



Documento de Trabajo

5/2010
Octubre

Biorremediación: vinculaciones entre investigación, desarrollo y legislación

María Marta Di Paola
Carmen Vicién

Este documento fue preparado por María Marta Di Paola y Carmen Vicién en el marco del Proyecto de Investigación CEUR-CONICET “Potencialidades de la biotecnología para el desarrollo industrial en Argentina”, el que recibió el apoyo de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, a través de un subsidio del FONCyT. El Proyecto fue coordinado por Graciela E. Gutman (Investigadora Responsable) y Pablo Lavarello (Investigador integrante del Grupo Responsable).

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Ing. Agr. Carmen Vicién, Profesora Titular Cátedra de Administración Rural, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. cvicien@agro.uba.ar

Lic. María Marta Di Paola, Jefe de Trabajos Prácticos, Cátedra de Administración Rural, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, dipaolam@agro.uba.ar

1.- Introducción

El término biorremediación, acuñado a principios de la década de los '80, proviene del concepto de remediación que hace referencia a la aplicación de estrategias físico-químicas para evitar el daño y la contaminación del suelo. En el caso particular de la biorremediación se centra en la remediación "biológica", basada esencialmente en la capacidad de los microorganismos para degradar en forma natural ciertos compuestos contaminantes; los sistemas biológicos frecuentemente utilizados son microorganismos o vegetales. La biorremediación permite entonces reducir o remover los residuos potencialmente riesgosos presentes en el ambiente (EFB, 1999).

Según la Oficina de Evaluación de Tecnologías del Congreso de los EEUU (U.S. Congress, Office of Technology Assessment) la biorremediación es el acto de incorporar, a sitios contaminados, organismos que permitan la aceleración del proceso natural de degradación de sustancias tóxicas lo cual permite transformar dichos compuestos en otros químicamente distintos e inoos.

En el Anexo 1 se describen los diferentes tipos de biorremediación según el organismo empleado, la técnica utilizada y el lugar en el que se realiza el tratamiento.

En este trabajo se realiza un breve análisis de la situación de las investigaciones en biorremediación y sus aplicaciones, presentándose para ello los resultados de un relevamiento preliminar llevado a cabo en Argentina. También se desarrollan estudios de caso de empresas que emplean la biorremediación para la solución de problemas ambientales en ámbito internacional, las cuales poseen diferentes formas organizacionales y tipos de vinculación con el sistema de ciencia y técnica.

2. Aplicaciones de la biorremediación

En términos generales, las empresas que presentan un mayor interés en las técnicas de biorremediación son aquellas que pertenecen a la industria petrolera y petroquímica, asociadas a la limpieza de residuos generados en la manipulación de hidrocarburos. Un detalle de instituciones que aplican la biorremediación a la solución de problemas ambientales en los EEUU, Canadá y España puede verse en el Anexo 2.

Todos los años cerca de 1.300.000 toneladas de hidrocarburos entran al ambiente, la mayor parte a través de filtraciones naturales de petróleo. El hecho que las zonas costeras no estén continuamente cubiertas con alquitrán es debido a la actividad de microorganismos que pueden degradar el petróleo que se libera. La liberación de hidrocarburos a partir de filtraciones de petróleo es lenta, permitiendo que las comunidades locales de microorganismos actúen a medida que los productos contaminantes entran en su ambiente. Por ello, las bacterias constituyen un mecanismo natural para la limpieza de los hidrocarburos. Sin embargo, durante las filtraciones de petróleo ocasionadas por el hombre, la cantidad de hidrocarburos volcada al ambiente supera la capacidad de la comunidad natural microbiana, permitiendo que los aceites se dispersen y conduzcan a problemas ecológicos graves (Nature Reviews Microbiology, 2010).

Cuando los hidrocarburos llegan a las costas dos enfoques suelen emplearse: la introducción de bacterias que degraden el contaminante (técnica conocida como bioaumentación) y la bioestimulación con ciertos nutrientes para incrementar el crecimiento de la flora microbiana natural. La inclusión de nutrientes para estimular el crecimiento bacteriano e incrementar la tasa de remoción de hidrocarburos fue probada en Alaska, luego del derrame del Exxon Valdez el 23 de marzo de 1989.

De tal forma, en el caso particular de los derrames de petróleo el empleo de la biorremediación reviste importancia. Cuando un derrame de petróleo no fue limpiado de inmediato, la flora microbiana del suelo se somete a una selección natural, en la que los microorganismos

sobrevivientes son aquellos que desarrollaron capacidad degradadora, utilizándose la flora del sitio contaminado, en lugar de agregar microorganismos de fuera. En cambio, para limpiar derrames recientes, a veces es necesario recurrir a preparados microbianos frescos que aumenten la eficiencia (Saval, 1999).

Tanto *in situ* como *ex situ* se explotan comercialmente métodos para la limpieza del suelo y el agua subterránea asociada. Así por ejemplo, la biorremediación *in situ* del suelo bajo las estaciones de servicio se ha convertido ya una práctica común.

La creciente contaminación industrial y agrícola ha llevado a una mayor necesidad de procesos que eliminen contaminantes específicos tales como compuestos de nitrógeno y fósforo, metales pesados y compuestos clorados. Los nuevos métodos comprenden procesos aeróbicos, anaeróbicos y físico-químicos en filtros de lecho fijo y biorreactores, en los cuales se retienen en suspensión materiales y microbios. Los costos del tratamiento de las aguas residuales pueden reducirse mediante la conversión de los residuos en productos útiles (EFB, 1999).

Los residuos sólidos domésticos son un problema importante en nuestra sociedad de consumo. Su eliminación es cara y hace necesaria una vigilancia constante de la contaminación atmosférica y las aguas subterráneas. Sin embargo, la mayor parte son compuestos orgánicos rápidamente biodegradables. A este respecto, como fuente de bio-residuos separados, pueden convertirse en un valioso recurso mediante la generación de compost o la digestión anaeróbica. En los últimos años, ambos procesos han tenido notables desarrollos en términos de diseño del proceso y su control (EFB, 1999).

La decisión de avanzar en la limpieza de los ambientes contaminados depende de la voluntad política y los costos asociados. La importancia de la legislación ambiental para los países industrializados fue puesta de manifiesto por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) que ha aconsejado a sus países miembros a implementar estándares ambientales y desarrollar legislación en la materia, como un puntapié inicial para la promoción de la tecnología para la resolución de problemas ambientales con el objetivo de crear una demanda para nuevos productos y servicios, en definitiva contribuir al desarrollo del mercado.

Esta estrategia parece haber funcionado en países como Dinamarca, Alemania y Países Bajos. En estos países donde existe una vasta experiencia en legislación ambiental se ha desarrollado en gran magnitud la tecnología focalizada al ambiente. Como las compañías que brindan dichos productos y servicios son competitivas a nivel internacional, el incremento de la demanda por servicios y bienes ambientales ha derivado en una industria orientada a la exportación.

En los países en desarrollo las metas ambientales son muchas veces consideradas como secundarias en relación con otros objetivos tales como el desarrollo económico. De todos modos, los países en desarrollo suelen encontrarse ante la necesidad de la aplicación de leyes ambientales más severas ya que en muchos casos las leyes ambientales laxas son un factor negativo para la instalación de subsidiarias de empresas transnacionales. Para cumplir con los estándares de los países industrializados, los países en vías de desarrollo con frecuencia dependen de tecnologías desarrolladas y controladas por los países desarrollados.

En lo que respecta a los EE.UU. la Agencia de Protección Ambiental¹ es la dependencia más importante en la aplicación de la mayor parte de la legislación en materia de protección ambiental, incluidas las leyes que controlan la contaminación atmosférica y del agua, el manejo de residuos sólidos y peligrosos, el saneamiento de sitios contaminados y la regulación de plaguicidas y sustancias tóxicas.

¹ Environmental Protection Agency (EPA).

La EPA elabora una “Lista Nacional de Prioridades”² en la que se incluyen las medidas de limpieza a ser financiadas a través del *Superfund*³. La mayor parte de los sitios incluidos en fueron incorporados sobre la base de la evaluación del Sistema de Clasificación de Riesgos que consiste en una lista amplia de metodologías para evaluar y comparar el grado relativo de riesgo que algunas instalaciones y sitios específicos suponen para la salud humana y el ambiente.

Entre las ventajas de la biorremediación, con relación a otras técnicas, puede mencionarse que suele tener costos más bajos, provoca una menor intrusión en el sitio contaminado y en consecuencia un daño ecológico menos significativo en el proceso de destrucción de los productos contaminantes.

Según la Agencia de Protección del Ambiente de los EEUU (2004) más de 102.000 sitios en ese país fueron identificados como afectados por distintos agentes contaminantes, de los cuales 37.000 tendrían la necesidad de ser remediados. El costo estimado de llevar a cabo dicha operación es de 1.100 billones de dólares.

En la Unión Europea (UE) aproximadamente 495.000 sitios se clasificaron como contaminados, con costos de remediación de entre 280 y 1.000 billones de dólares. Los costos por metro cúbico para la biorremediación de suelos varían entre 52 y 131 dólares, muy por debajo de los 327 a 1.046 dólares en el caso de la incineración o 196 a 327 dólares por relleno del suelo.

Aunque los beneficios económicos son evidentes, la inversión en investigación para la biorremediación es menor en comparación con las otras técnicas.

3. Investigación y Desarrollo en biorremediación

Esta tecnología surgió del conocimiento empírico de los operadores de las refinerías del petróleo pues la biorremediación fue usada durante muchos años por la industria petrolera de los EE.UU. Posteriormente fue entendida de una manera científica cuando investigadores y técnicos de las industrias llegaron a determinar que algunos microorganismos, sobre todo algunas bacterias, podían utilizar los hidrocarburos del petróleo como alimento y fuente de energía. Es así como algunos estudios demostraron que estos microorganismos eran los principales responsables de la descomposición de aceites en el suelo de los campos de exploración, y por consiguiente, se buscó determinar las condiciones óptimas para reproducir estas condiciones en el campo, y así acelerar el proceso.

La mayoría de estos descubrimientos sobre el metabolismo de la biodegradación de hidrocarburos fueron realizados en laboratorios académicos. Luego, gracias al esfuerzo de profesionales trabajando en la industria petrolera misma, así como en empresas dedicadas a la restauración ambiental, se implementaron estos descubrimientos en el campo.

La biorremediación se mostró efectiva en algunos de los derrames de petróleo ocurridos como en Exxon Valdez en 1989 y en el Golfo Pérsico durante la guerra en 1991.

