

## **Estrategias para la rehabilitación de tierras mineras contaminadas con mercurio para su reutilización en energía renovable y otras estrategias de reutilización autosostenibles.**

**Producto 2. Orientación y estrategias para la reutilización de la tierra mediante la transferencia de conocimientos de última generación y la implementación exitosa del Reino Unido, la UE y América del Norte, y adaptarla a la situación local según lo dicten las circunstancias.**

Paul Bardos, Andy Cundy, Barbara Maco, Walter Kovalick, Alfonso Rodríguez, Tony Hutchings, Euan Hall, Ángela Rodríguez.

Marzo 2017



**R3 Environmental Technology Ltd.**



**C-Cure Solutions**



**The Land Trust**



**Prosperity Fund – UK FCO**



## **Derechos de Autor**

© Los derechos de autor de este informe pertenecen a r3 Environmental Technology Limitada. Cualquier reproducción o uso no autorizado está estrictamente prohibido.

## Descargo de responsabilidades

Los autores, partidarios, financiadores, r3 Environmental Technology Ltd., r3 Environmental Technology Colombia SAS, C-Cure Solutions, y Land Trust no se hacen responsables de ninguna pérdida, independientemente del origen, del uso o confianza en la información contenida en este informe; ni asumen responsabilidad alguna por errores u omisiones. Se aconseja a los lectores que utilicen la información aquí contenida, únicamente como guía y que tomen el asesoramiento profesional apropiado cuando sea necesario.

## Agradecimientos

Este informe es uno de los productos del proyecto del Prosperity Fund en Colombia acerca de *“Estrategias para la rehabilitación de tierras mineras contaminadas con mercurio para su reutilización en energía renovable y otras estrategias de reutilización autosostenibles”*

Este reporte fue preparado por:

<b>Autores</b>	<b>Organización</b>
Paul Bardos	r3 Environmental Technology ltd, UK
Andy Cundy	University of Southampton / r3 Environmental Technology ltd, UK
Barbara Maco	Associate of R3 in the US
Walter Kovalick	Associate of R3 in the US
Alfonso Rodríguez	r3 Environmental Technology Colombia SAS, Colombia
Tony Hutchings	C-Cure Solutions, UK
Euan Hall	The Land Trust, UK
Ángela Rodríguez	r3 Environmental Technology Colombia SAS, Colombia

Los autores agradecen a todos los socios y colaboradores de este proyecto y, en particular, a las personas de FCO Colombia, el Ministerio de Medio Ambiente de Colombia, el Ministerio de Minería de Colombia, las autoridades ambientales locales y regionales de Colombia que apoyaron el desarrollo del estudio de caso de la BOM y quienes compartieron sus hallazgos y observaciones con este proyecto.

## Resumen Ejecutivo

Colombia tiene enormes oportunidades para la generación de recursos renovables, como la energía de su tierra, por ejemplo, de energía fotovoltaica. La vinculación de la reutilización segura de los yacimientos contaminados (siguiendo la aplicación de técnicas de remediación "suaves" de bajo insumo) con la generación de energías renovables, presenta una oportunidad "virtuosa" para el (re) uso de la tierra por varias razones:

- Varios arreglos del mercado energético local son posibles: El enfoque es escalable - puede ser trabajado desde proyectos comunitarios hasta grandes proyectos con grandes compañías mineras.
- Los ingresos procedentes de las energías renovables pueden ayudar a compensar el costo de descontaminar el suelo, por ejemplo, de especies móviles de mercurio.
- El uso de estas tierras degradadas es un enfoque más sostenible para proporcionar energías renovables que convertir el hábitat o las tierras agrícolas en la producción de energías renovables.
- Colombia recibe mucha energía solar en comparación con muchos otros países del mundo desarrollado (por ejemplo, el Reino Unido).
- También puede haber oportunidades de ingresos por compensación de carbono.

Este enfoque también puede traer mayores beneficios sociales y económicos en Colombia. Los ingresos procedentes de energías renovables (y potencialmente también de compensación de carbono) se pueden reciclar localmente. Combinarlo con otros usos de la tierra también puede ser muy valioso, por ejemplo, con parques públicos o de ocio. Se ha comprobado que los parques públicos bien administrados ofrecen beneficios cuantificables de salud y bienestar a las comunidades locales, así como ayudan a la cohesión social y a la mejora económica en los alrededores. Estos podrían combinarse, por ejemplo, como un "mosaico" de producción de energía renovable para mejorar la aceptabilidad y viabilidad general del proyecto; Así como mejorar el apoyo local y, por lo tanto, la seguridad del proyecto.

Este breve documento de orientación proporciona una visión general de la información necesaria para: (1) evaluar las oportunidades para el despliegue conjunto de una restauración más suave/gentil y la producción de energías renovables en sitios en Colombia; (2) comprender los parámetros técnicos de los enfoques disponibles; y (3) realizar evaluaciones de la sostenibilidad global y vincular esto con el análisis costo-beneficio (CBA).

### *Orientación de Oportunidades*

La orientación de oportunidades se basa en la "Matriz de Oportunidades para Sitios Contaminados Abandonados" (Brownfield Opportunity Matrix - BOM). Se trata de una sencilla herramienta de Microsoft Excel® para ayudar a las partes interesadas a identificar ganancias más amplias de sostenibilidad / valor de la restauración de áreas contaminadas. Esta herramienta trabaja cruzando las posibles intervenciones con los posibles servicios que pueden ser entregados al implementar dichas intervenciones, además de ilustrar posibles vínculos con estudios de caso. Muestra las mayores sinergias, beneficios, servicios y sostenibilidad / ganancias de valor que podrían derivarse de una selección juiciosa de intervenciones (por ejemplo, mediante opciones de enfoques de remediación y energías renovables). La hoja de cálculo está respaldada por un paquete de orientación de participación de los interesados. Todos estos materiales pueden ser descargados (sin costo)

y personalizados para su uso en Colombia desde <http://www.r3environmental.com.co/es/descargas.html>.

