



Guía del ciudadano: Medidas biocorrectivas

Oficina de Innovaciones Tecnológicas

Ficha tecnológica

¿Qué son las medidas biocorrectivas?

Las medidas biocorrectivas consisten en el uso de microorganismos naturales (levaduras, hongos o bacterias) para descomponer o *degradar* sustancias peligrosas en sustancias menos tóxicas o que no sean tóxicas. Los microorganismos, igual que los seres humanos, comen y digieren sustancias orgánicas, de las cuales obtienen nutrientes y energía. En términos químicos, los compuestos "orgánicos" son aquellos que contienen átomos de carbono e hidrógeno. Ciertos microorganismos pueden digerir sustancias orgánicas peligrosas para los seres humanos, como combustibles o solventes. Los microorganismos descomponen los contaminantes orgánicos en productos inocuos, principalmente dióxido de carbono y agua (figura 1). Una vez degradados los contaminantes, la población de microorganismos se reduce porque ha agotado su fuente de alimentos. Las poblaciones pequeñas de microorganismos sin alimentos o los microorganismos muertos no presentan riesgos de contaminación.

¿Cómo funcionan?

Los microorganismos deben estar activos y saludables para que puedan desempeñar su tarea correctiva. Las medidas biocorrectivas facilitan el crecimiento de los microorganismos y aumentan la población microbiana creando condiciones ambientales óptimas para que puedan detoxificar la mayor cantidad posible de contaminantes. La medida biocorrectiva que se use dependerá de varios factores, entre ellos el tipo de microorganismos presentes, las condiciones del lugar y la cantidad y toxicidad de los productos químicos contaminantes. Hay diversos microorganismos que degradan distintos tipos de compuestos y sobreviven en condiciones diferentes.

Los microorganismos *autóctonos* son los que ya viven en un lugar determinado. Para estimular su crecimiento, tal vez sea necesario proporcionarles una temperatura apropiada del suelo, oxígeno y nutrientes.

Si la actividad biológica que se necesita para degradar un contaminante en particular *no* está presente en el suelo del lugar, se pueden añadir al suelo contaminado microorganismos de otros lugares cuya eficacia se haya comprobado. Estos son microorganismos *exógenos*. Es posible que haya que modificar las condiciones del suelo del lugar nuevo para que los microorganismos exógenos proliferen.

Las medidas biocorrectivas pueden aplicarse en condiciones *aerobias* y *anaerobias*. En condiciones aerobias, los microorganismos usan el oxígeno disponible en la atmósfera para funcionar. Con suficiente oxígeno, los microorganismos convertirán muchos contaminantes orgánicos en dióxido de carbono y agua. En condiciones anaerobias, la actividad biológica tiene lugar en ausencia de oxígeno, de modo que los microorganismos descomponen compuestos químicos del suelo para liberar la energía que necesitan. A veces, en los procesos aerobios y anaerobios de descomposición de los contaminantes originales se crean productos intermedios de toxicidad menor, igual o mayor.

Las medidas biocorrectivas pueden usarse como método para descontaminar el suelo y el agua. Estas medidas se clasifican en dos grandes categorías: *in situ* y *ex situ*. Con medidas biocorrectivas *in situ* se trata la tierra contaminada o el agua subterránea en el lugar donde se encuentra. Las medidas biocorrectivas *ex situ* consisten en excavar el suelo contaminado o extraer el agua subterránea por bombeo para aplicar el tratamiento.

Medidas biocorrectivas in situ para el suelo

Con las técnicas *in situ* no es necesario excavar el suelo contaminado, de modo que son menos costosas, levantan menos polvo y liberan menos contaminantes que las técnicas *ex situ*. Además, se puede tratar una gran cantidad de tierra por vez. Sin embargo, las técnicas *in situ* pueden llevar más tiempo que las técnicas *ex situ*, pueden ser difíciles de manejar y son más eficaces en suelos *permeables* (arenosos o que no sean compactos).

Perfil de las medidas biocorrectivas

- Se usan microorganismos naturales para descomponer sustancias peligrosas en sustancias menos tóxicas o que no sean tóxicas.
- Es un proceso natural, eficaz en función del costo, que puede aplicarse a muchos desechos orgánicos comunes.
- Muchas de las técnicas pueden aplicarse *in situ*.