²Esta lista incluye las prioridades de aquellos sitios contaminados o en riesgo de serlo, siendo esta una guía para la EPA en pos de la generación de información para los espacios donde se desconocen tanto los contaminantes como sus potenciales efectos.

³ Superfund es el nombre dado al programa ambiental establecido para mejorar los sitios que fueron abandonados y contenían desperdicios peligrosos. El programa también estableció el fondo de fideicomiso a través de la ley de responsabilidad, compensación y recuperación ambiental en el 1980 Esta ley le permite a la EPA que realizar actividades de limpieza, mejora y restauración en los sitios que están contaminados con desperdicios tóxicos. También otorga fondos para buscar quienes pudieran ser los o el grupo potencialmente responsable de la contaminación y que este incurra o que reembolse a la EPA los gastos de limpieza, mejora y restauración.

En muchos países fueron las regulaciones las que guiaron el desarrollo de las actividades concernientes a la biorremediación. Por ejemplo, las enmiendas en la Ley del Aire Limpio en EE.UU. requirieron disminuir la cantidad de azufre en las plantas de quema de carbón. En respuesta a esta modificación una empresa del Estado de Florida en los EEUU (Microterra) desarrolló una bacteria que disminuía la concentración de azufre en el carbón.

También el control sobre la industria de las armas químicas ha favorecido el desarrollo de nuevas técnicas. A este respecto, el acuerdo de desarme de muchas de las plantas de los EE.UU. y la ex Unión Soviética llevó la búsqueda de microorganismos que degradaran los residuos tóxicos en productos no tóxicos.

En el presente, la biorremediación se utiliza primordialmente en países industrializados. Sin embargo, el clima cálido y la alta humedad de muchos países en desarrollo resulta un estímulo para los procesos de remediación.

Las tecnologías para la resolución de problemas ambientales que disminuyen los costos de la protección ambiental pueden cumplir una doble función. Por una parte, colaboran en la reducción de los efectos ambientales producto del crecimiento económico y por otro, disminuyen los efectos en el propio crecimiento del Producto Bruto Interno (PBI) derivados de normas ambientales más estrictas, teniendo un rol de importancia en la disociación de las repercusiones sobre el ambiente del crecimiento económico.

Los problemas de falta de inversión (debido a que los precios de mercado no compensan de manera suficiente un adecuado cuidado del ambiente), lenta difusión, falta de capital de riesgo, aversión al mismo o burocracia son algunos de los problemas con los que se enfrenta la investigación aplicada a la tecnología ambiental. Además en ocasiones la biorremediación no es la primera opción en aquellos sitios donde por razones políticas o ambientales es necesaria una rápida limpieza del lugar contaminado.

Las aplicaciones de la biorremediación deben contar con respaldo científico, sin embargo, en el mercado de productos para la resolución de problemas ambientales suelen comercializarse productos microbianos y aditivos químicos de composición desconocida, que no son efectivos e incluso pueden aumentar el riesgo de contaminación, más que remediarlo (Saval, 1999).

Por otra parte, la brecha entre los avances en las investigaciones en el laboratorio y las posibles aplicaciones comerciales a campo es uno de los mayores problemas para la difusión de esta técnica debido a la falta de conocimientos para estimar las tasas de degradación y de evolución y de lugares a campo abierto designados como centro de investigación y de demostración tecnológica.

Las dificultades con las que se encuentra la biorremediación para ser considerada una herramienta exitosa, frente a otras alternativas menos costosas, incluyen la necesidad de mejorar las caracterizaciones de microorganismos y ambiente, en función de su heterogeneidad, para clarificar los factores que afectan las tasas de degradación; establecer criterios y métodos que sean ampliamente aceptados; hacer esfuerzos de modelización para lograr una correcta aproximación de los estudios en laboratorio hacia el trabajo en campo; desarrollar mejores técnicas de monitoreo; contar con una base de datos a nivel global para asentar los resultados hallados en diferentes sitios y avanzar en el trabajo interdisciplinario.

A su vez, la biorremediación se limita al tratamiento de residuos que son efectivamente reconocidos y degradados por los microorganismos. Muchos tóxicos son difíciles de degradar por la falta de microorganismos que reconozcan y transformen el residuo. Los organismos que evolucionaron por más de millones de años no fueron expuestos a los miles de compuestos generados por el hombre, hasta hace muy pocos años. Es por ello que la biotecnología puede ampliar el rango de compuestos y lugares donde la remediación pueda utilizarse, creando microorganismos que reconozcan y degraden aquellos compuestos creados por el hombre.

También se está estudiando el desarrollo de mejores estrategias de biorremediación *in situ*. Los problemas a considerar son la diversidad de condiciones agroecológicas que afectan el desarrollo y las dificultades para el control de los microorganismos (densidad del suelo, condiciones climáticas, etc.).

Muchas de las investigaciones se están focalizando en examinar sistemas catalíticos de microorganismos no estudiados con anterioridad; estudiar los senderos de respuesta de los microorganismos a condiciones anaeróbicas en la degradación de contaminantes; desarrollar métodos para el control y monitoreo de poblaciones microbianas en reactores y a campo; desarrollar, testear y evaluar innovaciones biotecnológicas como biosensores para monitorear la biorremediación *in situ*, y explorar la inoculación para la biorremediación en sistemas contenidos y no contenidos.

Se podría concluir que las necesidades de investigación se basan en conocer cómo la biorremediación actúa *in situ* y sus efectos a largo plazo, así como si la misma es conveniente en términos de costos y efectiva en cuanto a sus resultados para cada caso en particular.

La biotecnología moderna puede ayudar a resolver problemas ambientales a través de la biorremediación, mediante el empleo de organismos genéticamente modificados (especialmente plantas y bacterias), pero ello requiere de la consideración de normas que regulen su introducción en el ambiente. Cabe añadir que el mercado para biorremediación, empleando organismos genéticamente modificados, se ha erosionado a causa de la controversia acerca de esta tecnología.

Con los microorganismos modificados genéticamente se han realizado un número significativo de experimentos piloto de liberaciones en condiciones confinadas y controladas para la realización de pruebas de biorremediación. Al respecto, se han desarrollado tecnologías de contención genética y biológica (coloquialmente conocidas como “bacterias suicidas”) para impedir la transferencia de material genético (Sebito, 2004).

4. Casos en Argentina

A continuación se detallan los resultados de un relevamiento preliminar realizado en Argentina. Se trata de laboratorios de investigación que llevan adelante esfuerzos en I+D así como de empresas privadas que brindan servicios empleando esta técnica. Con relación al sector que engloba gran parte de la demanda cabe indicar que en Argentina se calcula que la industria química, petroquímica y del petróleo generan el 29,9% de los residuos peligrosos totales y en particular la industria petrolera es la mayor generadora de residuos semisólidos (Véscovo, 1996).

4.1 Laboratorio de Biodegradación Microbiológica de Hidrocarburos, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata

En el año 1982 surge un grupo de investigación en la Universidad de La Plata cuyo objetivo fue la evaluación y resolución de los problemas de contaminación con hidrocarburos. Con el paso del tiempo, el acercamiento con las empresas privadas permitió al grupo aproximarse a problemas reales así como también conseguir financiamiento la formación de personal, la adquisición de materiales y equipamiento.

En el año 1992 el grupo es reconocido por la Universidad Nacional de La Plata como Laboratorio de Biodegradación Microbiológica de Hidrocarburos siendo uno de los pioneros en el estudio y aplicación de la biorremediación en Argentina.

Las actividades que se detallan a continuación culminaron con la implementación de tecnologías ensayadas por primera vez en el país y que fueron adoptadas por el sector industrial en el tratamiento de residuos industriales y recuperación de sitios contaminados con hidrocarburos.

- 1- A Petroquímica General Mosconi (1985-1988): Estudios de factibilidad de tratamiento de diversos residuos que culminaron con la aplicación industrial de una técnica biológica (*landfarming*) de tratamiento implementada por primera vez en el país.
- 2- A IPAKO SA (1989-1996): Desarrollo de una metodología alternativa al proceso de incineración para el tratamiento y disposición de residuos peligrosos con la instalación de una planta piloto de tratamiento en dicha industria.
- 3- A KICSA SA (1992-1994): Se planificó e implementó por primera vez en el país un proceso de biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos.
- 4- A YPF Refinería La Plata (2001-en adelante): Se estudia la factibilidad de implementar procesos biológicos para el tratamiento de distintos residuos.

Además el laboratorio brinda asesoramiento sobre problemas de contaminación con hidrocarburos y tratamiento de residuos de industrias petroquímicas a las municipalidades de Magdalena, Luján y La Plata (Provincia de Buenos Aires).

4.2 Laboratorio de Microbiología Ambiental – Centro Nacional Patagónico (CENPAT) en conjunto con el Laboratorio PROIMI – CONICET

El Laboratorio de Microbiología Ambiental del CENPAT, creado en el año 2004, se estudia la biodegradación de hidrocarburos aromáticos en sedimentos costeros de Patagonia con el objetivo es desarrollar protocolos de biorremediación específicos para la región.

Básicamente, en los últimos años se han concentrado en identificar poblaciones bacterianas nativas de estos sedimentos que presentan la capacidad de degradar hidrocarburos. Este objetivo involucra mayormente a dos laboratorios diferentes, el del CENPAT y el laboratorio de PROIMI-CONICET, que utilizan estrategias complementarias.

En el laboratorio del CENPAT se han identificado 21 tipos de genes con cierta capacidad de biodegradar hidrocarburos y solamente 3 de ellos se conocían con anterioridad, lo cual pone en evidencia la necesidad de investigación en el campo.

A partir del 2010 ha comenzado a estudiar la biodegradación de los compuestos a través de la generación de una biblioteca metagenómica mediante sedimentos de la región para identificar clusters de genes degradativos de interés. Otro proyecto es el estudio de la dinámica de las poblaciones bacterianas en condiciones controladas de laboratorio, por ejemplo, ante un derrame de petróleo crudo lo cual permitirá identificar las poblaciones claves para el proceso degradativo.

Destacan que aún existen demasiados interrogantes con respecto a la biorremediación intrínseca (bioestimulación) de los hidrocarburos y por tal motivo, todavía desde el laboratorio no se han realizado trabajos al respecto.

4.3 Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco

La Universidad San Juan Bosco de la Patagonia argentina ha caracterizado sitios para la aplicación de la técnica de biorremediación. En algunos casos ha concluido, que en suelos con deficiencia de nitrógeno se produce una biorremediación menos eficaz con una disminución en la tasa de mineralización, en la producción de biomasa y en la eliminación de hidrocarburos, observando que la fijación de nitrógeno puede ser el proceso responsable de suministrar este nutriente a los microorganismos del suelo.