### ***Parámetros técnicos para la restauración suave (bajo insumo) y la producción de energías renovables en sitios contaminados abandonados***

Pág. | iv

La norma internacional aceptada para determinar cómo remediar un sitio es la toma de decisiones basada en el riesgo. La gestión del riesgo es el proceso de evaluar los riesgos y decidir qué se debe hacer con ellos; es decir, si el riesgo es significativo y, en caso afirmativo, si es necesario mitigarlo mediante algún tipo de intervención correctiva. El eje de un enfoque combinado de remediación y energías renovables es que el proyecto gestiona los riesgos que causan preocupación, y también genera renovables, pero de alguna manera, eso no crea ningún riesgo adicional. De hecho, en algunos casos, el proceso de remediación también puede ser el proceso de producción de energías renovables (que es el caso de los enfoques basados en la biomasa). De manera más general, un enfoque de gestión de riesgos puede integrar intervenciones en diferentes niveles. Por ejemplo, la eliminación parcial de la fuente contaminante (para la gestión de la vía para tratar la contaminación residual) se puede combinar con protección adicional a través de un control de planificación (por ejemplo, restricciones en el uso de agua de pozos particulares). Recientemente, sobre la base de ideas anteriores sobre los enfoques de bajo nivel de insumo, ha surgido el concepto de Opciones Suaves de Remediación (GRO). Las GRO son estrategias / tecnologías de gestión de riesgos que dan como resultado una ganancia neta (o al menos ninguna pérdida bruta) de la función del suelo, así como la gestión del riesgo. Este énfasis en el mantenimiento y mejora de la función del suelo significa que tienen una utilidad particular para mantener los suelos biológicamente productivos; esto es especialmente importante cuando se está considerando un uso final "blando" para un sitio (como parques urbanos, producción de biomasa / biocombustibles, etc.).

Una gama de técnicas que permiten generar energía renovable se puede desplegar en campos contaminados, incluyendo la producción de biomasa, la energía fotovoltaica, el viento y las fuentes geotérmicas / geológicas. La producción de energía renovable explota fuentes que son libres de carbono y por lo tanto ayudan a mitigar el calentamiento global. El despliegue de energías renovables ayuda a lograr la independencia de los volátiles mercados de combustibles fósiles y puede ser particularmente útil en áreas de escasez de energía o suministro variable. Así, la producción de energía renovable es a la vez un medio fiable y sostenible para producir energía y una estrategia para obtener seguridad en el suministro de energía. Es una solución atractiva tanto para los proveedores de energía (es decir, para cumplir con los requisitos de emisiones de GEI) como para los consumidores (es decir, proporcionar un suministro fiable a precios controlados). En comparación con los sectores energéticos convencionales, los estudios han revelado un gran potencial para la creación de empleo en el sector de las energías renovables y verdes. Aplicada en el contexto de la regeneración de áreas abandonadas, el suministro de energía renovable es una fuente potencial de ingresos para la gestión del sitio en curso. También evita el uso de sitios verdes para la producción de energías renovables, reduciendo así los posibles conflictos de uso del suelo.

## Evaluación y valoración de la sostenibilidad

El interés internacional ha ido creciendo en la integración de la sostenibilidad como criterio de toma de decisiones para proyectos de remediación, es decir, para seleccionar un enfoque que consiga un beneficio neto equilibrado al considerar impactos ambientales, económicos y sociales más amplios. La remediación sostenible se ha convertido en un área de intenso desarrollo en todo el mundo, con organizaciones del sector público y privado involucradas en una serie de proyectos y redes destinadas a mejorar la práctica de remediación y hacerla más sostenible, incluyendo el Reino Unido y Colombia. El uso de un modelo conceptual de sostenibilidad como un hilo conductor a través de los diferentes niveles de evaluación de la sostenibilidad que conduce a una valoración cuantitativa en términos financieros puede ser muy útil. El uso de CBA (evaluación costo/beneficio) puede ser altamente controversial por una serie de razones. Sin embargo, el CBA sostiene la toma de decisiones políticas en muchos casos y, por supuesto, las decisiones de inversión, tanto para los fondos públicos como privados. La evaluación subsiguiente (CBA) basada en el mismo modelo de sostenibilidad compartida y mostrando cómo las técnicas de valoración específicas se han "ajustado mejor" a diferentes aspectos de este modelo compartido (de manera transparente) permite que la CBA sea robusta y consistente con la evaluación de sostenibilidad.

