



# Informe sobre Base de Datos de Tecnologías de Reparación de Daño Ambiental

Proyecto de Bienes Públicos para la competitividad N° 12BPC2-13533, financiado por Corfo Innova con mandantes Superintendencia del Medio Ambiente y Servicio de Evaluación Ambiental

Propuesta Metodológica - Producto no Oficial

Santiago, diciembre de 2014

**GreenLabUC**  
Gestión y Política Ambiental  
DICTUC S.A.

Proyecto apoyado por  
**CORFO**  
sueña emprende crece



GreenLab UC

**Andrés Pica**

**andrespica@greenlabuc.cl,**

Pilar Lapuente

pilar.lapuente@greenlabuc.cl,

Carolina Soto

carolinasoto@greenlabuc.cl

Macarena Larraín

m.larrain@greenlabuc.cl

José Miguel Valdés

jmvaldes@greenlabuc.cl

Expertos Asociados

**Luis Abdón Cifuentes**

**lac@ing.puc.cl,**

Ariel Farías

Sandra Cortés

Cesar Sáez

Gonzalo Pizarro

Alejandra Vega

Nicolás Borchers

Camila Cabrera

## Tabla de Contenidos

<b>TABLA DE CONTENIDOS .....</b>	<b>III</b>
<b>1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO CORFO INNOVA.....</b>	<b>4</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>3. DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS.....</b>	<b>6</b>
3.1 DOCUMENTOS Y BASES DE DATOS QUE ENTREGARON INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE TECNOLOGÍAS DE REPARACIÓN .....	8
3.1.1 <i>Tecnologías de remediación, matriz de selección y guía de referencia (DOD Environmental Technology Transfer Committee, 1994).</i> .....	8
3.1.2 <i>Hoja de Ruta para la comprensión de Opciones Tecnológicas Innovadoras para la Investigación y Limpieza de terrenos baldíos (United States Environmental Protection Agency, 2001).</i> .....	10
3.1.3 <i>Manual de Tecnologías de Remediación de Sitios Contaminados (Fundación Chile, 2012)</i> .....	10
3.1.4 <i>Una visión general y análisis de las tecnologías de remediación de sitios (Khan, Husain, &amp; Hejazi, 2004)</i> .....	11
3.1.5 <i>Base de Datos CMDB</i> .....	12
3.1.6 <i>Base de Datos GAINS</i> .....	13
3.1.7 <i>Base de datos ACN.</i> .....	14
3.2 ESTRUCTURACIÓN DE LA BASE DE DATOS .....	15
<b>4. REFERENCIAS .....</b>	<b>18</b>

## 1. Antecedentes del Proyecto CORFO Innova

El presente Informe relativo a la elaboración de una base de datos de tecnologías de reparación de daño ambiental, es elaborado en el marco del proyecto de Bienes Públicos para la competitividad N° 12BPC2-13533, “Desarrollo de Bases Metodológicas para el proceso de toma de decisiones de los actores públicos y privados involucrados en la Reparación del Daño Ambiental causado”, financiado por INNOVA CORFO. En el proyecto participan el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) como entidad mandante, y GreenLab UC como desarrollador.

Este tipo de proyectos de CORFO consta de 3 etapas:

- ✓ **Desarrollo del Bien**, entendiendo que el “Bien” en este caso es una Metodología para la elaboración y seguimiento de Planes de Reparación del Daño Ambiental de conocimiento público
- ✓ **Transferencia del Bien**, que corresponde a la etapa de capacitación de la Metodología a los diferentes servicios y ministerios relacionados, para administrar y verificar su aplicación
- ✓ **Difusión del Bien**, que consiste en la propagación de la Metodología a los sujetos regulados que realizarán los Planes de Reparación del Daño Ambiental

Actualmente el presente proyecto se encuentra en la etapa 1: “Desarrollo del bien”, cuyo principal objetivo es estandarizar los procedimientos técnicos y administrativos en metodologías para la elaboración, verificación, aprobación y seguimiento de los Planes de Reparación del daño ambiental causado y entregar producto correspondiente a una base de datos con tecnologías de reparación.

## 2. Introducción

El presente informe está referido a la elaboración de la Base de Datos con Tecnologías de Reparación de Daño Ambiental sobre los componentes abióticos Suelo, Agua y Aire, cuando estos han sido sujeto de daño y se ha afectado a alguna propiedad básica química de estos. No se incluyen en este informe, ni en la base de datos asociada, técnicas de reparación de los componentes abióticos mencionados, cuando el daño producido sobre estos ha afectado alguna de sus propiedades físicas u otras propiedades no químicas, ya que la reparación de este tipo de alteraciones, se basa, más que en tecnologías aplicables a modo general, en técnicas sitio-específicas de reparación que involucran diversas acciones dependiendo de las características del daño.