Por tanto, continúan con los trabajos en esta dirección y realizan estudios de mayor profundidad acerca de microorganismos fijadores de nitrógeno con capacidad de degradar hidrocarburos ya que estos serían de gran utilidad en futuros procesos de biorremediación en estas condiciones.

4.4 Universidad Nacional de Cuyo

Las premisas fundamentales de la investigación en procesos de biorremediación se basa en el establecimiento de convenios de cooperación con la industria petrolera, en particular con la Refinería de YPF presente en Luján de Cuyo.

Asimismo, buscan establecer programas de cooperación con centros que posean avances en la tecnología de modo tal de fortalecer la investigación, tal como el Helmholtz Centre for Environmental Research (UFZ) y la Universidad de LEIPZIG, ambos de Alemania. Estos convenios de cooperación se basan en el estudio intensivo de la remediación de suelos y la generación de reactores para el tratamiento de residuos sólidos en suelos. También existen acuerdos con la Universidad de Cantabria de España para la aplicación de micorremediación para la degradación de suelos contaminados con hidrocarburos.

Otra de las premisas es el establecimiento de acuerdos de cooperación internos de la universidad, entre los laboratorios y sus facultades, por ejemplo la de Ingeniería.

4.5 REPSOL-YPF

En el Yacimiento Los Perales, provincia de Santa Cruz y en colaboración con la Universidad Nacional de Cuyo, se realizan trabajos de remediación de suelos a través de biopilas, ya que permite el trabajo en el sitio evitando el traslado del material contaminado con los consecuentes riesgos, además se genera un menor impacto visual, motivo por el cual es más aceptado por las poblaciones cercanas. Asimismo, por el transporte de los residuos para su posterior disposición en la provincia de Santa Cruz se debe pagar una tasa. Por tal motivo, se buscan metodología para el trabajo *in situ*.

La técnica de biopilas aireadas por remoción mecánica, basada en la estimulación de microbios autóctonos, permite degradar un gran número de moléculas orgánicas y ha demostrado ser altamente competitiva en biodegradación de hidrocarburos en suelo en zonas templadas y frías. Las grandes ventajas que ofrece esta técnica frente a otras alternativas son: alta tasa de degradación, amplio rango de aplicabilidad, destrucción de contaminantes, no destrucción del suelo, no incremento de volumen para el caso de suelos moderadamente contaminados, bajo costo en términos comparativos. Lo más destacable de la técnica es que ofrece la posibilidad de recuperar el suelo contaminado.

Esta empresa en particular realiza contrataciones de servicios, mediante licitación a empresas que trabajan en la zona. En la actualidad se encuentran trabajando con la empresa Oil m&s. Además cuentan con la colaboración de la Universidad San Juan Bosco para la caracterización geológica e hidrológica de los suelos y sus contaminantes.

4.6 Oil m&s⁴

Es una compañía creada en el año 2001 para brindar servicios de operación y de gestión a operadores de hidrocarburos, y que desde el 2005 también participa en el negocio de exploración y producción de hidrocarburos, tanto en Argentina como en Brasil.

Oil m&s realiza a través de su grupo interdisciplinario de profesionales y técnicos especializados en la temática ambiental: estudios de hidrogeología y remediación de acuíferos, remediación de suelos, tratamiento de fondo de tanques y tratamiento de residuos petroleros.

Esta empresa ha logrado poseer en su cartera de clientes a empresas de exploración y producción de hidrocarburos que operan en la región sur de Argentina, brindando servicios según sus necesidades. Pueden mencionarse a YPF S.A., Pan American Energy LLC, Apache Energía Argentina SRL, Oxy (Occidental Argentina Exploration & Production Inc), Exxon Movil, entre otras.

La empresa realiza operaciones en distintas provincias: San Juan (Jachal), Mendoza (Malargüe), Neuquén (Sierra Barrosa, El Portón, Loma La Lata, Plaza Huinca), Río Negro (San Antonio Oeste), Chubut (Valle Hermoso y Pampa María Santísima) y Santa Cruz (Cañadón Seco, Koluel Kaike, Meseta Sirven y Las Heras).

Oil m&s S.A. cuenta con un laboratorio con equipamiento de última generación que fue inaugurado en Noviembre de 2006, situado en la localidad de Cañadón Seco, Provincia de Santa Cruz. De tal forma la empresa realiza la totalidad de los estudios y análisis sin tener que depender de análisis realizados en laboratorios externos.

El laboratorio central posee un convenio con la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, que involucra investigación sobre técnicas y desarrollo de nuevas metodologías. Además cuentan con la posibilidad de realizar controles de inter-laboratorios entre todas sus sedes, para validar los métodos de análisis.

4.7 Solbio S.A.

SolBio S.A., constituida en 2006, es una empresa de investigación, desarrollo y provisión de soluciones tecnológicas para la biorremediación de aguas y suelos contaminados, y para el biotratamiento de residuos orgánicos gaseosos, líquidos y sólidos agropecuarios, industriales y urbanos, utilizando bioaugmentación y bioestimulación, evitando la emisión de gases contaminantes y transformando los sólidos en biocompost.

Solbio S. A. continúa la trayectoria de Solbio - Soluciones Biológicas de los Tuxla S.A. de C.V. de México. Sus capitales son 100% nacionales, siendo sólo tres los accionistas de la empresa. La vinculación con Solbio México y Chile es a través de su vicepresidente, que cumple funciones de director técnico en las tres sucursales, siendo sólo accionista en Argentina.

Se instalaron en el país con el objeto de aplicar el bagaje técnico adquirido a lo largo de su experiencia en México, Colombia y Cuba. La empresa continúa su trabajo en México así como en Chile, los únicos sitios donde posee filiales⁵.

La única vinculación que existe entre las distintas filiales es de asesoramiento técnico por casos particulares de estudio.

⁴ <http://www.oilms.com.ar>

⁵ Sus respectivos sitios web son: www.solbio.com.mx / www.solbiochile.cl

Utilizan distintas metodologías para la remediación microbiana *in situ*, tales como bioaumentación (adición de bacterias adaptadas selectivamente sin reemplazar a las originarias, bioestimulación (adición de nutrientes u otros sustratos) y compostaje (Mezcla con enmiendas orgánicas bajo condiciones controladas de humedad y aireación) con bioaumentación.

Los productos formulados por SolBio para cada situación en particular son específicos y están integrados por microorganismos, micronutrientes, macronutrientes, buffers y en algunos casos vitaminas y otros elementos.

Los microorganismos utilizados, certificados como clase A1 ante la American Type Culture Collection (A.T.C.C.) y la EPA, son de libre disponibilidad, no contaminantes, no patógenos ni oportunistas, elaborados en los laboratorios más importantes del mundo, no representando riesgo alguno para el hombre, la flora o la fauna.

La serie de productos secos contienen, además de macronutrientes y sustrato, una mezcla de micronutrientes para el crecimiento microbiano para las diversas condiciones de su utilización.

Los productos se producen en un laboratorio de terceros, siendo Solbio el principal cliente del mismo. Existen sólo dos laboratorios en Argentina que brindan insumos para la elaboración de productos en base a bacterias y enzimas. Uno trabaja con productos importados mientras que el proveedor de Solbio utiliza materiales nacionales. El laboratorio cuenta con dos biólogos quienes trabajan en estrecha vinculación con la empresa. Los productos obtenidos son específicos y de acción dirigida, los mismos se comercializan junto con el servicio de aplicación. No existen sistemas de distribución especiales, simplemente ofrecen vía web el paquete de productos y servicios.

Se solicitan al laboratorio los desarrollos de I+D en función a las necesidades propias de cada lugar a remediar, enzimas y bacterias necesarias. La relación con el lleva más de 30 años de trabajo, con el cual existe un contrato tácito de confidencialidad.

Los fondos para el financiamiento de los procesos de desarrollo son privados y no se involucran patentes.

Entre sus principales clientes se encuentran municipios, empresas agroalimentarias, petroleras, establecimientos agropecuarios, empresas de transporte; barrios privados, etc.

La empresa no cuenta con personal en relación de dependencia. Contrata ingenieros químicos y/o agrónomos en función al lugar donde se lleve a cabo el saneamiento. La problemática surge en algunos casos particulares en los cuales los ingenieros químicos provocan una “deformación de criterios” al carecer en algunos casos de una formación biológica. Existe una gran escasez de profesionales formados en las ciencias biológicas para contratar.

En lo que respecta a la articulación con otros organismos de investigación, Solbio tiene convenios con el INTA (para la utilización de biocompost en predios agrícolas y/o lecheros de la provincia de Buenos Aires, investigación que quedó paralizada por problemas coyunturales de la economía del país), Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, Universidades, empresas demandantes.

Además reciben colaboración técnica por parte de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UBA en el análisis, seguimiento y corrección de ensayos, existiendo con ellos una relación de hecho.

La aplicación de la biorremediación responde a cuestiones regulatorias, voluntarias, aprovechamiento de residuos sólidos.

En lo que respecta a la competencia, no identifican competidores directos, sólo hace varios años identificaron un vendedor de enzimas para el tratamiento de las grasas en tuberías urbanas.

4.8 SoilKeeper S.A.

Soil Keeper S.A. es una empresa de capitales nacionales orientada a la remediación de suelos y aguas contaminados, contención de derrames y respuesta primaria por incidentes o accidentes en el transporte terrestre de productos químicos peligrosos. Suministra productos y servicios a la industria petrolera y petroquímica, generando la respuesta necesaria para cada evento en especial. Desde el año 1993 realiza acciones vinculadas a la preservación del ambiente en Argentina habiendo obtenido habilitaciones necesarias para operar en las provincias de la Argentina de acuerdo a los requerimientos de cada jurisdicción: Buenos Aires, Catamarca, Chaco, Chubut, Corrientes, Córdoba, Entre Ríos, Formosa, Jujuy, La Pampa, La Rioja, Misiones, Neuquén, Río Negro, Salta, San Luis, Santa Cruz, Santa Fe, Santiago del Estero, Tierra del Fuego, Tucumán.

Entre sus clientes se destacan: Repsol YPF, Esso Petrolera Arg, Oleoductos del Valle SA (OLDELVAL), Transportadora de Gas del Sur (TGS), Petroken, Total Austral SA, Petrobrás SA, Petrolera Capital Transp., Petroquímica Cuyo Saic, Ferrylneas, Carboclor, Boston Seguros, Federación Patronal, Chenyi, Embotelladora Del Atlántico, Intergeo, Mercantil Andina, La Segunda Coop. Ltda. Seg. Grale, Epen Barkley International Seg., Aon Risk Management, Provincia Seguros, San Cristóbal, Transportes Menconi Orlando Dionisio, Fox Petrol S.A.