La meta de las medidas biocorrectivas in situ en condiciones aerobias es suministrar oxígeno y nutrientes a los microorganismos del suelo. Las técnicas aerobias in situ varían en cuanto al método de suministro de oxígeno a los microorganismos que degradan los contaminantes. Dos de esos métodos son la bioaireación y la inyección de peróxido de hidrógeno. Se puede suministrar oxígeno introduciendo aire por bombeo en el suelo, arriba de la capa freática (bioaireación), o en forma líquida como peróxido de hidrógeno. Las medidas biocorrectivas in situ tal vez no den buenos resultados en suelos arcillosos o en subsuelos altamente estratificados porque no se puede distribuir oxígeno de manera uniforme en toda la zona que necesita tratamiento. Con medidas biocorrectivas in situ a veces se tarda años en alcanzar las metas en cuanto a limpieza, dependiendo principalmente de cuán biodegradables sean determinados contaminantes. Con contaminantes que se degradan fácilmente quizá se tarde menos.

Bioaireación. Los sistemas de bioaireación introducen aire de la atmósfera en el suelo, arriba de la capa freática, por medio de pozos de inyección situados en el lugar contaminado. La cantidad, la ubicación y la profundidad de los pozos dependen de muchos factores geológicos y consideraciones técnicas.

Se puede usar un ventilador para forzar la entrada de aire en el suelo por empuje o tracción por los pozos de inyección. El aire fluye por el suelo, y los microorganismos usan el oxígeno del aire. Por los pozos de inyección se pueden introducir también nutrientes, como nitrógeno y fósforo, para acelerar el crecimiento de los microorganismos.

Inyección de peróxido de hidrógeno. Con esta técnica se suministra oxígeno para estimular la actividad de microorganismos naturales haciendo circular peróxido de hidrógeno por el suelo contaminado para acelerar la eliminación biológica de contaminantes orgánicos. Como consiste en introducir una sustancia química (peróxido de hidrógeno) en el suelo (que podría infiltrarse hasta llegar al agua subterránea), se usa solamente en lugares donde el agua subterránea ya está contaminada.

Generalmente se usa un sistema de tuberías o de aspersores para introducir peróxido de hidrógeno en suelos contaminados a poca profundidad. Para suelos contaminados a mayor profundidad se usan pozos de inyección.

Medidas biocorrectivas in situ para el agua subterránea
Las medidas biocorrectivas in situ para el agua subterránea aceleran los procesos naturales de biodegradación que tienen

lugar en la región subterránea empapada en agua que está debajo de la capa freática. En los lugares donde tanto el suelo como el agua subterránea están contaminados, esta técnica sirve para tratar ambos.

Por lo general, un sistema biocorrectivo in situ para el agua subterránea consiste en un pozo de extracción para sacar el agua subterránea del suelo, un sistema de tratamiento del agua en la superficie, con el cual se pueden agregar nutrientes y una fuente de oxígeno al agua subterránea contaminada, y pozos de inyección para reintroducir el agua subterránea "acondicionada" en el subsuelo, donde los microorganismos degradan los contaminantes.

Una de las limitaciones de esta técnica es que las diferencias en la disposición y la densidad de las capas del suelo podrían llevar al agua subterránea acondicionada reinyectada a seguir ciertos trayectos preferidos, sin llegar nunca a algunos lugares contaminados.

Otro método que se usa con frecuencia para el tratamiento in situ de agua subterránea es la *aspersión de aire*, que consiste en introducir aire por bombeo en el agua subterránea para que arrastre los contaminantes. La aspersión de aire se usa junto con la técnica de extracción de vapores del suelo, que se describe con pormenores en la *Guía del Ciudadano: La extracción de vapores del suelo y la aspersión de aire* (véase la página 4).