Se presenta en este documento una descripción del contenido de los documentos y bases de datos revisados para la elaboración de la Base, y de la estructuración que se dio a ésta, la cual se basó en la información obtenida de las bases de datos y documentos revisados y en el criterio de los expertos en calidad y tratamiento de aguas, suelos y emisiones atmosféricas, que participaron en su desarrollo.

Las tecnologías presentadas en la base de datos de tecnologías de reparación asociada a este informe, representan una propuesta de tecnologías para tratar componentes abióticos alterados por la presencia de distintos tipos de contaminantes. Dicha base de datos podrá ser actualizada constantemente con información que no se haya incluido o con técnicas que se desarrollen en el futuro, y no excluye a los proponentes de un plan de reparación de la posibilidad de ofrecer alguna otra tecnología no presente en la base de datos, para la reparación del daño causado sobre algún componente ambiental abiótico.

### 3. Desarrollo de la Base de Datos

La metodología para la elaboración de Planes de Reparación de Daño Ambiental, desarrollada paralelamente a la elaboración de la Base de Datos con Tecnologías de Reparación, define que el daño causado sobre los componentes abióticos, Suelo, Agua y Aire, será caracterizado en base a la alteración de las propiedades básicas de estos componentes, definidas en la misma metodología.

Para cada componente se definieron propiedades básicas químicas, propiedades básicas físicas y otras propiedades básicas. A continuación, se listan las propiedades básicas definidas para cada uno de los componentes abióticos.

#### 1. Propiedades básicas del componente Suelo

- ✓ Propiedades físicas
  - Composición abiótica (indicadores recomendados: contenido de arena, limo y arcilla; contenido y tipo de especies minerales; porosidad; fracción orgánica o contenido de sustancias húmicas)
  - Topografía (indicadores recomendados: curvas de nivel)
  - Contenido de agua (indicadores recomendados: humedad base seca, humedad base húmeda, capacidad de campo)
  - Capacidad de retención de iones (indicadores recomendados: capacidad de intercambio catiónico)
  - Estado de aireación (indicadores recomendados: Eh o potencial de óxido/reducción, porosidad)
- ✓ Propiedades químicas
  - Composición química (indicadores recomendados: concentración de elementos, compuestos o mezclas claves)
  - Acidez (indicadores recomendados: pH)
- ✓ Otras propiedades
  - Actividad biológica del suelo (indicadores recomendados: porcentaje másico de organismos vivos)

#### 2. Propiedades básicas del componente Agua

- ✓ Propiedades físicas
  - Flujo del cuerpo de agua o acuífero (indicadores recomendados: caudal)
  - Nivel de agua del cuerpo de agua o acuífero (indicadores recomendados: altura de agua)
  - Características del curso de agua o acuífero (indicadores recomendados: pendiente y sinuosidad del cauce, porosidad y conductividad hidráulica del acuífero)

- Temperatura del agua (indicadores recomendados: Perfiles de temperatura)
- Velocidad del agua (indicadores recomendados: Perfiles de velocidad)
- Características organolépticas (indicadores recomendados: color, olor y sabor)
- Presencia de sólidos suspendidos o disueltos (indicadores recomendados: turbiedad, concentración de sólidos suspendidos y disueltos, conductividad eléctrica)
- ✓ Propiedades químicas
  - Composición química (indicadores recomendados: concentración de elementos, compuestos o mezclas claves)
  - Acidez (indicadores recomendados: pH)
  - Estado de aireación (indicadores recomendados: concentración de oxígeno disuelto)
  - Capacidad reductora u oxidativa (potencial de óxido/reducción)
  - Cantidad de materia orgánica (indicadores recomendados: demanda química y biológica de oxígeno)
  - Capacidad de neutralizar (indicadores recomendados: alcalinidad)
  - Cantidad de metales alcalinotérreos (indicadores recomendados: dureza)
- ✓ Otras propiedades
  - Parámetros microbiológicos (indicadores recomendados: coliformes totales y fecales)

### 3. Propiedades básicas del componente Aire

- ✓ Propiedades físicas
  - Temperatura (indicadores recomendados: perfiles de temperatura)
  - Densidad (indicadores recomendados: perfiles de densidad)
  - Viscosidad (indicadores recomendados: viscosidad absoluta, viscosidad cinemática)
- ✓ Propiedades químicas
  - Composición química (concentración de elementos, compuestos o mezclas claves)

La Base de Datos elaborada presenta un conjunto de tecnologías disponibles para la reparación del daño sobre los componentes abióticos Suelo, Agua y Aire, cuando éste ha sido causado debido a la alteración de alguna de sus propiedades básicas químicas mencionadas anteriormente.