Sus esfuerzos de investigación responden primordialmente a las respuestas de las empresas a los marcos regulatorios de cada sitio específico.

En su proceso productivo utilizan enzimas y microorganismos para procesos *in situ* y *ex situ* utilizando principalmente técnicas como bioestimulación y *land farming* sin realizar manipulaciones genéticas en sus insumos. No realizan investigación vinculada a la biorremediación, sino que basan sus procesos de I+d en bibliografía especializada generada tanto en el país como en el exterior. Los fondos provienen de las partes involucradas, siendo en la mayor cantidad de casos privados. No existen convenios de desarrollo ni transferencia de la tecnología, ni patentes involucradas.

5. Casos en el ámbito internacional

En el ámbito internacional se presentan cuatro casos en los que se ha aplicado la biorremediación. Fueron seleccionados por poseer distintos tipos de vinculación entre la empresa y sistema científico (Pavitt, 1984).

El primero de ellos es el de una de las más importantes petroleras de América Latina que cedió un predio al gobierno de su país y ante la necesidad de entregarlo en condiciones propicias para su ulterior uso como parque de recreación, recurrió a través de licitaciones, a distintos organismos públicos que bajo la supervisión de la Secretaría de Ambiente han procedido a la limpieza del lugar. Sería de un caso “dominado por los proveedores”, donde la innovación proviene del proveedor y el motivo está asociado a reducción de costos.

Luego se ha incluido el estudio de una empresa de los EEUU cuyos productos, elaborados en base a esfuerzos propios de investigación, son recomendados por la Agencia de Protección Ambiental para su aplicación en sitios contaminados por hidrocarburos. Se trataría de “oferentes especializados”, categoría que incluye a empresas de menor tamaño que ofrece productos altamente especializados, existiendo una estrecha relación entre oferentes y usuarios.

En tercer lugar, se describe un *spin off*⁶ perteneciente a un grupo empresarial español, surgido de un emprendimiento iniciado en una universidad española. Sería un caso basado en la ciencia, donde se producen bienes tecnológicos de frontera utilizando información tanto interna como externa.

El último ejemplo corresponde a una empresa que brinda servicios de biorremediación en Dinamarca y se destaca por formar parte de la primera simbiosis industrial/ambiental a nivel internacional. Dicho cluster se ubica en la ciudad de Kalundborg donde cada uno de sus integrantes cede sus residuos a empresas que se dedican a su reciclaje de forma tal que los mismos puedan ser devueltos al ambiente sin resultar dañinas. Serían oferentes especializados, es decir, empresas especializadas en una producción asociada a procesos continuos siendo su principal impulsor el departamento de I+D.

5.1 Petróleos de México (PEMEX) - Refinería 18 de Marzo

Entre 1991 y 2007, PEMEX Refinación realizó diversas acciones relativas al desmantelamiento y limpieza de la ex refinería 18 de Marzo.

La superficie total del predio norte de la Ex-refinería 18 de Marzo comprende 93 hectáreas donde PEMEX se comprometió a realizar acciones de remediación ambiental y sanear totalmente el predio.

Mediante contrato de donación de fecha 22 de mayo de 2007, Petróleos Mexicanos transmitió a título gratuito, la propiedad de 55 hectáreas a favor del Gobierno Federal para la construcción del Parque Ecológico del Bicentenario.

A partir de septiembre de 2007 a solicitud de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), se iniciaron los trabajos de caracterización complementaria en los terrenos de la ex refinería, con los aportes de las siguientes instituciones: Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), Universidad Autónoma de Coahuila (UADEC), Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV), Instituto Tecnológico de Ciudad Madero (ICTM), Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca (ITAO), Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del IPN (ESIQIE), Colegio de Postgraduados (COLPOS) y Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Sin embargo, no fue PEMEX quien realizó directamente los trabajos de saneamiento de la zona, sino que a través de licitaciones se seleccionaron los organismos encargados de la I+D, en las cuales los de origen mexicano tuvieron prioridad sobre los extranjeros, y mediante convenios se han realizado las vinculaciones entre la empresa petrolera y los ganadores de la licitación.

Las etapas del proceso de indican a continuación.

En 2007, PEMEX transmitió a título gratuito la propiedad de 55 hectáreas en favor del Gobierno Federal y se comprometió a realizar acciones de remediación ambiental para que una vez concluidas se construyera un parque ecológico en beneficio de los habitantes del Distrito Federal.

Ese mismo año, se inició la remediación de la etapa 1 a cargo de la Universidad Autónoma de Puebla y el ITAO, aplicando la técnica de biorremediación *in situ* en celdas de tratamiento.

⁶ Spin-off es un término que expresa la idea de la creación de nuevas empresas en el seno de otras empresas u organizaciones ya existentes, sean públicas o privadas, que actúan de incubadoras. Con el tiempo acaban adquiriendo independencia jurídica, técnica y comercial. Conocida también como Empresa de Base Tecnológica, suele estar ligada a la universidad y contribuir a la transferencia de hallazgos científicos desde esta al sector social en forma de productos innovadores.

En 2008 comienza el muestreo final comprobatorio, con presencia de Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). Ese mismo año, después del muestreo final comprobatorio, la SEMARNAT otorgó la resolución de conclusión del Programa de Remediación.

Como parte de la etapa 2 los niveles de limpieza fueron establecidos de manera conjunta por la SEMARNAT y la Comisión Federal para la Prevención de Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), dependiente de la Secretaría de Salud.

La remediación del predio fue realizada por especialistas de instituciones académicas que en su perfil educativo contaba con la especialidad en Ingeniería Ambiental o equivalente. En esta etapa del proceso participaron el ITAO, la Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR), la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, la UNAM, el Instituto Politécnico Nacional, el Colegio de Postgraduados y el Instituto Mexicano del Petróleo.

Para el caso del saneamiento del agua subterránea somera, la Comisión Nacional del Agua autorizó los niveles de limpieza, así como las técnicas de tratamiento (aireación y absorción con carbón activado). El tratamiento y reinyección del agua son realizadas por el Instituto Politécnico Nacional.

En cuanto a las técnicas aplicadas para la remediación, cabe ante todo mencionar que según lo establecido en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de México (LPGIR), la remediación es el conjunto de tecnologías a las que se someten los sitios contaminados, para controlar o contener los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud humana y el ambiente o prevenir su dispersión sin modificarlo.

Una vez realizada la caracterización del sitio, se procedió a definir el sistema de remediación con la finalidad de alcanzar los niveles de limpieza establecidos en la NOM-138 o a través de evaluaciones de riesgo a la salud humana.

Las tecnologías de remediación se establecieron sobre la base de la caracterización del subsuelo y en la evaluación de protección a la salud humana, empleándose adición de nutrientes y aireación, biopilas⁷, extracción de vapores y bioventeo (*bioventing*)⁸, burbujeo (*air sparging*)⁹.

5.2 International Environmental Products (IEP)

IEP fue fundada en el 2001 y en sus comienzos se dedicó a la elaboración de productos que obtuvieron las aprobaciones del gobierno de Estados Unidos a través de la Agencia de Protección Ambiental, lo cual les permitió ganar cierto reconocimiento.

Así por ejemplo, los productos S-200, probados y recomendados por la EPA, aceleran la acción de los microorganismos endógenos que remedian la polución de hidrocarburos. Se trata de un fertilizante oleofílico que es sólo accesible para los organismos que transforman a los hidrocarburos en agua y dióxido de carbono¹⁰. Estos productos han sido efectivos, tanto en lo ambiental como desde el punto de vista económico, en programas de reducción de

⁷ Las biopilas se airean de manera pasiva o activa y se adicionan nutrientes en caso de requerirlo (nitrógeno, fósforo, potasio, etc.), todo lo cual servirá para incrementar la degradación de los contaminantes.

⁸ Proceso basado en la aireación del suelo para estimular la actividad biológica y mejorar el proceso de degradación de los hidrocarburos presentes en la zona vadosa.

⁹ Esta técnica de remediación consiste en la perforación a través de los cuales se inyecta aire en el agua subterránea, para reabsorber el benceno y arrastrarlo hacia los pozos de extracción de vapores, donde es capturado y posteriormente tratado en equipos especiales evitando la emisión del contaminante al aire.

¹⁰ Que el agente biorremediador sea oleofílico implica que se adhiere a los contaminantes y permanece sobre los mismos sin la adición de bacterias.

contaminación por hidrocarburos. Su funcionalidad fue demostrada en la limpieza del derrame del Prestige en España en 2002.

La empresa posee una patente en los Estados Unidos. (4460692; 5171475) y no recibe ningún tipo de asistencia por parte del gobierno, todos los esfuerzos de investigación provienen de capitales privados.

El producto ha recibido, además, acreditaciones del Departamento de Protección Ambiental de los Estados de Nueva York, Nueva Jersey, Florida y Pensilvania de los EEUU.

Los principales clientes son compañías ambientales que proveen servicios de limpieza de contaminación por derrames o filtraciones; compañías petroleras; transportistas de petróleo; dueños de embarcaciones; marinas; estaciones de servicios; estaciones de trenes y grupos de respuesta a derrames de combustibles.

La política de satisfacción al cliente, hecha efectiva mediante en convenios entre IEP y sus usuarios, implica que si el producto es usado de manera correcta y no se obtienen los resultados esperado, la empresa se compromete a devolver el dinero de la compra.

El producto también se comercializa en la Unión Europea a través de un distribuidor ubicado en el Reino Unido, Penguin Engineering Ltd. Dicho proveedor es la puerta de entrada para la comercialización del producto en varios países de la Unión Europa como por ejemplo, los países escandinavos. En este caso, la autorización para el empleo de la tecnología se concreta con la concesión de licencias.

5.3 Microgenambiental S.L.

La transferencia de conocimiento desde la universidad a la empresa constituye uno de los ejes que articulan la política Europea de innovación y a través de ella vincula a los programas de innovación de los países miembros de la UE.

Microgenambiental S.L. es una compañía *spin-off* perteneciente al grupo empresarial Biot, grupo líder en biotecnología industrial de los microorganismos. Entre su accionariado se encuentran otras empresas del grupo así como nuevos socios de la provincia y de la Universidad de Almería.

Microgenambiental SL se constituye en Almería, con participación accionaria de profesores de la Universidad de Almería, concretamente del departamento de Marketing e Investigación de Mercado. Esta empresa pretende aportar soluciones biotecnológicas microbianas para el sector agroalimentario, especialmente relevante en la economía de esta provincia y también al sector ambiental.