Medidas biocorrectivas ex situ para el suelo

Las técnicas ex situ llevan menos tiempo, son más fáciles de controlar y se usan para tratar una gama más amplia de contaminantes y tipos de suelo que las técnicas in situ. Sin embargo, requieren la excavación y el tratamiento del suelo contaminado antes de la medida biocorrectiva en sí y, a veces, incluso después. Entre las técnicas ex situ cabe señalar las **medidas biocorrectivas de fase de lechada** y las **medidas biocorrectivas de fase sólida**.

Medidas biocorrectivas de fase de lechada. La tierra contaminada se combina con agua y otros aditivos en un tanque grande denominado "biorreactor", se mezcla para mantener los microorganismos presentes en la tierra en contacto con los contaminantes y se añaden nutrientes y oxígeno. Las condiciones en el biorreactor se controlan a fin de crear el medio óptimo para que los microorganismos degraden los contaminantes. Una vez concluido el tratamiento, se separa el agua de los sólidos, que se eliminan o son sometidos a un tratamiento ulterior si todavía tienen contaminantes.

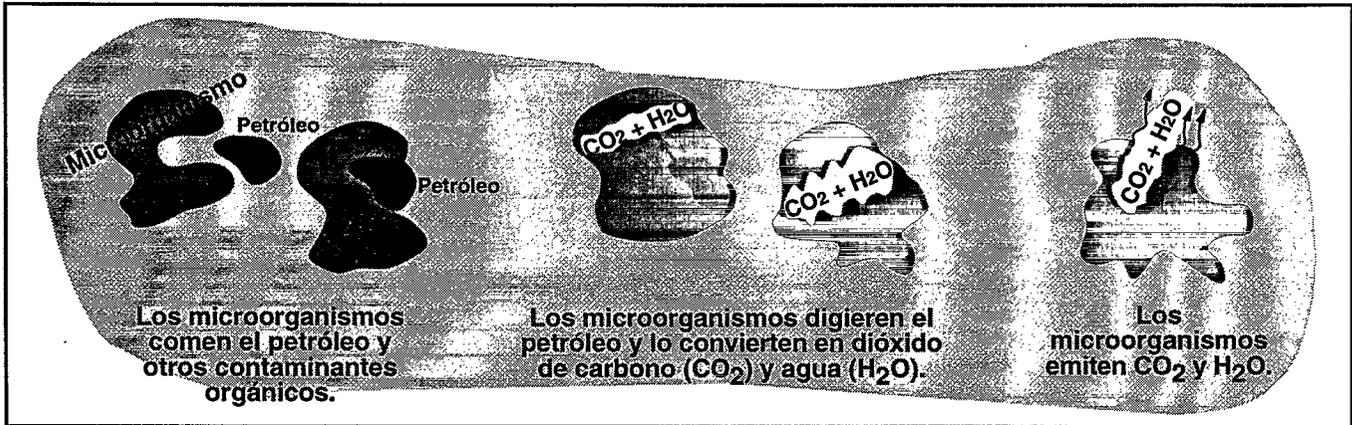
El tratamiento biológico de fase de lechada puede ser relativamente rápido en comparación con otros tratamientos biológicos, particularmente para la arcilla contaminada. El éxito del proceso depende en gran medida del tipo de suelo y de las propiedades químicas del material contaminado. Esta técnica es particularmente útil en los casos en que se necesitan medidas correctivas rápidas.

Medidas biocorrectivas de fase sólida. Con medidas biocorrectivas de fase sólida, se somete la tierra a un tratamiento en la superficie con sistemas de recolección para evitar la fuga de contaminantes. Se controla la humedad, el calor, los nutrientes y el oxígeno a fin de propiciar la biodegradación para aplicar este tratamiento.

¿Qué son las técnicas de tratamiento innovadoras?

Las técnicas de tratamiento son procesos que se aplican a desechos peligrosos o materiales contaminados para alterar su estado en forma permanente por medios químicos, biológicos o físicos. Las técnicas de tratamiento innovadoras son técnicas que han sido ensayadas, seleccionadas o utilizadas para el tratamiento de desechos peligrosos o materiales contaminados, aunque todavía no se dispone de datos bien documentados sobre su costo y resultados en diversas condiciones de aplicación.