Tecnologías de reparación del daño sobre componentes abióticos, cuando éste ha sido causado por la alteración de las propiedades básicas físicas de los componentes, o de

otras propiedades básicas, que no sean químicas ni físicas, no se encuentran en la literatura ya que, para ese tipo de alteraciones, más que tecnologías de reparación, lo que se aplica son técnicas sitio-específicas, que pueden involucrar un conjunto de acciones destinadas a reparar el daño que se generó.

Las secciones a continuación indican el contenido de los documentos y bases de datos revisados, y la información útil, de acuerdo a las necesidades en el desarrollo de la Base de Datos, obtenida de ellos. Posteriormente se indica la estructuración que tiene la Base de Datos. Dicha Base de Datos se entrega en formato Excel junto con este informe.

### **3.1 Documentos y bases de datos que entregaron información para la elaboración de la Base de Datos de Tecnologías de Reparación**

A continuación se mencionan los documentos y bases de datos que aportaron información a la Base de Datos de Tecnologías de Reparación desarrollada.

Se entrega una descripción del contenido de cada documento y base de datos revisados y se indica la información entregada por cada uno de ellos y que finalmente fue utilizada en la elaboración de la Base de Datos de Tecnologías de Reparación.

#### **3.1.1 Tecnologías de remediación, matriz de selección y guía de referencia<sup>1</sup> (DOD Environmental Technology Transfer Committee, 1994).**

Este documento corresponde a la principal fuente de información utilizada en la elaboración de la Base de Datos. Entrega información con respecto a tecnologías de reparación de sitios contaminados, los cuales pueden presentar daños ocasionados principalmente a dos de los componentes abióticos definidos, los componentes Agua y Suelo. Además, el documento también entrega información con respecto a tecnologías de tratamiento de las emisiones atmosféricas asociadas a la presencia de sitios contaminados, lo cual corresponde a daño generado sobre el componente Aire.

La información incorporada en la Base de Datos elaborada corresponde a información obtenida de la segunda y cuarta edición (última edición disponible) del documento mencionado (año 1994 y 2002, respectivamente) y de la matriz denominada "*The Remediation Technologies Screening Matrix*"<sup>2</sup> la cual se basa en la cuarta edición del documento y fue actualizada por última vez en el año 2007.

Esta fuente de información de tecnologías de reparación clasifica los medios a ser tratados en tres grupos. Estos son:

---

<sup>1</sup> Nombre original del documento: "*Remediation technologies screening matrix and reference guide*"

<sup>2</sup> Ver matriz en [http://www.frtr.gov/matrix2/top\\_page.html](http://www.frtr.gov/matrix2/top_page.html)



- ✓ suelo, sedimentos y lodos
- ✓ aguas subterráneas, superficiales y lixiviados
- ✓ emisiones atmosféricas

Estos tres grupos coincidirían con los componentes abióticos definidos en la metodología para la elaboración de planes de reparación, Suelo, Agua y Aire, respectivamente.

Adicionalmente, la fuente de información clasifica los contaminantes en:

- ✓ compuestos orgánicos volátiles halogenados
- ✓ compuestos orgánicos volátiles no halogenados
- ✓ compuestos orgánicos semivolátiles halogenados
- ✓ compuestos orgánicos semivolátiles no halogenados
- ✓ combustibles
- ✓ compuestos inorgánicos
- ✓ radionucleidos
- ✓ explosivos

Por otra parte, las tecnologías presentadas en la fuente se clasifican de acuerdo a:

- ✓ lugar de aplicación de la tecnología
  - in situ
  - ex situ
- ✓ tipo de tratamiento asociado a la tecnología
  - biológico
  - físico/químico
  - térmico
- ✓ funcionamiento de la tecnología
  - destructiva
  - extractiva
  - inmovilizante

Adicionalmente, la fuente entrega información con respecto a la descripción de las tecnologías, costos asociados, nivel de desarrollo, tiempo de tratamiento y cantidad de proveedores que tiene la tecnología.