Para ello, desarrolla tecnologías microbianas para la biorremediación de aguas y suelos contaminados con pesticidas, hidrocarburos y metales pesados. Entre sus productos se encuentran biorreactores para la descontaminación de aguas a través de microalgas, producción industrial de Spirulina en reactores cerrados, filtros sumergidos de membrana y cepas microbianas para la producción de bioplásticos biodegradables.

Se incorporan tecnologías protegidas por patentes, que son aportadas por los socios de la compañía, así como otros resultados de la transferencia tecnológica desde universidades y organismos públicos de investigación. También se utiliza la genómica, proteómica, bioinformática y biología molecular.

Microgenambiental S.L. cuenta con un equipo multidisciplinario de expertos y, a través del desarrollo de proyectos de investigación, desarrollo e innovación y de la participación en acciones de transferencia tecnológica, tiene por objetivo convertirse en un aliado estratégico para cualquier empresa. Este equipo le da la capacidad técnica necesaria para llevar a cabo proyectos

de I+D+i de forma independiente, así como para participar en proyectos liderados por otras empresas o instituciones que requieran su aporte.

Los servicios que presta se basan en la consultoría avanzada en microbiología ambiental, en el desarrollo de proyectos de I + D + i propios, en cooperación y por subcontratación y en estudios de valorización y aprovechamiento de residuos urbanos, agrícolas, ganaderos e industriales.

De los productos y procesos desarrollados por Microgenambiental se destacan la depuración de suelos y aguas contaminadas urbanas e industriales mediante sistemas de biorreactores de membrana sumergida y biorreactores de microalgas, la eliminación microbiana de hidrocarburos, metales pesados y detergentes en ambientes contaminados y la desnitrificación biológica de suelos.

Este *spin-off* cuenta a su vez con varias alianzas con organismos tales como: la Asociación Española de Bioempresas¹¹, la Fundación Mediterránea¹², la Asociación Empresarial del Parque Tecnológico. Ciencias de la Salud¹³, la Corporación Tecnológica de Andalucía, la Corporación Tecnológica de Andalucía¹⁴, la Asociación Andaluza de Empresas de Base Tecnológica y Bioandalucía - Asociación Andaluza de Empresas Biotecnológicas.

- El grupo Biot

El grupo Biot lleva adelante distintas líneas de investigación y desarrollo entre las que se destacan las asociadas a biotecnología industrial (mejora y selección de cepas microbianas para procesos de biotransformación y bioproducción y biología sintética para el reciclado, descontaminación o generación de materiales) y la biotecnología ambiental (procesos de biodepuración y biorremediación de suelos, aguas, residuos y contaminantes).

Las actividades del Grupo Biot de I+D+i se realizan en el Parque Tecnológico de Ciencias de la Salud de Granada. Progresivamente al incrementarse las actividades de investigación y transferencia fueron alcanzaron logros significativos en las relaciones con los investigadores de la Universidad de Granada quienes comenzaron a formar parte del grupo. Ello introdujo una modificación en la estructura organizativa y forma jurídica del grupo empresarial, siendo creada la empresa de base tecnológica Biotgensystem S.L, una empresa consultora y de servicios en los ámbitos de la gestión de la I+D+i y del conocimiento.

Utilizando como matriz esta sociedad fue creada Biotmicrogen S.L, empresa innovadora de base tecnológica y spin-off universitaria, cuya finalidad es la de convertir en productos los resultados alcanzados y a su vez ampliar y diversificar sus líneas de negocio generando y transfiriendo nuevo conocimiento. Comienza así, una etapa clave de desarrollo, crecimiento y expansión comercial mediante la constitución de dos nuevas compañías: Energygen S.L y Microgenambiental S.L.

Con un “know-how” común en microbiología y la disponibilidad de tecnología de amplio espectro, apoyada en grupos de investigación tanto de universidades como de organismos públicos de investigación, la actividad inicial del grupo se ha diversificado a través de las

¹¹ Desde 1999, ASEBIO actúa como plataforma de encuentro del sector biotecnológico y representa los intereses de sus asociados ante las administraciones regionales, nacionales y europeas.

¹² Constituida como una fundación privada pretende facilitar el acercamiento entre la Universidad de Almería y las empresas y sociedad.

¹³ Tiene como fin fundamental promover el desarrollo tecnológico y las sinergias entre sus asociados.

¹⁴ Es una fundación privada promovida por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía para potenciar la colaboración entre el entorno científico y el productivo como forma de dar respuesta a las necesidades de innovación y desarrollo de la sociedad.

distintas empresas innovadoras de base tecnológica¹⁵ especializadas en su ámbito, con participación de diferentes socios estratégicos y alianzas corporativas con empresas de base tecnológica, industrias, empresas públicas, universidades y organismos públicos de investigación.

5.4 Bioteknisk Jordrens (actualmente Dsv Miljo A/S)

Bioteknisk Jordrens SOILREM fue creada en el año 1986 en Dinamarca como una Sociedad de Responsabilidad Limitada. En sus comienzos empleaba a tres personas y en la actualidad, cuenta con 60 puestos de trabajo. Sus principales accionistas son compañías activas en el procesamiento de hidrocarburos y su fundadora, Susanne Schiøtz Hansen.

La empresa fue concebida con el fin de remediar suelos contaminados, especialmente con combustibles, solventes orgánicos y metales pesados. Los combustibles se remueven del suelo a través de biorremediación mediante el aprovechamiento de las bacterias naturales del suelo, ya sea *in situ* o *ex situ* en las plantas de tratamiento de la empresa.

Posee dos plantas de tratamiento en Dinamarca: una localizada cerca de su oficina central en Kalundborg y una en Esbjerg. Una tercera planta fue recientemente inaugurada en Virkkala (Finlandia) en el marco de un acuerdo con Lohja Rudus Ympäristöteknologia¹⁶, con financiación parcial de la fundación UE-LIFE. Administra también una planta en Suecia que opera en base a contratos de arrendamiento con plantas municipales de tratamientos de residuos.

Desde su creación, Bioteknisk Jordrens SOILREM han tratado más de dos millones de toneladas de suelo para reducir su contaminación hasta los mínimos establecidos oficialmente por las autoridades de control ambiental danesas. Sus laboratorios trabajan en colaboración con investigadores de diferentes países para encontrar nuevas metodologías de remediación de suelos.

Sus principales clientes se encuentran en Dinamarca, Suecia, Noruega y Finlandia, e incluyen desde municipalidades hasta el Ministerio de Defensa danés.

Desde el 2000 se han captado más de la mitad del mercado en el área y su objetivo es convertirse en el “jugador dominante” de este sector en Europa del Norte.

Desde octubre del 2001 Bioteknisk Jordrens Soilrem A/S es una subsidiaria de DSV Miljo A/S la que, en 2006 adquiere la empresa RGS 90 A/S también dedicada a la limpieza de suelos contaminados y el reciclaje de residuos primarios.

DSV fue fundada en 1976 por diez transportistas independientes cuyo principal ingreso provenía de brindar servicios como contratistas. En 1985 se funda Miljø A/S como la primera compañía comercial ambiental. En 1999 sus actividades son divididas en dos: transporte y logística y ambiente, preparándose para la adquisición de una planta purificadora de suelos y firmar contratos de cooperación con empresas que brindaran servicios de limpieza. En 2001 DSV Miljø A/S adquiere una empresa de materias primas y la empresa de biorremediación de suelos Bioteknisk Jordrens A/S (Biotechnological Soil Re-mediation Ltd). En 2004 DSV vende DSV Miljø A/S al fideicomiso Triton and LMF Invest A/S (FIH/LD).

Esta empresa ha ejecutado tareas de remediación en más de 50 sitios en los países nórdicos, con la colaboración de alrededor de 300 técnicos, ingenieros, biólogos e investigadores que desarrollan tecnologías para transformando los residuos que reciben en insumos para ser

¹⁵ Microgenambiental, Biotgensystem, Biotmicrogen y Energygen.

¹⁶ Es una empresa dedicada a la construcción y en el negocio del reciclado cuya acción se concreta no sólo en Finlandia, sino también en los Países Bálticos y Rusia.

utilizados por otros sectores de la economía como la construcción, producción de energía o agricultura.

La recepción y el procesamiento del suelo contaminado es el objetivo principal y es determinante para asegurar la calidad del agua potable, a través de diferentes tecnologías de limpieza (biológicas, térmicas e *in situ*).

Su principal mercado se encuentra en Dinamarca y Suecia, pero también hay actividades de menor envergadura en Finlandia, Noruega y el Reino Unido.

El grupo emplea a más de 1.000 trabajadores en sus tres principales ramas de negocios: el transporte con servicios de logística en construcción y recolección de residuos, el reciclado y cuidado del suelo, que incluyen el tratamiento y limpieza de suelos (rama en expansión) y la obtención de materias primas y su acopio.

Entre los servicios que ofrecen se destacan la remediación de suelos contaminados por combustibles y químicos, el tratamiento biológico del suelo, *in* y *ex situ*, el tratamiento de aguas, los proyectos de reciclado y el tratamiento térmico. Para ello la empresa con centros de reciclado en el Reino Unido y los países nórdicos. En este último caso son: 32 en Dinamarca, 18 en Suecia, 2 en Noruega y 1 en Finlandia.

Las subsidiarias de esta empresa son RGS 90 A/S (Dinamarca), MB Enviroteknik AB y RGS 90 AB (Suecia), MB Envirotech Ltd. (Reino Unido), Nett Grinda AS (Noruega) y Soilrem Oy (Finlandia).

La empresa cuenta con proyectos de los cuales participan diversas organizaciones. De tal forma entre las empresas puede mencionarse a: VITO - Vlaamse Instelling Voor Technologisch Onder, John Vijgen Consultores, JM AB, Enichem SPA, Envisan N.V, Empresa para la Gestión de Residuos Industriales S.A, WRC PLC. En cuanto a los organismos públicos se incluye al Ministerio de Planeamiento Espacial, Vivienda y Ambiente de Dinamarca, el Instituto Nacional de Salud Pública y Ambiente, el Instituto Danés de Ciencias Agropecuarias y el Departamento de Ecología Terrestre en Dinamarca y el Instituto Federal Suizo de Tecnología (Zurci). Finalmente, las instituciones académicas y de investigación con las que se realizan diversas actividades son el Consejo Superior de Investigaciones Científicas en Dinamarca, el Instituto Nacional de Investigaciones Ambientales, Instituto de Agrobiotecnología en Tulln, la Universidad de Utrecht, la Agencia de Protección Ambiental danesa, la Academia Ziekenhuis Bij de la Universidad Van Amsterdam, la Universidad Católica de Louvain y la Universidad Técnica de Munich.