Figura 1
Esquema de la biodegradación aerobia en el suelo



Los sistemas de fase sólida son relativamente sencillos de usar y de mantener, aunque ocupan mucho lugar y la limpieza lleva más tiempo que con los procesos de fase de lechada. Los sistemas de tratamiento de fase sólida abarcan el tratamiento de la tierra, biopilas de tierra y la producción de abonos a partir de desechos.

Tratamiento de la tierra. Con este método de tratamiento relativamente sencillo, se excava el suelo contaminado y se esparce la tierra en una plataforma con un sistema incorporado para recoger cualquier "lixiviado" o líquido contaminado que se escurra del suelo empapado en contaminantes. Se da vuelta la tierra periódicamente para mezclar aire con los desechos. Asimismo, se controla la humedad y los nutrientes para propiciar la acción biocorrectiva. La biocorrección llevará más tiempo si los nutrientes, el oxígeno o la temperatura no están bien controlados. En algunos casos, la reducción de la concentración de contaminantes podría atribuirse más a la volatilización que a la biodegradación. Cuando el proceso tiene lugar en lugares cerrados donde se controlan los contaminantes volátiles que se escapan, las pérdidas por volatilización se reducen al mínimo.

Biopilas de tierra. La tierra contaminada se amontona en pilas de varios metros de altura sobre un sistema de distribución de aire. La aireación se realiza forzando el paso del aire por el montón de tierra con una bomba de vacío. La humedad y los nutrientes se mantienen en un nivel óptimo para la acción biocorrectiva. Los montones de tierra pueden colocarse en lugares cerrados. Los contaminantes volátiles son fáciles de controlar porque generalmente se integran a la corriente de aire que se hace pasar por la pila.

Producción de abono a partir de desechos. Se mezclan desechos biodegradables con un agente que les dé más volumen, como paja, heno o mazorcas, para facilitar el suministro de la cantidad óptima de aire y agua a los microorganismos. Tres tipos comunes son la *producción de abono en pilas estáticas* (se forman pilas de desechos aireadas con ventiladores impelentes o bombas de vacío), la *producción de abono en recipientes con agitación mecánica* (los desechos se colocan en un recipiente para el tratamiento donde se mezclan y airean) y *producción de*

abono en hileras (los desechos se colocan en pilas alargadas, o sea hileras, y se mezclan periódicamente usando tractores o equipo similar).

¿Dará resultado esta técnica en cualquier lugar?

La biodegradación sirve para muchos tipos de desechos orgánicos y es un proceso natural y eficiente en función del costo. Muchas técnicas pueden aplicarse in situ, evitando la necesidad de transportar materiales peligrosos.

El grado de biodegradación depende principalmente de la toxicidad y de la concentración inicial de contaminantes, su biodegradabilidad, las propiedades del suelo contaminado y el sistema de tratamiento que se seleccione.

Los contaminantes que se pueden biodegradar son compuestos orgánicos no halogenados, tanto volátiles como semivolátiles, y combustibles. La eficacia de las medidas biocorrectivas es limitada en lugares con una alta concentración de metales, compuestos orgánicos altamente clorados o sales inorgánicas porque estos compuestos son tóxicos para los microorganismos.

¿Dónde se ha usado esta técnica?

En el predio de Scott Lumber Company (Misuri), uno de los sitios comprendidos en el *Superfund*, se aplicó un tratamiento biológico a 16.000 toneladas de tierra contaminada con hidrocarburos poliaromáticos, usando la técnica de tratamiento de la tierra. Se logró una reducción del 70% en la concentración de hidrocarburos.

En el sitio de French Ltd. (Texas), también comprendido en el *Superfund*, se usaron medidas biocorrectivas de fase de lechada para tratar 300.000 toneladas de sedimentos de una laguna y fango residual tipo alquitrán contaminados con compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles, metales y pentaclorofenol. Con este sistema de tratamiento, las metas de limpieza establecidas por el EPA se alcanzaron en el plazo de 11 meses.

En el cuadro 1 de la página 4 hay más ejemplos de lugares donde se han seleccionado distintos tipos de medidas biocorrectivas como método de tratamiento con recursos del *Superfund*.