Principalmente, la información extraída de esta fuente, para la elaboración de la Base de Datos de Tecnologías de Reparación, fue:

- ✓ tecnologías disponibles, su descripción y su clasificación de acuerdo a lugar de aplicación, tipo de tratamiento asociado y funcionamiento de la tecnología
- ✓ contaminantes tratados por la tecnologías disponibles y su clasificación
- ✓ costos asociados a las tecnologías

### **3.1.2 Hoja de Ruta para la comprensión de Opciones Tecnológicas Innovadoras para la Investigación y Limpieza de terrenos baldíos<sup>3</sup> (United States Environmental Protection Agency, 2001).**

Este documento entrega información respecto de tecnologías de reparación de sitios correspondientes a instalaciones industriales y/o comerciales que se encuentran abandonadas o subutilizadas debido a que la contaminación ambiental ahí presente impide el desarrollo de actividades (sitios con estas características se denominan *brownfields*).

El documento clasifica los medios a reparar, en dos tipos:

- ✓ suelo, sedimentos y lodos
- ✓ aguas subterráneas, superficiales y lixiviados

Para la reparación de los medios mencionados, el documento entrega una lista de tecnologías disponibles, cuando el daño es por la presencia de los siguientes contaminantes:

- ✓ compuestos orgánicos volátiles halogenados
- ✓ compuestos orgánicos volátiles no halogenados
- ✓ compuestos orgánicos semivolátiles halogenados
- ✓ compuestos orgánicos semivolátiles no halogenados
- ✓ combustibles
- ✓ compuestos inorgánicos
- ✓ explosivos
- ✓ oxigenados

La información contenida en esta fuente (tecnologías de reparación y los respectivos contaminantes tratados) fue incluida en la Base de Datos desarrollada, siempre y cuando fuese información adicional y complementaria a las otras fuentes utilizadas.

### **3.1.3 Manual de Tecnologías de Remediación de Sitios Contaminados (Fundación Chile, 2012)**

La Fundación Chile ha trabajado ampliamente en temas de Sitios Contaminados y tecnologías de Remediación, motivo por el cual se revisó el Manual de Tecnologías de Remediación de Sitios Contaminados, teniendo en cuenta que profundiza en Tecnologías de Tratamiento para Suelos y para Aguas Subterráneas.

---

<sup>3</sup> Nombre original del documento: "Road Map to Understanding Innovative Technology Options for Brownfields Investigation and Cleanup"

Las tecnologías en esta fuente son clasificadas según:

- ✓ lugar de aplicación de la tecnología
  - in situ
  - ex situ
- ✓ tipo de tratamiento asociado a la tecnología
  - biológico
  - físico/químico
  - térmico
  - mixto
- ✓ funcionamiento de la tecnología
  - descontaminación
  - contención
  - confinamiento

Adicionalmente, en este documento se encuentra la descripción de las tecnologías que presenta.

De esta fuente se utilizó principalmente la descripción de ciertas tecnologías complementando dicha información con la obtenida de otras fuentes, además de adicionar ciertas tecnologías que otras fuentes no mencionaban.

Con respecto a la clasificación de acuerdo al funcionamiento de la tecnología, se prefirió utilizar la clasificación de la fuente presentada en la sección 3.1.1.

### **3.1.4 Una visión general y análisis de las tecnologías de remediación de sitios<sup>4</sup> (Khan, Husain, & Hejazi, 2004)**

Este documento entrega tecnologías de reparación físicas, químicas y biológicas que son comúnmente utilizadas en el tratamiento de suelos y aguas contaminadas principalmente con productos derivados del petróleo.

En este documento se presentan tecnologías de reparación para sitios contaminados, distinguiendo dos medios que pueden estar sujetos a posibles daños ambientales. Estos son:

- ✓ Suelos
- ✓ Aguas subterráneas

Para cada uno de los medios definidos el documento menciona distintas tecnologías de reparación para cada uno de los contaminantes listados a continuación:

---

<sup>4</sup> Nombre original del documento: "*An overview and analysis of site remediation technologies*"

- ✓ compuestos orgánicos volátiles halogenados
- ✓ compuestos orgánicos volátiles no halogenados
- ✓ compuestos orgánicos semivolátiles halogenados
- ✓ compuestos orgánicos semivolátiles no halogenados
- ✓ combustibles
- ✓ compuestos inorgánicos
- ✓ explosivos
- ✓ metales pesados
- ✓ PAH
- ✓ Pesticidas
- ✓ Radionucleidos
- ✓ PCB

Adicionalmente, el documento entrega algunos datos referidos a la efectividad de las tecnologías y a los costos asociados a las mismas.