Entre los proyectos que se llevan adelante se encuentran los denominados LIBERACION y BIOSTIMUL. El primero busca el desarrollo de un soporte de sistema para las decisiones de manejo sustentable de suelos contaminados a través de la asociación de la asociación de biodisponibilidad, riesgo ecológico y polución de aguas subterráneas con contaminantes orgánicos y el otro se basa en la promoción del uso de organismos para la remediación de suelos contaminados para explotaciones a gran escala.

- **Kalundborg: simbiosis industrial**

Kalundborg es un pequeño puerto 120km al oeste de Copenhague en Dinamarca y es uno de los ejemplos más reconocidos de la denominada “simbiosis industrial” que hace referencia a una comunidad de negocios ubicada en una propiedad común cuyo objetivo es el desarrollo sustentable a través de la colaboración en la administración de los activos y del ambiente.

El establecimiento de dicha simbiosis fue un proceso lento pero de evolución constante que comenzó en 1961 como un proyecto para la administración del uso del agua ante la falta de provisión de la misma para una refinería. Para ello, la municipalidad de Kalundborg construyó

una tubería para extraer agua desde el lago Tissø, proyecto financiado por la refinería Statoil. La colaboración inicial entre el sector público y privado fomentaron nuevos esfuerzos.

El objetivo inicial detrás de la asociación entre las distintas empresas fue la reducción de costos a través del uso alternativo de los residuos para generar nuevos ingresos. Gradualmente, los empleados tanto del sector público como privado y aún los consumidores se dieron cuenta que además estaban generando beneficios ambientales a través de sus transacciones.

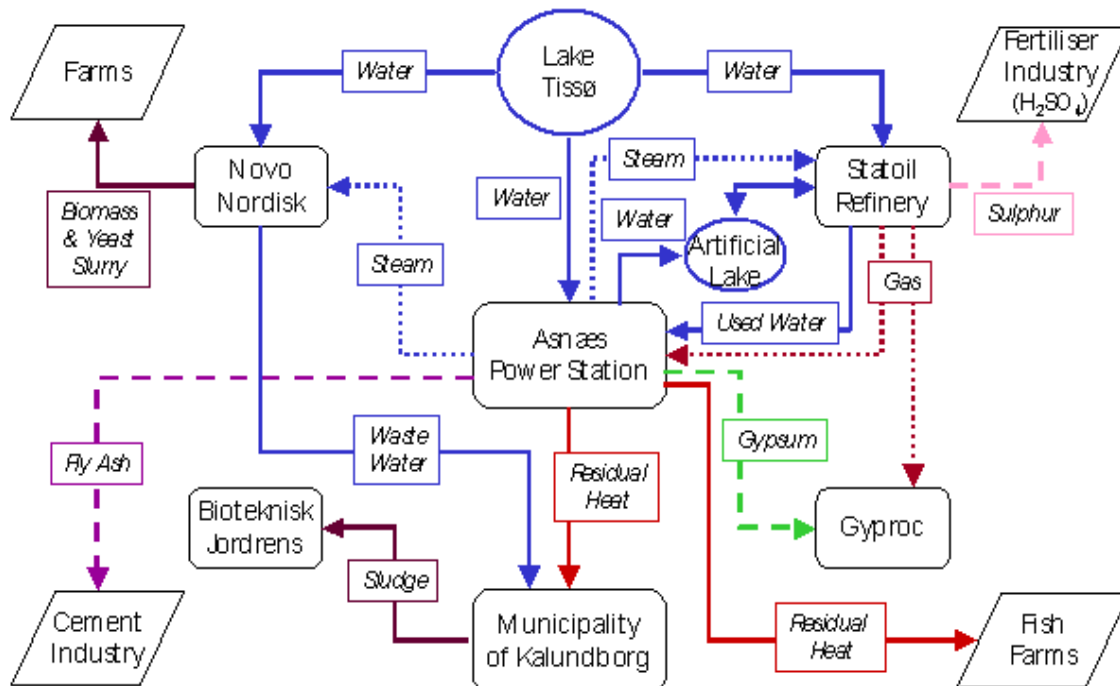


Gráfico 1 La simbiosis de Kalundborg

Fuente: ITAM, 2001

La simbiosis industrial de Kalundborg se construyó sobre la base de redes de cooperación entre seis plantas procesadoras, una planta de manejo de residuos y la Municipalidad de Kalundborg. Sus miembros son: Asnæs (la mayor planta eléctrica de generación de energía a través de carbón en Dinamarca), Statoil (una refinería de combustibles de Noruega), Novo Nordisk (empresa biotecnológica multinacional líder en la producción de insulina y enzimas industriales), Gyproc (una compañía sueca de producción de plástico para la industria de la construcción), la Municipalidad de Kalundborg (que recibe energía de Asnæs y la reutiliza para su sistema residencial de calefacción) y Bioteknisk Jordrens (una compañía de remediación de suelos). Esta última en 1999 utilizó el lodo de aguas residuales de la Municipalidad de Kalundborg como un nutriente para la limpieza de suelos contaminados.

Durante las últimas dos décadas, estos participantes desarrollaron espontáneamente una serie de intercambios bilaterales que también incluyen a otras compañías. Al inicio, no hubo una planificación de la red, simplemente la evolución de transacciones dieron sentido económico para los participantes en todos los aspectos.

Los aspectos a destacar de la simbiosis de Kalundborg incluyen el hecho que todos los contratos se negociaron de manera bilateral, y durante la negociación ambas partes acordaron que el mismo fuera económicamente atractivo. Además, cada participante asegura una minimización de los riesgos. Por otra parte, cada empresa evalúa sus acuerdos de manera independiente, lo cual implica que no existe un sistema ampliado de evaluación de desempeño.

6. Reflexiones finales

En la actualidad, la brecha entre los avances en las investigaciones en el laboratorio y posibles aplicaciones comerciales a campo continúa siendo uno de los mayores problemas para la difusión de esta técnica. Resulta interesante incluir un reciente comentario editorial de Nature Reviews Microbiology, 2010, en el que se indica que posiblemente genere alguna desilusión que los enfoques para remoción de hidrocarburos con microorganismos no hayan mejorado demasiado desde la limpieza del derrame del Exxon Valdez en el año 1989, y ello a pesar de la mayor comprensión sobre la microbiología de degradación de los hidrocarburos y de la manipulación de los caminos metabólicos bacterianos. Esto puede reflejar la dificultad en mejorar un sistema de por sí ya eficiente así como la necesidad de proseguir en las investigaciones respectivas.

Se ha trabajado en el desarrollo de tecnologías de contención genética y biológica (coloquialmente conocidas como “bacterias suicidas”) a través del desarrollo de organismos genéticamente modificados, con la finalidad de impedir la transferencia de material genético, lo cual posee relevancia ante la necesidad de implementar normas que regulen su liberación al ambiente. De todos modos, los aspectos regulatorios y la controversia originada en torno a la moderna biotecnología ha dificultado el desarrollo del mercado de la biorremediación basada en el empleo de organismos genéticamente modificados.

El breve análisis de análisis de la situación de la investigación en dicho campo en Argentina así como sobre las empresas que elaboran productos y brindan servicios de biorremediación indica que existe cierta experiencia en remediación mediante el empleo microorganismos y fitorremediación, estando el progreso de la innovación muy vinculado a la legislación por parte del Estado Nacional y de los estados provinciales.

Los casos estudiados en el ámbito internacional suponen diferentes formas organizacionales y vinculaciones entre la investigación y las aplicaciones, debiendo destacarse que en muchos países fueron las regulaciones las que guiaron el desarrollo de las actividades concernientes a la biorremediación. Se ha incluido el caso de una de las más importantes petroleras de América Latina que cuenta con laboratorios de investigación para la resolución de problemas de contaminación originados en su propia actividad, una empresa de los EEUU que realiza investigación y desarrollo de productos, recomendados por la Agencia de Protección Ambiental para su aplicación en sitios contaminados por hidrocarburos, un *spin off* perteneciente a un grupo empresarial español, surgido de un emprendimiento a partir de una universidad española y finalmente, una empresa que brinda servicios de biorremediación en Dinamarca y forma parte de la primera simbiosis industrial/ambiental a nivel internacional.

Referencias Bibliográficas

Adams Schroeder, R.; Domínguez Rodríguez, V. y García Hernández, L. (1999): "Potencial de la biorremediación de suelo y agua impactados por petróleo en el trópico mexicano." Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, México. Junio de 1999.

Argenbio. 2006. Programa Educativo Por Qué Biotecnología: "El Cuaderno de Por Qué Biotecnología No 36"

ASEBIO (2007): Informe de la Asociación Española de Bioempresas. Critical Comparative Study for EuropaBio.

Bakst, J. (1990): "Impact of present and future regulations on bioremediation" Journal of Industrial Microbiology, 8 (1991) 13-22

Borras Carnero, G. (2007): "Mareas Negras. Evolución y comportamiento de las manchas de petróleo" CETMAR <http://www.cetmar.org/documentacion/comportamiento.htm>

Biodyne "Algunas técnicas de biorremediación" http://www.biodyne-srq.com/tutbio_esp.html

U.S. Congress, Office of Technology Assessment, (1991): "Bioremediation for Marine Oil Spills" Background Paper, OTA-BP-O-70 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, May 1991).

Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (2009): Resumen del derecho ambiental en América del Norte http://www.cec.org/pubs_info_resources/law_treat_agree/summary_enviro_law/publication/index.cfm?varlan=espanol

Delgado Ramos, G. (2008): "Los límites del patrón energético actual. Combustibles fósiles y medio ambiente." <http://www.ecoportal.net/content/view/full/81621>

Domínguez, J. (2006): "El funcionamiento del sistema de protección ambiental de la Unión Europea: principios, instituciones, instrumentos" Estudios demográficos y urbanos, vol. 22, núm. 3 (66), pp. 689-715

Echarri Prim, L. (1998): "Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente", 1998 Ed. Teide.

EFB (1999): "Environmental Biotechnology" Briefing Paper 4, Second Edition, January 1999. Task Group on Public Perceptions of Biotechnology. European Federation of Biotechnology.

Frers, C. (2006): "Los problemas de la contaminación ambiental y humana" <http://www.ecoportal.net/content/view/full/62059>

Infante, C. (2001): "Biorrestauración de áreas impactadas por crudo por medio de intebios® y biorize®." INCI. [online]. oct. 2001, vol.26, no.10 [citado 22 Julio 2009], p.504-507. <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442001001000014&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0378-1844.