## Recursos Adicionales

Este informe se apoya tanto en la información complementaria de los anexos como en las referencias señaladas en esta guía. También se puede descargar información adicional de <http://www.r3environmental.com.co/es/descargas.html>, incluyendo una versión en español de la guía de oportunidades aquí descrita y los demás resultados públicamente disponibles de este proyecto:

- Producto 1: Estrategias para la rehabilitación de tierras mineras contaminadas con mercurio para energías renovables y otras estrategias de reutilización autosostenibles [*Plan de pruebas de campo in situ de técnicas que prometen ser replicables a otros sitios contaminados de manera similar, con base en evaluaciones de tecnología y trabajo de pruebas a escala de laboratorio*]
- Producto 3: Informe de política para los gobiernos regionales y nacionales en Colombia. [*Un informe de política para los gobiernos regionales y nacionales en Colombia. En el documento se describen las estrategias para tratar los yacimientos mineros contaminados y se abordan los compromisos políticos contenidos en la Ley 1658 de 2013, el compromiso de Colombia con el Convenio Minamata de las Naciones Unidas (el Plan Único de Mercurio), el Acuerdo Climático de París 2015 y la adhesión colombiana a la OCDE*]

## Próximos Pasos

Este informe es sólo el comienzo de la historia en Colombia para desarrollar una estrategia para tratar con tierras mineras contaminadas y cosechar los beneficios energéticos de una reutilización efectiva. La siguiente fase del trabajo sería: (1) llevar a cabo proyectos de demostración / ejemplares en Colombia para proporcionar ensayos nacionales de prueba de concepto, (2) ampliar las habilidades y conocimientos locales, (3) crear oportunidades para la colaboración internacional entre el Reino Unido y Colombia, y (4) brindar la oportunidad de refinamientos técnicos a esta guía para adaptarse mejor a las condiciones locales en Colombia. Idealmente, esta orientación también podría ser actualizada en un proyecto

posterior a medida que la experiencia crece con la implementación práctica de renovables con una remediación suave en Colombia.

Los beneficios potenciales de la aplicación conjunta de la remediación suave (bajo insumo) junto con la producción de energías renovables no sólo existen en Colombia. Un proyecto paralelo, financiado por el FCO ha estado investigando oportunidades similares en China (<http://cnukcontaminatedland.com/uk/downloads>). Otra oportunidad existe para crear proyectos de demostración / ejemplares de colaboración mutuamente beneficiosos en varios países de diferentes regiones, incluyendo, por ejemplo, Colombia, Perú, México, Brasil, China e India. Estos proyectos de colaboración desarrollarían un grupo verdaderamente internacional de despliegues de remediación / energías renovables basados en la experiencia básica desarrollada por este proyecto y el proyecto en China.



## Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1 Contexto de restauración de los sitios contaminados abandonados en Colombia ..	1
1.2 Descripción General del Proyecto .....	2
1.3 Antecedentes y alcance del producto 2.....	3
1.4 Objeto .....	5
<b>2. La Matriz de Oportunidades para Sitios Contaminados Abandonados (BOM) .....</b>	<b>6</b>
2.1 Participación de las partes interesadas en la BOM .....	8
<b>3. Secciones de orientación técnica detallada .....</b>	<b>10</b>
3.1 Antecedentes de la gestión de riesgos.....	10
3.2 Opciones de Remediación Gentil o Suave (GRO) .....	11
3.3 Opciones de Generación de Energía Renovable .....	12
<b>4. Evaluación y Valoración de Sostenibilidad.....</b>	<b>14</b>
<b>5. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>19</b>
<b>6. Referencias .....</b>	<b>21</b>

## Lista de Figuras

Figura 1. Distribución de áreas contaminadas y sitios contaminados en Colombia. Fuente: (MADS,2016) .....	1
Figura 2. Vista de la versión en español de la BOM simplificada .....	7
Figura 3. Un enlace de contaminantes y diferentes intervenciones de remediación suave a nivel de fuente, vía de exposición y receptor (tomado de Cundy et al. 2016). .....	11
Figura 4. Un enfoque escalonado para la evaluación de la sostenibilidad (CL:AIRE, 2011) .....	17
Figura 5. Un enfoque SuRF-UK para la evaluación de la sostenibilidad (CL:AIRE, 2014a). .....	18
Figura 6. Vista de la matriz de oportunidades para sitios contaminados (BOM) simplificada. .....	5
Figura 7. Vista de la versión en español simplificada de la lista de materiales .....	6
Figura 8. Cuadro de comentarios con la breve descripción de los ejemplos en inglés y español en la versión simplificada en español de la BOM. .....	7
Figura 9. Un ejemplo de escenario de diseño de proyecto de restauración "privado" (Cundy, et al., 2013).....	9
Figura 10. Un proceso de desarrollo de proyectos basado en la coalición (Beumer et al. 2014) .....	10
Figura 11. Aplicación de la BOM (© r3 Environmental Technology Colombia SAS 2016) ...	11
Figura 12. Momento del uso de la BOM (© r3 Environmental Technology Colombia SAS, 2016) .....	12



Figura 13. Matriz DOFA de hechos identificados en discusiones bilaterales para la adaptación de la BOM..... 14

Figura 14. Un enlace de contaminantes y diferentes intervenciones de remediación suave a nivel de fuente, vía de exposición y receptor (tomado de Cundy et al. 2016). ..... 17

### **Lista de Tablas**

Tabla 1. Servicios potenciales de las reutilizaciones suaves de la tierra de sitios contaminados ..... 7

Tabla 2. Principios básicos para la participación de las partes interesadas (Cundy et al., 2013) ..... 8

Tabla 3. SuRF-UK: Principios clave asociados con la remediación sostenible (CL:AIRE, 2010) ..... 16

Tabla 4. Categorías globales de indicador SuRF-UK (CL:AIRE, 2010) ..... 17

Tabla 5. Servicios potenciales de las reutilizaciones suaves de la tierra de Brownfield..... 3

Tabla 6. Servicios generales e intervenciones consideradas dentro de la matriz de oportunidades para sitios contaminados (BOM)..... 4

Tabla 7. Principios básicos para la participación de las partes interesadas (Cundy, et al., 2013) ..... 8

Tabla 8. Recursos Internacionales de Participación de las Partes Interesadas ..... 12