La información utilizada de esta fuente para la elaboración de la Base de Datos corresponde principalmente al aporte de costos asociados a las tecnologías. Además, tanto las tecnologías aquí presentadas como los contaminantes tratados fueron incluidos en la Base de Datos siempre y cuando fuese información adicional y complementaria a las otras fuentes utilizadas.

### **3.1.5 Base de Datos *CMDB***

La *CMDB (Control Measures Data Bases)* es una base de datos desarrollada por la División de Impactos en Salud y Medio Ambiente (HEID) de la EPA. Contiene información sobre un amplio conjunto de medidas de control de fuentes puntuales, no puntuales y móviles. Los datos se han tomado de las bases de datos, informes, datos de desarrollo regulatorio y control de estudios de la EPA, además de las organizaciones de planificación regionales (RPO), tal como la Comisión de Transporte de Ozono (OTC), y de las agencias estatales individuales, como la Junta de Recursos del Aire de California (CARB).

Esta base de datos corresponde a la principal fuente de información para las tecnologías de tratamiento de emisiones atmosféricas. Contiene importantes mejoras respecto al antiguo software AirControlNET, que será descrito posteriormente. Algunas de estas mejoras incluyen la actualización de las descripciones, la información de costos para varias industrias clave, además de nuevas medidas de reparación.

Junto con lo ya mencionado, para el desarrollo de la Base de Datos de Tecnologías de Reparación, se prefirió la base de datos *CMDB* ante la base de datos AirControlNET, debido la cantidad de información disponible, al formato más amigable y a la pertinencia de la información.

Para el medio sujeto a daño, en este caso, las emisiones atmosféricas, la base de datos CMDB entrega tecnologías para el tratamiento de los siguientes contaminantes:

- ✓ PM 2.5
- ✓ PM 10
- ✓ NO<sub>x</sub>
- ✓ COV
- ✓ SO<sub>2</sub>
- ✓ NH<sub>3</sub>
- ✓ CO
- ✓ Hg
- ✓ Carbono Orgánico (OC)
- ✓ Carbono Elemental (EC)

La información contenida en la base de datos CMDB, se divide en seis tablas. Cada una contiene:

1. Información resumida acerca de la medida de control
2. Eficiencia lograda y costos necesarios para cada contaminante afectado
3. Tipos de fuentes o procesos a los que se puede aplicar la medidas de control, con su correspondiente código de clasificación de la fuente (SCC )
4. Información sobre la ecuación y los parámetros para determinar los costos de la medida a la que se aplique
5. Referencias que proporcionan información adicional sobre las medidas de control y la forma en que se derivan su eficiencia de control e información de costos
6. Información adicional que no pertenezca a una de las cinco categorías anteriores. Especialmente los parámetros que son exclusivos de una medida de control o un subconjunto de las medidas de control.

### **3.1.6 Base de Datos *GAINS***

*GAINS* (Sinergias e Interacciones Gases de Efecto Invernadero y Contaminación del Aire) es un modelo matemático que toma en cuenta todos los factores que influyen a la contaminación atmosférica, incluyendo las interacciones e interconexiones entre los contaminantes y las medidas. Este modelo fue desarrollado por el Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA), e identifica estrategias costo-efectivas de control de emisiones con el mínimo costo, enfocándose en elaborar proyecciones de emisiones futuras e impactos en la calidad del aire.

Estos impactos se consideran en un contexto de múltiples contaminantes. Estos son: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, COV, PM 2.5 y PM 10, además de los seis gases de efecto invernadero incluidos en el protocolo de Kioto, es decir, el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y los tres gases fluorados, HFC, PFC y SF<sub>6</sub>.

Este modelo es más complejo y se enfoca mayormente en proyecciones futuras, por lo tanto, no se adecua tanto como la base de datos CMDDB a lo se requiere para la realización de la Base de Datos de Tecnologías de Reparación.

### **3.1.7 Base de datos ACN**

El ACN (*Air Control Net*) es un sistema de bases de datos en que las tecnologías de control se vinculan a las fuentes dentro de los inventarios de emisiones de la EPA. Fue desarrollada por EH Pechan & Associates, Inc. (Pechan) como apoyo a la EPA en las políticas y regulaciones de la contaminación del aire.