Jermy, A. (2010) Bioremediation: seek and destroy. Nature Reviews Microbiology 8, 465 (July 2010)

Jonsson, T. (2007); "Competitiveness of the European biotechnology industry" European Commission, Enterprise and Industry DG. Unit F5: Competitiveness in the Pharmaceuticals Industry and Biotechnology. Working Document of the Commission's biotechnology Strategy and Action Plan.

Lehmann, V. (1998), "Bioremediation: A solution for polluted soils in the South?" Biotechnology and Development Monitor, No. 34, p. 12-17.

Miliarium Aureum S.L. (2004): "Análisis económico de los daños del Prestige"

Biorremediación. Proyecto "Potencialidades de la biotecnología para el desarrollo industrial en 22 Argentina" CEUR-CONICET

Nature Reviews Microbiology (2010) 8, 462 (July 2010) Editorial - Oil spills: microorganisms to the rescue?

Ortín, P.; Salas, V.; Trujillo, M. y Vendrell, F. (2007): "El spin-off universitario en España como modelo de creación de empresas intensivas en tecnología." UAB- Departamento de Economía de la Empresa de la Universidad Autónoma de Barcelona y UZ Departamento de Economía y Dirección de Empresas de la Universidad de Zaragoza.

Pavitt, K., "Sectoral Pattern of Technical Change: Towards a Taxonomy and Theory", Research Policy, núm. 13, Reino Unido, 1984, pp. 343-373

Sasson, A. (2004): "Biotechnology: Current achievements and prospects social acceptance of biotechnology derived products. Industrial and environmental biotechnology" (Paris)

Saval Bohórquez, S. (1998): "La reparación del daño. Aspectos técnicos: remediación y restauración" en La responsabilidad jurídica en el daño ambiental. Primera Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN 968-36-6574-8

Saval, S. (1999): "Biorremediación, técnica que limpia suelos y acuíferos." Investigación y Desarrollo. Periodismo de Ciencia y Tecnología. México. Marzo 1999. <http://www.invdes.com.mx/antiores/Marzo1999/htm/biorremediacion.htm>

Sebito (2004): "Biotecnología y medio ambiente, preguntas y respuestas" Sociedad Española de Biotecnología

Solbio S. A. (2006): "Biorremediación utilizando microorganismos de acción dirigida" <http://www.solbio.com/Soluciones.asp?seccion=Hidrocarburos%20en%20Suelos>

Swannell, R. (1994): "Bioremediation of oil spills, a state of the art review" National Environment Technology Centre, AEA Technology (Abingdon)

Tastemain, C. (2002): "Des plantes transgéniques pour dépolluer les sols contaminés." Le Monde (Paris).

Timian, S. y Connolly, M. (1996): "The Regulation and Development of Bioremediation" Cornell University, United States.

Vargas Gomez Urrutia, M. (2002): "El derecho y las políticas ambientales en la Unión Europea".

Véscovo A. (1996). Desarrollo Sustentable: Un Buen Negocio para la Industria y el Medio Ambiente. Revista Petroquímica: Petróleo, Gas y Química. 119: 8990-8993.

Von Kayoyen, H. (2003): "Reportaje: Actualidad biotecnológica ante la contaminación por petróleo" <http://www.elinconfirmistadigital.com/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=370&mode=thread&order=0>

Zhu, X., Venosa, A., y Suidan M.(2004) "Literature review on the use of commercial bioremediation agents for cleanup of oil-contaminated estuarine environments" EPA/600/R-04/075 July 2004 National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency

Entrevistas vía correo electrónico con los representantes de las siguientes instituciones:

www.iepusa.com

www.biot.es

www.pemex.com.mx

www.oilms.com.ar

www.soilkeeper.com.ar

www.solbio.com.ar

www.ypf.com

www.uncu.edu.ar

www.unp.edu.ar

www.cenpat.edu.ar

www.biol.unlp.edu.ar/institutos.htm

www.cindefi.org.ar

ANEXO 1 - TIPOS DE BIORREMEDIACIÓN

1. Según el organismo empleado

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 a partir de bacterias que las producen naturalmente, o por bacterias modificadas genéticamente que son comercializadas por las empresas biotecnológicas.

La descontaminación se logra gracias a la capacidad natural de los organismos antes mencionados de transformar moléculas orgánicas en sustancias más pequeñas, que resultan menos tóxicas.

Remediación microbiana:

Se refiere al uso de microorganismos directamente en el foco de la contaminación. Estos microorganismos pueden existir en ese sitio o provenir de otros ecosistemas, en cuyo caso deben ser inoculados en el sitio contaminado. Cuando no es necesaria la inoculación de microorganismos, suelen administrarse nutrientes, como nitrógeno, con el fin de acelerar el proceso de degradación.

Hay bacterias y hongos que pueden degradar con relativa facilidad petróleo y sus derivados, benceno, tolueno, acetona, pesticidas, herbicidas, éteres, alcoholes simples, entre otros. También pueden degradar, aunque parcialmente, otros compuestos químicos como el arsénico, el selenio, o el cromo. 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. Estas características también pueden lograrse por ingeniería genética.

Fitorremediación:

La fitorremediación es el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados y 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, etc. Las ventajas que ofrece la fitorremediación frente a los procesos descritos anteriormente son el bajo costo y la rapidez con que pueden llevarse a cabo ciertos procesos degradativos.

Según la planta y el agente contaminante, la fitorremediación puede producirse por acumulación del contaminante en las partes aéreas de la planta; absorción, precipitación y concentración del contaminante en raíces; reducción de la movilidad del contaminante para impedir la contaminación de aguas subterráneas o del aire; desarrollo de bacterias y hongos que crecen en las raíces y degradan contaminantes (este es el caso de mayor utilización para la limpieza de contaminación mediante hidrocarburos); captación y modificación del contaminante para luego liberarlo a la atmósfera con la transpiración y captación y degradación del contaminante para originar compuestos menos tóxicos.

Cuadro 1: Tipos de fitorremediación

Tipo	Proceso Involucrado
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar metales en las partes que se cosechan (hojas y raíces)
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
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.
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos que degradan (bacterias y hongos)
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.

Fuente: www.porquebiotecnología.com.ar

Cuando se plantea realizar un esquema de fitorremediación se siembra el vegetal con capacidad de extraer el contaminante y luego de un período de tiempo determinado, se cosecha la biomasa y se procede a su disposición final, mediante un procedimiento que dependerá del contaminante en cuestión. De esta forma, se evita que los contaminantes acumulados en las plantas se transmitan a través de la cadena alimentaria a otros organismos.

La biotecnología aplicada a la fitorremediación es incipiente. Su aplicación a grandes escalas está confrontada con la evaluación de riesgos relativos a la transferencia de genes de las bacterias a plantas que luego serán consumidas por animales herbívoros que pueden tener la propiedad de acumular los metales o componentes tóxicos.

2. Según la técnica utilizada

Bioaumentación:

La bioaumentación es la práctica de incrementar la población de bacterias nativas de un ecosistema con la adición de bacterias adaptadas selectivamente, las cuales han sido desarrolladas para aumentar los rangos de reducción orgánica o proporcionar la habilidad de degradar compuestos previamente considerados como difíciles o no biodegradables.

Dicha técnica no sustituye la población de bacterias existentes, pero aumenta su habilidad de responder a ciertas situaciones o degradar compuestos de la corriente de desechos, dando como resultado una mejora del tratamiento.

La bioaumentación posibilita controlar la naturaleza de la biomasa, y garantiza que el tipo de microorganismos más idóneo esté presente en el suelo en cantidad suficiente para degradar en forma efectiva y eficiente los residuos contaminantes y reducirlos a sus componentes básicos (dióxido de carbono y agua).

Bioestimulación:

Esta técnica pretende modificar las condiciones del suelo (nutrientes, aireación, pH, humedad, entre otros) para que la actividad degradativa de interés pueda desarrollarse en condiciones óptimas. De tal forma puede lograrse, por ejemplo, que el crecimiento endógeno de los degradadores de petróleo sea estimulado por la adición de nutrientes u otros sustratos.

Inoculación:

Este método es una forma de tratamiento *in situ* (en el lugar) y se refiere a tratar el suelo contaminado sin removerlo (excavarlo). En este caso los minerales, nutrientes y a menudo los organismos son agregados dentro del piso a través de pozos, galerías de infiltración o otras formas, que facilitan que el proceso de degradación se realice en el sitio donde está la contaminación.

Land farming (cultivo de la tierra):

La técnica consiste básicamente en la adición de fertilizantes con nitrógeno y fósforo (en cantidades proporcionales al carbono presente en el vertido), la aireación periódica del suelo, y el mantenimiento de niveles de pH y humedad óptimos para la actividad microbiana. La mezcla periódica y la adición de más nutrientes (y/o organismos) permite asegurar homogeneidad mientras se airea la tierra. Esta práctica se conoce a menudo como cultivo de la tierra, pues los microorganismos son susceptibles de ser “cultivados”, para facilitar la degradación de material contaminado.

El tratamiento también se puede realizar *ex situ* (fuera del lugar) y se refiere a la excavación del lugar y el tratamiento de la tierra en un área apartada donde se agregan nutrientes minerales y microorganismos externos (si es el caso), seguido de una buena mezcla para asegurar la distribución a través de toda la tierra.

Biopila:

La técnica de biopila se basa en colocar la tierra dentro de celdas de tratamiento, usando una red de tubos perforados que permiten que el aire fresco se mueva a través del material, mediante el empleo de un compresor. Esta técnica requiere menos equipo y en la mayoría de casos un área menor de tratamiento.

Recientemente dentro de esta técnica se ha incorporado el compostaje, que consiste en mezclar los sedimentos contaminados con enmiendas orgánicas fácilmente degradables, y mantener la mezcla en montones o pilas bajo condiciones controladas de humedad y aireación. Durante la degradación aeróbica de esos materiales orgánicos, que va acompañada de la producción de calor (alcanzándose temperaturas de 45°C), se desarrollan comunidades microbianas capaces de degradar diversas sustancias tóxicas presentes en el suelo. Esta técnica ya se ha utilizado para la biorremediación de explosivos, clorofenoles, hidrocarburos y pesticidas (Sebito, 2004).

Biofiltro:

Los biofiltros suelen consistir en recipientes (biorreactores) en los que los microorganismos se mantienen confinados, en medio líquido o sobre soportes sólidos. Los microorganismos se seleccionan por su capacidad para degradar o retener de forma específica los compuestos que se pretende eliminar. El medio contaminado, acuoso o gaseoso, se hace pasar por el biofiltro, obteniéndose un efluente con menor contenido en el compuesto contaminante. Este efluente

puede someterse a nuevas rondas de filtrado hasta la eliminación del contaminante. También es posible diseñar biofiltros para la inmovilización de contaminantes que no se pueden degradar, como los metales (cadmio, mercurio, o uranio).

