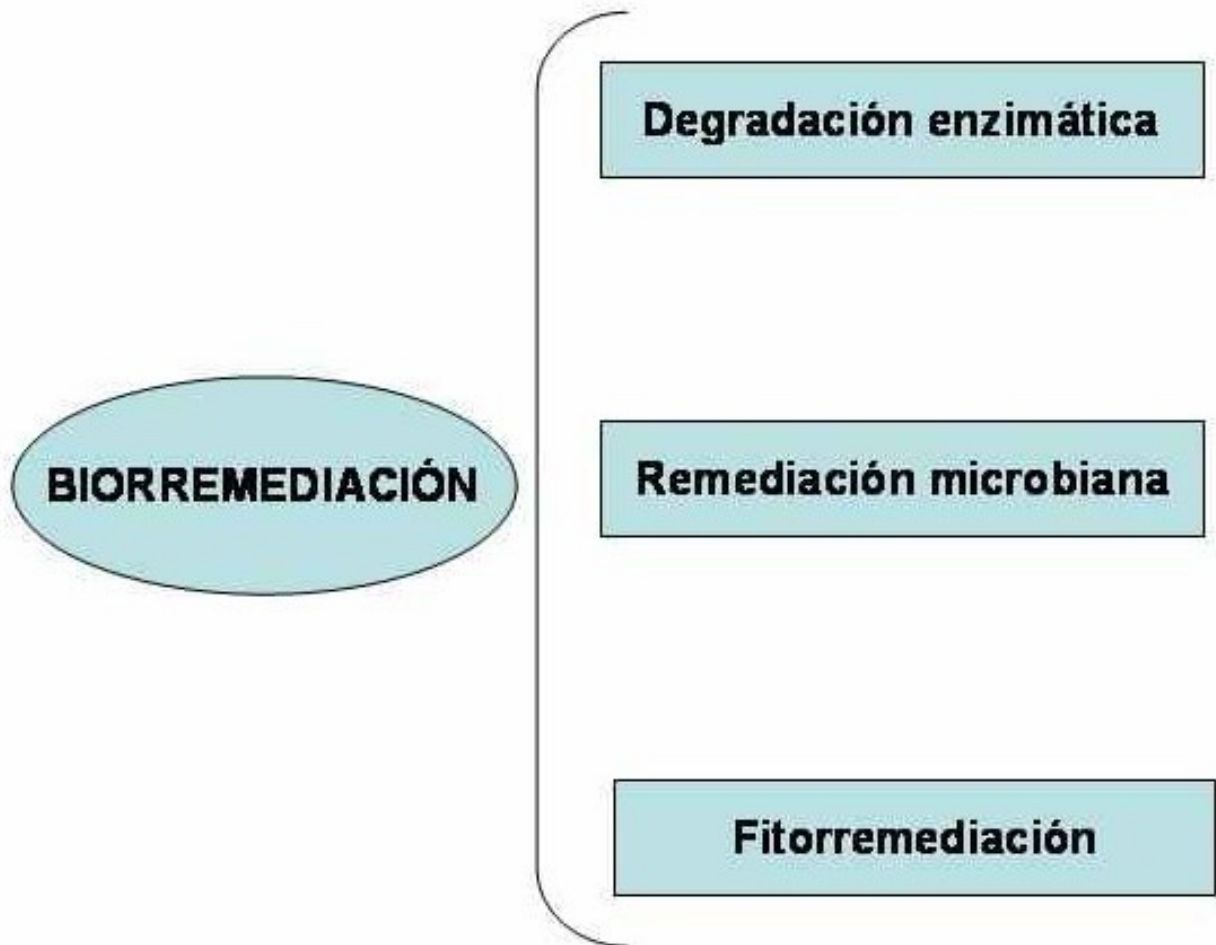


FIG 1: Diferentes modos de biorremediación.

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:

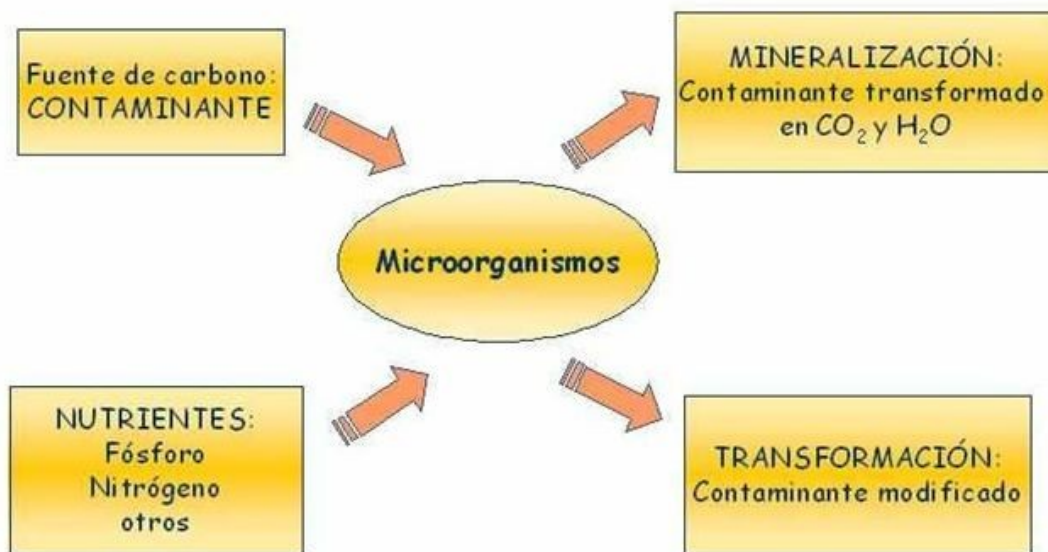


FIG 2: "METABOLISMO MICROBIANO". Los microorganismos ingieren contaminantes como fuente de carbono y algunos nutrientes como fósforo y nitrógeno. La digestión de estos compuestos en sustancias más simples como parte del metabolismo del microorganismo, puede resultar en la degradación del compuesto en forma parcial (transformación) o total a dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O).

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:

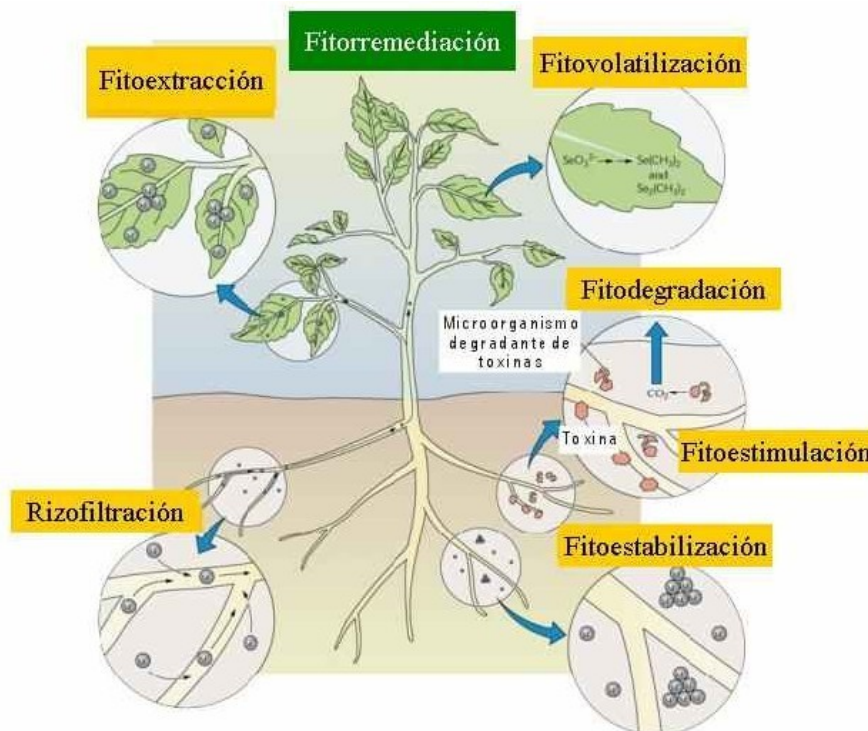
"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa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

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

Limitaciones:

- ✓ El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas.
- ✓ Los tiempos del proceso pueden ser muy prolongados.
- ✓ 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	Hidrocarburos derivados del petróleo

"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.



n	promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)	y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc
Fitovolatilización	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, nitrobenzeno, 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 (*Helianthus 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 mercuríco*, 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:

- Rizofiltración para la extracción de Uranio de aguas subterráneas en Asthabula, Ohio, EEUU.
- 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.
- 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.
- Plantas transgénicas de tabaco con genes provenientes de bacterias que le permiten detoxificar TNT y GTN en suelos de campos minados.
- Plantas transgénicas de *Arabidopsis thaliana* que toleran la acumulación de cadmio, arsénico y mercurio.
- Bacterias *Pseudomonas* transgénicas que son capaces de degradar compuestos tóxicos que contienen cloro en compuestos menos nocivos.
- Microorganismos capaces de degradar TNT, un explosivo de gran potencia y muy agresivo para el entorno.
- Bacterias capaces de reducir las formas altamente tóxicas de mercurio en otras menos tóxicas y volátiles.
- Bacterias que transforman metales del suelo en formas menos tóxicas o insolubles. Por ejemplo: la reducción de cromo (Cr^{+6} a Cr^{+3}).
- 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.
- Cianobacterias a las que se le han introducido genes de bacterias *Pseudomonas* con capacidad de degradar diferentes hidrocarburos o pesticidas.



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>