Proporciona información sobre el tratamiento de los siguientes contaminantes:

- ✓ PM 2.5
- ✓ PM 10
- ✓ NO<sub>x</sub>
- ✓ COV
- ✓ SO<sub>2</sub>
- ✓ NH<sub>3</sub>
- ✓ CO
- ✓ Hg
- ✓ Carbono Orgánico (OC)
- ✓ Carbono Elemental (EC)

Las medidas de control en AirControlNET se han desarrollado a partir de una serie de estudios preparados para apoyar la elaboración de reglas y otras investigaciones. En la determinación de los costos de cada medida de control, ACN vincula la información básica de costos de la EPA con otros estudios sobre parámetros de entrada del inventario de emisiones.

El documento base posee la siguiente información:

- ✓ Lista de publicaciones que contienen información útil sobre medidas de control
- ✓ Medidas de control consideradas en AirControlNET
- ✓ Documentación de cada medida
- ✓ Tabla resumen de los controles de medida, según fuente
- ✓ Tabla resumen de los controles de medida, según contaminante

A partir de lo anterior, se puede obtener para cada medida: su descripción, fuentes y reducción de emisiones, eficiencia y costos de implementación (anual y de capital, y a veces también de operación y mantenimiento).

ACN, corresponde a la versión anterior a la CDDB, es por esta razón que no fue escogida para la realización de la Base de Datos de Tecnologías de Reparación.

### 3.2 Estructuración de la Base de Datos

A partir de la revisión de los documentos y bases de datos mencionados en las secciones anteriores, se define la información y estructura de la Base de Datos de Tecnologías de Reparación del daño ambiental.

A continuación se indica el contenido de las cuatro tablas que se presentan en la Base de Datos desarrollada:

✓ Tabla "DTA"

Tabla que presenta costos y descripciones asociados a las tecnologías de reparación para el componente Agua.

✓ Tabla "DTS"

Tabla que presenta costos y descripciones asociados a las tecnologías de reparación para el componente Suelo.

✓ Tabla "DTE"

Tabla que presenta costos y descripción asociados a las tecnologías de reparación para el componente Aire.

✓ Tabla "Tecnologías de reparación"

Tabla que contiene una lista de tecnologías disponibles para el tratamiento de los componentes Agua, Suelo y Aire. En dicha tabla se indica: componente ambiental afectado, sub-clasificación del componente ambiental afectado, contaminantes presentes, sub-clasificación de contaminantes presentes, tecnologías disponibles para el tratamiento, tipo de tratamiento, lugar de aplicación del tratamiento, funcionamiento del tratamiento, descripción de las tecnologías, costos de aplicación de las tecnologías y fuentes de información utilizadas. La información referente a la descripción de las tecnologías y a los costos de aplicación de las mismas, es información que proviene de las otras tablas de la Base de Datos, las tablas "DTA", "DTS" y "DTE" descritas anteriormente.

Los componentes ambientales afectados pueden ser:

- Agua
- Aire
- Suelo

A su vez, los componentes ambientales afectados pueden sub-clasificarse en:

- aguas subterráneas
- aguas superficiales
- lixiviados
- aire
- suelos
- sedimentos
- lodos

Los contaminantes presentes se clasifican en:

- compuestos orgánicos
- compuestos orgánicos volátiles
  
- compuestos orgánicos semivolátiles
- compuestos inorgánicos
- explosivos
- combustibles
- compuestos oxigenados
- PM 10
- PM 2,5

A su vez, los contaminantes presentes pueden sub-clasificarse en:

- halogenados
- no halogenados
- PAH
- Metales
- Pesticidas
- Radionucleidos
- NOx
- SO<sub>2</sub>
- PM 10
- PM 2,5

El lugar de tratamiento puede ser:

- in situ
- ex situ
- otro

El tipo de tratamiento puede ser:

- biológico



- físico/químico
- térmico
- otro

El funcionamiento del tratamiento puede ser<sup>5</sup>:

- extractivo
- destructivo
- inmovilizante

---

<sup>5</sup> El funcionamiento de la tecnología puede ser también una combinación de los funcionamientos mencionados.

#### 4. Referencias

DOD Environmental Technology Transfer Committee. (1994). Remediation technologies screening matrix and reference guide.

Fundación Chile. (2012). Manual de Tecnologías de Remediación de Sitios Contaminados.

Khan, F. I., Husain, T., & Hejazi, R. (2004). An overview and analysis of site remediation technologies. *Journal of environmental management*, 71(2), 95–122.

United States Environmental Protection Agency. (2001). *Road map to understanding innovative technology options for brownfields investigation and cleanup*.