Como en los biofiltros los microorganismos se mantienen confinados y no se liberan al ambiente, puede constituir una estrategia para el empleo de organismos que han sido genéticamente modificados para mejorar sus propiedades degradativas.

3. Según el lugar de realización

La biorremediación se puede realizar *in situ* o *ex situ*.

En el tratamiento *in situ* (también conocido como biorremediación intrínseca) se puede estimular la actividad degradativa de los organismos que están presentes en el lugar contaminado a través del suministro de nutrientes (bioestimulación), o también es posible añadir organismos con propiedades específicas para degradar el contaminante (bioaumentación). Este tipo de tratamiento se realiza cuando los contaminantes han llegado, por ejemplo, a las napas freáticas.

En el tratamiento *ex situ*, el contaminante es transportado a una planta de procesamiento donde se trata en reactores con microorganismos degradadores especializados. Cuando el contaminante no se puede biodegradar, como sucede con los metales pesados, la estrategia utilizada es la bioacumulación, es decir, la acumulación del contaminante en el interior del organismo que posteriormente es retirado.

ANEXO 2 - EMPRESAS Y ORGANIZACIONES QUE APLICAN BIORREMEDIACIÓN

Cuadro 1 Organizaciones que aplican biorremediación en los EEUU

Organización	Tipo	Tecnología utilizada
Bio World Innovations, Environmental Solutions	Privado	Biorremediación in situ
Biodyne SRQ	Privado	Biorremediación in situ
BioEnviroTech	Privado	Biorremediación in situ
BioNutraTech Inc	Privado	Biorremediación in situ
B&S Research Inc	Privado	Biorremediación in situ
Biotreatment	Privado	Biorremediación in situ
Bio World Products	Privado	Biorremediación in situ / Biorremediación in situ /
Chickadee Remediation Co. Service Center	Privado	ex situ
Departamento de Salud y Ambiente de Kansas	Público	Biorremediación in situ
Envirogen Inc.	Privado	Biorremediación in situ
Environmental Restoration Services	Privado	Biorremediación in situ
Enviro-Zyme Inc.	Privado	Biorremediación in situ
Estado de Montana	Público	Fitorremediación
Forrester Environmental Technologies Corp. (FET Group)	Privado	Biorremediación in situ
Garner Environmental Services Inc.	Privado	Biorremediación in situ
Global Biosciences Inc.	Privado	Biorremediación in situ
Guardacostas Estados Unidos	Público	Biorremediación in situ
Industrial Wastewater Solution	Privado	Biorremediación in situ
International Environmental Products, LLC	Privado	Biorremediación in situ
International Environmental Technologies Inc.	Privado	Biorremediación in situ
Kiwa Biotech	Privado	Biorremediación in situ
Land and Sea Restoration LLC	Privado	Biorremediación in situ
Marine Systems	Privado	Biorremediación in situ
Matrix Environmental Technologies Inc.	Privado	Biorremediación in situ
Medina Agriculture Products Co. Inc.	Privado	Biorremediación in situ
Oil Spill Eater International Corporation	Privado	Biorremediación in situ
Oppenheimer Biotechnology Inc	Privado	Biorremediación in situ
Petrol Rem Inc.	Privado	Biorremediación in situ
Regenesis	Privado	Biorremediación in situ
Sarva Bio Remed, LLC	Privado	Biorremediación in situ
Shell Global Solutions (US) Inc.	Privado	Biorremediación in situ
South Carolina Department of Health and Environmental	Público	Biorremediación in situ / Biorremediación ex situ /
Universidad de Arizona - Dto. Ingeniería Civil	Público	in situ
Universidad Johns Hopkins y Escuela de Salud Publica Bloomberg	Público	Biorremediación ex situ
US EPA, Region 8 - National Risk Management Research Laboratory	Público	Bioventing Biorremediación in situ
Verde Inveronmental Inc	Privado	Biorremediación in situ
WMI International Inc	Privado	Biorremediación in situ

Cuadro 2 - Organizaciones que aplican biorremediación en Canadá

Organización	Tipo	Tecnología utilizada
ARC Geobac Group Inc	Privado	Biorremediación
Alberta Research Council	Público	Biorremediación
Biomaxx Systems Inc	Privado	Biosurfactantes
Biorem Technologies Inc.	Privado	Biorremediación ex situ
CBCL Limited	Privado	Biorremediación
Ciudad de Cobourg	Público	Biorremediación
Ciudad de Hamilton	Público	Biorremediación
Ciudad de Kitchener	Público	Oxidación fotocatalítica y extracción multifásica.
Ciudad de London	Público	Biorremediación
EarthAlive	Privado	Biorremediación
Horse Desarrollos Urbanos	Privado	Biorremediación
Integrated Explorations Inc	Privado	Biorremediación
Kam Biotechnology	Privado	Biorremediación
Sanexen Environmental Services	Privado	Tratamiento biológico en pilas

Cuadro 3 - Organizaciones que aplican biorremediación en España

Organización	Tipo	Tecnología utilizada
A&B Laboratorios en Biotecnología, SA	Privado	Biorremediación
Artbiochem, SL	Privado	Proyectos a futuro.
Bio Iliberis R&D	Privado	Hidrogenoclasta
Clean Bistec	Privado	Fitorremediación
D'enginy Biorem	Privado	Biorremediación in situ
Intiman	Privado	Biorremediación in situ
Microgen Ambiental	Privado	Biorremediación in situ
Fundación Antaza	Público	Bioremediación
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Público	Bioremediación
Asociación Española de Bioempresas (ASEBIO)	Público	Bioremediación

Cuadro 4 - Otras instituciones que emplean biorremediación en el mundo

Empresa	País	Producto	Sector
Artbiochem, SL	España		Biotecnología Biotecnología
Clean Bistec	España		Biotecnología ambiental
Biot	España		Energético, agroambiental, alimentario Energético, agroambiental, alimentario
Societe Ceca S.A.	Francia	INIPOL EAP 22	
A&B Laboratorios en Biotecnologia, SA	España		Químico Biológico
Intiman	España		Biotecnología
Bio Iliberis R&D	España		Biotecnología
D'enginy Biorem	España		
Hidrogecol	Colombia Panamá Ecuador		
Biorem Technologies Inc.	Canadá		
CBCL Limited	Canadá	no participan de investigaciones	
Sanexen Environmental Services	Canadá		
Kam Biotechnology	Canadá		
ARC Geobac Group Inc	Canadá		
EarthAlive	Canadá		
Integrated Explorations Inc	Canadá		
Biomaxx Systems Inc	Canadá		
Dekonta A.S.	República Checa		
Geneticmedizin Laboratorios	Alemania		
Also Biotech SRL	Italia		
Idrabel Italia SRL	Italia		
Integración Biotecnológica SA de CV	México		
Petróleos de México	México		Petrolero
Petrobrás	Brasil		Petrolero
Cascade Technologies Ltd	Escocia		
PDVSA	Venezuela		Petrolero
Siemens plc	Inglaterra		
Medical Research Council Technology	Inglaterra		

Organización	País
Bioremediation Group	
Fundación Antaza	España
2do Curso de Biotecnología y Petróleo	Venezuela
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	España
About Remediation	Canadá
Asociación Española de Bioempresas (ASEBIO)	España
Sociedad Mexicana de Biotecnología	México
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica	México
Cooperación Andina de Gerencia Social CINVESTAV 3C	Chile México
Tver Technical University	Rusia
Curso Taller Internacional de Biotecnología Ambiental - Biorremediación de ecosistemas afectados por hidrocarburos	Panamá
Alberta Research Council	Canadá
NRC Biotechnology Research Institute	Canadá
ISRIM - ISTITUTO SUPERIORE DI RICERCA E FORMAZIONE SUI MATER	Italia
ASEMBIO	Chile

ANEXO 3 - PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN RELEVADOS EN ARGENTINA

Institución	Proyecto
Laboratorio de Microbiología Ambiental – Centro Nacional Patagónico en conjunto con el Laboratorio PROIMI – CONICET.	Biodegradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) en sedimentos costeros de Patagonia. Extensión de la investigación a la biodegradación de hidrocarburos alifáticos.
Laboratorio de Bioprocesos – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Cuyo	Biología molecular para el estudio de poblaciones de hongos en cooperación con laboratorios de España.
Universidad Nacional del Chaco Austral	Desnitrificación autotrófica trabajando sobre el diseño de un reactor biológico de bio película (RBb) para el tratamiento de aguas subterráneas en la provincia de Chaco ante la ausencia de agua potable para la población.
CINDEFI	Biorremediación de hidrocarburos policíclicos aromáticos como eje central.
	Biorremediación de metales pesados con diferentes variantes que van desde la biodisolución de metales pesados utilizando bacterias azufre oxidantes desde materiales agotados/suelos/lodos contaminados hasta biosorción de metales pesados por algas.
Universidad Nacional de Tucumán – Facultad de Bioquímica / PROIMI	Proyecto Multidisciplinario: "Hongos Micorrízicos Arbusculares y Vesículo arbusculares y su Interacción con Microorganismos Rizosféricos Captadores de Fosfato en Pastizales de las Provincias Altoandina y Puneña. Microorganismos movilizadores de fósforo asociados a micorrizas de gramíneas de la puna. Biodegradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos marinos de la costa patagónica.
Universidad Nacional de San Martín – Escuela de Ciencia y Tecnología – Laboratorio de Análisis Ambientales	Remediación ambiental y tratamiento de efluentes y residuos
Universidad Nacional de Quilmas – Departamento de Ciencia y Tecnología	
Facultad de Farmacia y Bioquímica - UBA	Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando bacterias antárticas psicrotolerantes
UNAS, Repsol YPF Universidad Nacional de Cuyo	Experiencias de biorremediación de suelos por técnicas biológicas en la provincia de Santa Cruz
Instituto de ecología y ambiente humano, Consejo de investigación, Universidad Nacional de Salta	Germinación y supervivencia del pasto cubano en los suelos contaminados por hidrocarburos
Universidad de San Juan Bosco – Comodoro Rivadavia	Caracterización de un proceso de biorremediación de hidrocarburos en deficiencia de N en un suelo de la Patagonia Argentina
UNLP – UBA	La problemática analítica en el monitoreo de la

	biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos
Laboratorio de Biodegradación Microbiológica de Hidrocarburos – Facultad de Ciencias Exactas – UNLP	IPAKO KICSA YPF Gral. Mosconi