Tabla 9. Variantes del proceso de fitorremediación. De: (Nathanail et al. 2007)..... 19

Tabla 10. Pros y contras de la Fito-Remediación ..... 20

Tabla 11. Pros y contras de la Estabilización in situ ..... 23

Tabla 12. Pros y contras de la utilización de campos contaminados para la biomasa, materias primas biológicas y fuentes secundarias renovables..... 27

Tabla 13. Pros y contras de utilizar campos contaminados abandonados para la biomasa renovable, las materias primas biológicas y las fuentes secundarias ..... 31

### **Lista de Anexos**

#### **Anexo 1: La Matriz de oportunidades para Sitios Contaminados Abandonados (BOM), Adaptación para Colombia, Estudios de caso y Evaluación**

Descripción y origen de la BOM

Adaptación al Contexto Colombiano

Cómo y Cuándo usar la BOM

#### **Anexo 2: Secciones de Orientación Técnica Detallada para Remediación de Baja Intensidad (Suave) y Producción de Renovables en Sitios Contaminados**

Remediación Gentil - Fito-Remediación

Remediación Gentil – Adición de Enmiendas

Producción de biomasa, materias primas biológicas y fuentes secundarias renovables

Generación de Energía Renovable

Estudios de casos de evaluación de factibilidad de energía renovable en Colombia

# 1. Introducción

## 1.1 Contexto de restauración de los sitios contaminados abandonados en Colombia

Colombia está dotada de abundantes minerales, metales y combustibles fósiles; por ejemplo, es el mayor productor de carbón de América Latina. La creciente extracción de recursos naturales finitos, como el oro, está impulsando el crecimiento económico. Sin embargo, esta extracción es también una de las principales causas de contaminación del suelo y el agua, la degradación de los ecosistemas sensibles y el aumento de los riesgos para la salud humana. A lo largo de la primera década del milenio, el área cubierta por los títulos mineros aumentó de 1 millón de hectáreas a 8,5 millones de hectáreas (alrededor del 8% de la superficie terrestre). Aunque las empresas internacionales son grandes industrias, la minería artesanal y en pequeña escala también son importantes. La minería artesanal representa el 70% del oro extraído en Colombia y proporciona medios de subsistencia a unos 200.000 habitantes en condiciones de pobreza (OCDE, 2014).

Un estudio reciente realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2016), encontró cerca de 1843 localidades en Colombia potencialmente consideradas como áreas contaminadas o confirmadas como contaminadas por todos los sectores económicos. Esta información corresponde a información secundaria derivada de informes oficiales de diferentes instituciones y autoridades ambientales locales en Colombia.

Según este informe, el sector minero representa el 42% de estos sitios, seguido por el sector de petróleo y gas con 24%, y el de residuos con 14%. La Figura 1 muestra la distribución completa por sector (MADS, 2016).

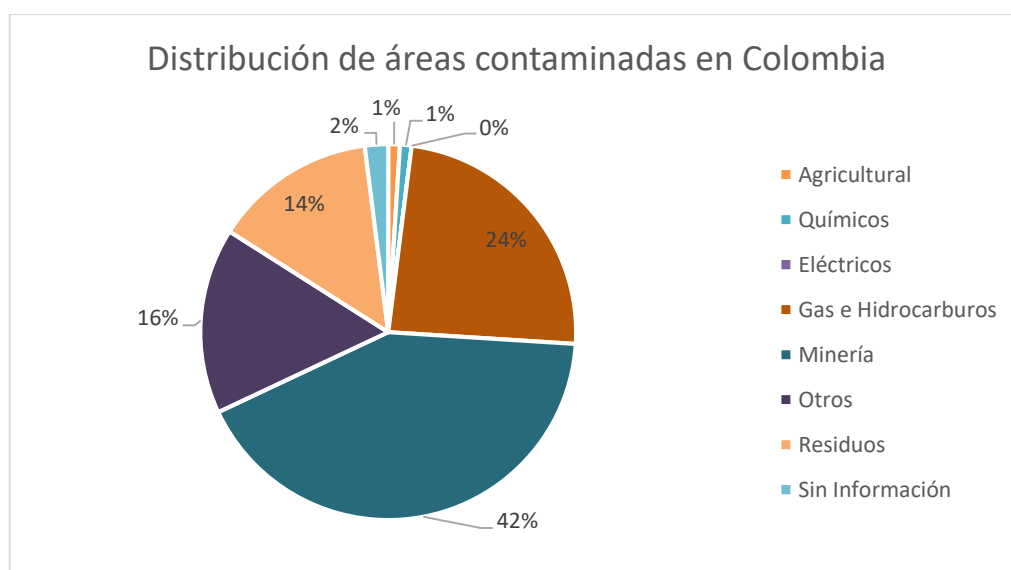


Figura 1. Distribución de áreas contaminadas y sitios contaminados en Colombia. Fuente: (MADS,2016)

El Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 (PND) de Colombia incluyó objetivos concretos y medidas para promover la sostenibilidad ambiental y la prevención de riesgos y mejorar la calidad de vida ambiental (OCDE, 2014). Asimismo, bajo la Ley Colombiana, la extracción de

cualquier recurso natural o la realización de cualquier actividad o proyecto que tenga el potencial de afectar el medio ambiente está sujeto al control de las autoridades ambientales. Sin embargo, el país aún no ha desarrollado una política general y comprensivo, ni un conjunto de reglamentos y directrices para abordar los sitios contaminados históricos o los campos contaminados.