Cuadro 1
Ejemplos de sitios donde se usan técnicas biocorrectivas con recursos del Superfund*

Nombre del sitio	Tratamiento	Contaminantes
Applied Environmental Services (Nueva York)	Bioaireación	Compuestos orgánicos volátiles, compuestos orgánicos semivolátiles
Onalaska Municipal Landfill (Wisconsin)	Bioaireación	Compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos poliaromáticos
Eielson Air Force Base (Arkansas)	Bioaireación	Compuestos orgánicos volátiles, compuestos orgánicos semivolátiles, hidrocarburos poliaromáticos
Brown Wood Preserving (Florida)	Tratamiento de la tierra	Hidrocarburos poliaromáticos
Vogel Paint & Wax (Indiana)	Tratamiento de la tierra	Compuestos orgánicos volátiles
Broderick Wood Products (Colorado)	Tratamiento de la tierra y bioaireación	Compuestos orgánicos semivolátiles, hidrocarburos poliaromáticos, dioxinas
Burlington Northern (Somers) (Montana)	Tratamiento de la tierra y medidas biocorrectivas in situ	Compuestos orgánicos semivolátiles, hidrocarburos poliaromáticos

Si desea una lista de los sitios para los cuales se han usado o seleccionado técnicas de tratamiento innovadoras con recursos del Superfund, diríjase al NCEPI, cuya dirección figura en el recuadro a continuación, y solicite un ejemplar del documento titulado **Innovative Treatment Technologies: Annual Status Report (7th Ed.), EPA 542-R-95-008**. Hay una base de datos con más información sobre los sitios indicados en el Annual Status Report. La base de datos se puede recibir gratis por computadora; está en la cartelera electrónica con información sobre operaciones de limpieza del EPA (CLU-IN). Llame a CLU-IN, módem: 301-589-8366. El número de teléfono de CLU-IN para ayuda técnica es 301-589-8368. La base de datos también se puede comprar en disquetes. Consulte al NCEPI para más pormenores.

* No todos los tipos de desechos y no todas las condiciones de los sitios son comparables. Es necesario investigar cada sitio y someterlo a pruebas por separado. Se deben emplear criterios científicos y técnicos para determinar si una técnica es apropiada para un sitio.

Para más información:

Las publicaciones que se indican a continuación pueden obtenerse gratis del NCEPI. Para encargarlas, envíe su pedido por fax al 513-489-8695. Si al NCEPI no le quedan más ejemplares de alguno de estos documentos, puede dirigirse a otras fuentes. Escriba al NCEPI a la siguiente dirección:

National Center for Environmental Publications and Information (NCEPI)
P.O. Box 42419
Cincinnati, OH 45242

- Selected Alternative and Innovative Treatment Technologies for Corrective Action and Site Remediation: A Bibliography of EPA Information Resources, enero de 1995, EPA 542-B-95-001. **Bibliografía de publicaciones del EPA sobre técnicas de tratamiento innovadoras.**
- Bioremediation Resource Guide, septiembre de 1993, EPA 542-B-93-004. **Bibliografía de publicaciones y otras fuentes de información sobre técnicas biocorrectivas.**
- A Citizen's Guide to Soil Vapor Extraction and Air Sparging, EPA 542-F-96-008.
- Engineering Bulletin: In Situ Biodegradation Treatment, abril de 1994, EPA 540-S-94-502.
- Engineering Bulletin: Slurry Biodegradation, septiembre de 1990, EPA 540-2-90-016.
- Abstracts of Remediation Case Studies, EPA 542-R-95-001.
- WASTECH® Monograph on Bioremediation, ISBN #1-883767-01-6. Puede obtenerse de la Academia Estadounidense de Ingenieros Ambientales, 130 Holiday Court, Annapolis, Maryland 21401; teléfono: 410-266-3311. Cuesta US\$49,95.

AVISO: Esta ficha técnica es solamente una fuente de orientación e información. No es su propósito crear derechos que puedan hacerse valer por vía judicial en Estados Unidos, ni se puede recurrir a esta ficha técnica con ese fin. El EPA también se reserva el derecho de cambiar estas pautas en cualquier momento sin avisar al público.