Un caso particular de áreas contaminadas con grandes impactos en Colombia es el sector minero de oro. En Colombia, la minería artesanal y a pequeña escala es realizada por grupos de individuos en áreas de tradición explotadora y también en áreas inexploradas. A estas últimas áreas no se había tenido acceso en el pasado debido a su localización geográfica y / o conflictos sociales. Aunque hay un gran número de personas en algunas áreas, aplicando técnicas y tecnologías similares, cada rostro minero trabajador es único, y no hay coordinación y continuidad en el trabajo extractivo y la beneficiación del oro es evidente. Un ejemplo típico es visible en los frentes operativos donde no se puede distinguir entre las fases de exploración, desarrollo, preparación y explotación; del mismo modo, en el proceso de beneficio, el oro se recupera generalmente gravimétricamente, así como con el uso de mercurio. En muchos casos, no se está utilizando una recuperación ligeramente avanzada y compleja, como la separación por proceso metalúrgico (PNUMA, 2012).

La minería de oro ha sido responsable de grandes emisiones de químicos peligrosos al medio ambiente - hasta 150 toneladas de mercurio al año - según estimaciones de la ONUDI. La contaminación del aire cerca de las áreas de explotación a cielo abierto también es motivo de preocupación. Son los pobres, que trabajan en la minería ilegal, tradicional y no autorizada, quienes reciben la mayor exposición a sustancias peligrosas como el polvo (que causa silicosis) y el mercurio (OCDE, 2014). Existen 4.200 minas de oro activas y abandonadas y unas 3.000 localidades artesanales (PNUMA, 2012).

El 99,6% de la producción de oro en el país se concentra en trece áreas (departamentos) del país, con 95% en sólo diez departamentos. De acuerdo con las estadísticas históricas de SIMCO (Sistema Colombiano de Información Minera), los departamentos con mayor producción de oro en los últimos cinco años han sido, en orden, Antioquia, Chocó, Bolívar, Caldas, Cauca, Valle del Cauca, Tolima, Nariño, Córdoba, Santander, Risaralda, Putumayo y Huila (PNUMA, 2012).

## **1.2 Descripción General del Proyecto**

El proyecto del Fondo de Prosperidad del Reino Unido en Colombia sobre “Estrategias para la rehabilitación de tierras mineras contaminadas con mercurio para energías renovables y otras estrategias de reutilización autosostenibles”, se desarrolló desde mediados de 2016 hasta principios de 2017. Para rehabilitar las tierras afectadas por la contaminación del mercurio del suelo en las zonas desfavorecidas de Colombia y volverlas a utilizar de manera productiva, centrándose en las oportunidades de energía renovable y / o en otros servicios que resulten más apropiados; Apoyar los objetivos de FCO de aumentar la estabilidad regional, facilitar el crecimiento económico sostenible, aprovechar la innovación en particular para el desarrollo con bajas emisiones de carbono, apoyar la adhesión a la OCDE e identificar las posibilidades de nuevas empresas comunitarias.

Los dos activos más vitales de Colombia -el capital social y natural- están en riesgo crónico después de medio siglo de conflicto. La extracción de oro mediante técnicas de recuperación

de mercurio ha dado lugar a graves consecuencias para la salud y el medio ambiente, en gran parte a causa del mercurio en quizás más de 7.000 lugares. Este proyecto considera tanto la mitigación del riesgo como las oportunidades de las empresas comunitarias para las tierras rehabilitadas.

El Reino Unido está a la vanguardia de la investigación y la inversión práctica en la remediación sostenible, el compromiso de la comunidad en la regeneración y la reutilización de los campos abandonados para energías renovables, equipamiento y ocio. Este enfoque integrado ofrece mejores beneficios para la salud y el medio ambiente, el crecimiento económico sostenible (incluyendo oportunidades comerciales y empresariales comunitarias en Colombia), beneficio a los socios del Reino Unido para futuros negocios e influencia y ayuda a la adaptación al cambio climático y la resiliencia.

El proyecto adaptó los razonamientos de la EPA de los Estados Unidos, el Reino Unido y la UE sobre la rehabilitación de campos abandonados para la energía renovable y otras reutilizaciones suaves o de bajo insumo para estas áreas de minería de oro afectadas por la contaminación por mercurio. Combinó la investigación a nivel estructural y político con las investigaciones específicas del sitio (en ubicaciones identificadas en conjunto con los Ministerios Ambientales y Mineros de Colombia) para sugerir directrices de alto nivel y orientación general, diseño y apoyo a la decisión y propuestas de desarrollo en uno o más sitios. Evaluó y adaptó estrategias innovadoras de bajo insumo para el manejo de la tierra, la remediación sostenible y el desarrollo de empresas comerciales o comunitarias (particularmente para energías renovables) para estas áreas afectadas por la minería aurífera artesanal, conectando la ciencia y la base técnica para la política en Colombia con el estado del arte internacional.

El enfoque sobre el mercurio se vincula directamente con las actuales preocupaciones de Colombia bajo el Convenio de Minamata, al que se unió en 2013. Además de los estudios de factibilidad sobre la producción de energía renovable en tierras mineras, el proyecto llevó a cabo pruebas a escala de laboratorio de técnicas de inmovilización de mercurio en muestras de dos locaciones en Colombia: Segovia en Antioquia y Tadó en Chocó. Estas dos áreas tienen una historia de minería de oro artesanal con su contaminación ambiental asociada (incluyendo mercurio) e impactos sociales, y fueron seleccionadas en consulta con los Ministerios de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y el de Energía y Minas de Colombia.

### **1.3 Antecedentes y alcance del producto 2**

El Proyecto “Estrategias para la rehabilitación de tierras mineras contaminadas con mercurio para energías renovables y otras estrategias de reutilización autosostenibles” proporcionó tres resultados principales de dominio público:

1. Un plan para pruebas de campo in-situ de técnicas que prometen ser replicables a otros sitios contaminados de manera similar, basados en evaluaciones de tecnología y trabajo de prueba a escala de laboratorio.
2. Orientación y estrategias para la reutilización de tierras mineras contaminadas, mediante la transferencia de conocimientos de última generación y de enfoques de implementación exitosos del Reino Unido, la UE y América del Norte, adaptándolos a la situación local en Colombia.

3. Un informe de política para los gobiernos regionales y nacionales en Colombia. En el documento se describen las estrategias para tratar los yacimientos mineros contaminados y se abordan los compromisos políticos contenidos en la Ley 1658 de 2013, el compromiso de Colombia con el Convenio Minamata de las Naciones Unidas (el Plan Único de Mercurio), el Acuerdo Climático de París 2015 y la adhesión colombiana a la OCDE

Este es el informe del Producto 2: *Orientación y estrategias para la reutilización de la tierra mediante la transferencia de conocimientos de última generación y la implementación exitosa del Reino Unido, la UE y América del Norte, y su adaptación a la situación local según lo dicten las circunstancias*. Entre una amplia gama de recursos técnicos, este informe hace especial uso de varios proyectos internacionales que son el producto de la investigación previa y la evaluación cuestan varios millones de libras esterlinas:

- Proyecto FP7 HOMBRE 2010-2014 ([www.zerobrownfields.eu](http://www.zerobrownfields.eu)) y FP7 Groenlandia 2010-2014 ([www.greenland-project.eu](http://www.greenland-project.eu)), cuyos resultados sirvieron de base para las secciones 2 y 3 de este informe (después de la actualización y adaptación al contexto colombiano), excluyendo los estudios de caso.
- Herramienta de renovables de la US EPA: un “Árbol de decisión electrónico” puede utilizarse para determinar la viabilidad de un sitio para desarrollar un proyecto de energía renovable, teniendo en cuenta su uso en sitios contaminados o degradados (<https://www.epa.gov/re-powering/re-powerings-electronic-decision-tree>).
- SURF-UK 2009 - a la fecha ([www.claire.co.uk/surfuk](http://www.claire.co.uk/surfuk)) que proporcionó gran parte de la base para la Sección 4.1 de este informe;
- Land Trust productos 2016 (<http://thelandtrust.org.uk>), en particular el informe de un proyecto llevado a cabo durante 2016 que exploró la sostenibilidad del desarrollo de Port Sunlight Riverside Park (Reino Unido). Los resultados de este proyecto fueron, compartidos pro bono, con el trabajo del FCO.

Además, r3 UK también ha participado en el proyecto del Fondo Estratégico para la Prosperidad de China (SPF) para "Promover la colaboración chino-británica en el desarrollo de metodologías bajas y sostenibles para sitios contaminados abandonados y la reutilización marginal de tierras en China" (proyecto 16AG15). Este proyecto tiene fuertes sinergias con este informe de orientación del Producto 2, con su enfoque similar en remediación de bajo nivel de insumos, bajo carbono y campos contaminados. Por lo tanto, las fuentes técnicas y el contenido de este informe de orientación tienen una cobertura muy similar al informe final del Proyecto China. En la medida de lo posible, el contenido técnico es lo más coherente posible para garantizar que se evite la orientación contradictoria en el dominio público. Sin embargo, existen algunas diferencias porque los informes se han desarrollado de forma independiente en consulta con las partes interesadas locales y se han adaptado a y enfocado en los requisitos nacionales. Sin embargo, las fuertes sinergias entre estos proyectos han permitido desarrollar un enfoque fuertemente transnacional, que aporta valor añadido a esta evaluación centrada en Colombia y crea oportunidades para un desarrollo más concertado y colaborativo en el futuro.

## 1.4 Objeto

Este informe está diseñado para apoyar a los asesores de políticas nacionales, así como a los diseñadores de proyectos locales y tomadores de decisiones en: (1) identificar opciones para desarrollar el mayor valor global de la reutilización "suave" (no construida) de áreas contaminadas / suelos contaminados; (2) seleccionar técnicas adecuadas de remediación de bajos insumos para el manejo de problemas de contaminación; Y (3) proveer un medio para evaluar la sostenibilidad y el valor total de cualquier estrategia general de restauración acordada. El informe contiene tres partes:

- Una matriz de oportunidades de sitios contaminados abandonados (BOM), incluyendo los resultados de probarlo en dos localizaciones de estudio de caso en Colombia
- Orientación técnica detallada
- Evaluación de la sostenibilidad y enfoques de valoración

La BOM ha sido probada mediante el compromiso con las partes interesadas a nivel nacional, regional y local, mediante reuniones de grupos focalizados, incluyendo un taller de intercambio a mediano plazo de proyectos e intercambio de información con actores seleccionados y con los principales participantes del gobierno colombiano.

La información detallada figura en dos anexos y en las referencias recomendadas:

### **Anexo 1. La Matriz de Oportunidades para Sitios Contaminados Abandonados (BOM):**

Esta sección contiene información sobre el origen de la matriz y su adaptación a las condiciones de Colombia. Asimismo, el usuario puede encontrar las instrucciones sobre cómo y cuándo usar esta herramienta. Al final de la Sección, el usuario encontrará dos ejemplos prácticos para dos casos de estudios definidos.

**Anexo 2. Secciones Detalladas de Orientación Técnica:** En esta sección, el lector encontrará una descripción más detallada de las discusiones técnicas de remediación suave y el uso de campos abandonados para las energías renovables, incluyendo algunos ejemplos de Colombia; Junto con algunos estudios de caso internacionales sobre energías renovables.



## 2. La Matriz de Oportunidades para Sitios Contaminados Abandonados (BOM)

La BOM es una sencilla herramienta de evaluación diseñada para ayudar a los desarrolladores y responsables de la toma de decisiones involucrados de alguna manera en áreas contaminadas a identificar qué servicios pueden resultar de las intervenciones de reutilización suave de su sitio, cómo interactúan y cuáles podrían ser las consideraciones iniciales de diseño predeterminado.

La reutilización de sitios contaminados abandonados puede ser para reutilizaciones duras como viviendas, parques empresariales o infraestructura. Alternativamente, también hay usos finales suaves, tales como espacios verdes o energías renovables como la producción de biomasa. Por supuesto, los cultivos alimentarios son otra forma de biomasa. Las reutilizaciones suaves son aquellas en las que el suelo permanece sin sellar y su funcionalidad se mantiene o mejora (Cundy, *et al.*, 2013). La mayor parte de la atención tiende a ser prestada a la construcción de la reutilización. Sin embargo, rara vez es probable que la reutilización construida sea una propuesta viable para la tierra afectada por la minería en Colombia, que podría estar alejada del asentamiento o en áreas de demanda económica limitada para opciones de reutilización duras. Sin embargo, los usos finales suaves pueden proporcionar servicios de un proyecto de restauración. Dependiendo del diseño, algunos ejemplos de estos "servicios del proyecto" son:

- Provisión de espacios abiertos como parques para las comunidades locales, que trae beneficios para el bienestar, la salud, el ocio, la cohesión social, la elevación económica y un sentido de lugar;
- Proporcionar infraestructura verde y servicios como los relacionados con la protección del agua, el mejoramiento de la calidad del aire, la provisión de sombra y el fomento del hábitat y la vida silvestre;
- Apoyar el renacimiento y las innovaciones en jardinería urbana, jardines comunitarios y agricultura urbana;
- Suministro de energía renovable y otros servicios ambientales (como el drenaje urbano sostenible).
- Protección de los recursos hídricos.

Algunos servicios pueden generar ingresos por derecho propio, algunos pueden ser activos importantes para apoyar el desarrollo social y algunos pueden tener beneficios directos o indirectos sobre el valor de la tierra local o la economía local (por ejemplo, suministro de energía local u otros servicios ambientales). Los proyectos de restauración que ofrecen una amplia gama de servicios han mejorado tanto la sostenibilidad global como han aumentado el valor económico.

Un servicio de proyecto es explícitamente reconocido y diseñado como resultado de un proyecto de restauración. Para lograr la prestación del servicio, se necesita alguna forma de intervención, por ejemplo, remediación o mejoramiento del suelo. La BOM es una herramienta sencilla para mostrar cómo los servicios se pueden conectar con intervenciones y viceversa. Además, se trata de una lista de verificación para determinar la gama de posibles servicios que podrían proporcionarse y el número mínimo (u óptimo) de intervenciones necesarias para ello.

El Anexo 1 describe la matriz de oportunidades y su uso con mayor detalle. es una sencilla herramienta de exploración basada en Excel, que esencialmente traza los servicios que podrían agregar valor a un proyecto de reurbanización en contra de las intervenciones que pueden proporcionar esos servicios. La Tabla 1 proporciona una lista de la amplia gama de posibles servicios de restauración de la tierra de sitios contaminados para su reutilización suave.

La BOM se encuentra disponible, con un paquete de soporte de archivos de apoyo a la participación de los interesados, en inglés (Bardos *et al.* 2016) y como una versión personalizada del idioma colombiano en español, que fue desarrollada y traducida durante este proyecto de FCO Colombia. Estas herramientas están disponibles en <http://www.r3environmental.com.co/es/descargas.html>.

Tabla 1. Servicios potenciales de las reutilizaciones suaves de la tierra de sitios contaminados

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del valor del sitio / valoración del entorno /</li> <li>• Generación de energía renovable             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Basada en Biomasa</li> <li>– Geotérmica</li> <li>– Eólica y Solar</li> </ul> </li> <li>• Generación de materiales renovables (por ejemplo, materias primas biológicas)</li> <li>• Mitigación de gases de efecto invernadero (posibles ingresos por compensación de carbono)</li> <li>• Sinergias con el tratamiento y reutilización de residuos, gestión de lixiviados</li> <li>• Blindaje / Sonorización</li> <li>• Gestión de crecidas - enlace con "Sistemas Sostenibles de Drenaje Urbano"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicios/comodidades y Ocio</li> <li>• Gestión del clima urbano (como la mitigación del efecto de la isla de calor urbano)</li> <li>• Gestión de la calidad del aire</li> <li>• Hábitat y conservación</li> <li>• Mejoramiento de los recursos hídricos y del suelo</li> <li>• Mejor salud y bienestar</li> <li>• Oportunidades de educación</li> <li>• Participación de la comunidad</li> <li>• <i>Servicios del sistema ecológico</i></li> </ul>
---	--



Figura 2. Vista de la versión en español de la BOM simplificada

## 2.1 Participación de las partes interesadas en la BOM

Un proyecto exitoso depende de una visión compartida de cuáles son los servicios deseados de la restauración y reutilización de la tierra y de las formas más eficaces de lograr estos servicios, es decir, las intervenciones necesarias. La BOM muestra cómo se conectan las intervenciones de reutilización suave y los servicios. La matriz está destinada a facilitar las discusiones entre las partes interesadas, que podrían tener diferentes ideas sobre los resultados deseados para un sitio, para ayudarles a encontrar un enfoque común. Se pretende apoyar la visualización de los servicios y las diferentes formas de valor que puedan existir para diferentes actores, sinergias entre éstos y encontrar un conjunto común de objetivos para un proyecto y los medios óptimos para lograrlos, por ejemplo, explotando sinergias para obtener el Máximo de servicios de las pocas intervenciones que se implementen (Beumer *et al.*, 2014).

La participación efectiva de las partes interesadas se ha identificado como un requisito clave para la aplicación de estrategias de remediación sostenible y en la regeneración del sitio más ampliamente. La participación de las partes interesadas en la rehabilitación de la tierra para un uso final suave, particularmente en entornos urbanos y suburbanos, es quizás más amplia y más compleja que en muchos otros campos de remediación, por varias razones (Cundy *et al.* 2013):

1. El número de partes interesadas puede ser más amplio para los usos finales suaves porque sus múltiples servicios y escala significan que hay un mayor número de beneficiarios y organizaciones o individuos afectados.
2. La gama de problemas puede ser más compleja debido a la gama de "servicios" previstos y al uso de técnicas de remediación más lentas de bajo nivel de insumo (o suave) que pueden desplegarse para lograr la restauración (ver Sección 3).
3. La propuesta de gestión de riesgos puede ser más compleja.
4. El despliegue también puede verse afectado por una serie de incertidumbres técnicas y naturales relacionadas con los servicios prestados, así como con las medidas de restauración aplicadas.
5. Lograr un consenso entre diferentes intereses u objetivos en los servicios.

En la Tabla 2 se lista una serie de principios clave para la participación efectiva de las partes interesadas en forma de proceso.

*Tabla 2. Principios básicos para la participación de las partes interesadas (Cundy et al., 2013)*

Identificar y comprometer a las partes interesadas significativas y no significativas desde el principio del proceso
Adoptar un enfoque proactivo y no reactivo para el compromiso
Involucrar a las partes interesadas en todas las etapas
Plan para la participación a largo plazo de las partes interesadas
Desarrollar estructuras de comunicación eficaces que permitan un diálogo recíproco y bidireccional
Garantizar que el compromiso sea transparente y registrado
Reconocer que los criterios pueden ser subjetivos y objetivos

Establecer todos los supuestos y procedimientos para la implementación y monitoreo al inicio de un proyecto

Seguir un enfoque lógico y escalonado de la participación para evitar argumentos circulares y abordar claramente los asuntos subjetivos

## 3. Secciones de orientación técnica detallada

### 3.1 Antecedentes de la gestión de riesgos

Si se contaminan terrenos marginados o marginales, entonces se deben evaluar los riesgos de esa contaminación para determinar si se necesita alguna forma o manejo (como remediación). Pueden plantearse riesgos para la salud humana o para el medio ambiente en general. Para que exista un riesgo de contaminación, deben existir tres componentes: una fuente de sustancias peligrosas, un receptor que pueda ser afectado por ellas y una vía que enlace la fuente con el receptor (ver en la Figura 3). Esta combinación se denomina *enlace contaminante*. En la mayoría de los países desarrollados, el proceso de contaminación de la tierra es uno de *Gestión de Tierras Basada en Riesgos* (Vegter *et al.*, 2002) en menor o mayor medida (Nathanail *et al.*, 2013). En varios países se han desarrollado amplias orientaciones. En el Reino Unido, esta orientación de alto nivel para esto está contenida en una serie de Procedimientos Modelo (Agencia Ambiental y Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales - Defra, 2004). Más recientemente, con el advenimiento de los conceptos de *remediación sostenible* (ver la sección 4); el nuevo modelo es *Gestión Sostenible de Tierras Basados en el Riesgo*. Este enfoque encapsula décadas de aprendizaje de muchos países. Los países relativamente nuevos en políticas y marcos de manejo de tierras contaminadas pueden beneficiarse de este aprendizaje y evitar costos considerables y muchos errores técnicos (Rizzo *et al.* 2016).

La Gestión del Riesgo es el proceso de evaluar los riesgos y decidir qué se debe hacer con ellos; Es decir, si el riesgo es significativo y, en caso afirmativo, si debe ser mitigado por alguna forma intervención de remediación. La estructura de los enlaces contaminantes también indica los principales puntos de intervención que se pueden utilizar para manejar los riesgos de la siguiente manera:

- A nivel de la fuelle; Por ejemplo, como una acción de eliminación de fuente
- A nivel de la vía de exposición; Por ejemplo, la gestión de la propagación de una pluma de agua subterránea, incluida la *monitorización* de la atenuación natural
- A nivel del receptor; Por ejemplo, mediante la plantación densa para impedir el acceso humano o mediante algún tipo de control de planificación (institucional) para limitar el uso permisible de la tierra (por ejemplo, no apto para viviendas con jardines).

Un enfoque de gestión de riesgos puede integrar intervenciones a diferentes niveles. Por ejemplo, la eliminación parcial de la fuente para la gestión de la vía para hacer frente a la contaminación residual, lo cual se puede combinar con protección adicional a través de un control de planificación (por ejemplo, restricciones sobre el uso de agua de pozos particulares). La Figura 3 da ejemplos de estas intervenciones en un contexto de remediación suave.

Existe un caso especial para las tierras donde se produce la biomasa. La propia biomasa puede convertirse en un camino para la propagación de la contaminación a otras personas, incluso para los cultivos no alimentarios, dependiendo de cómo y dónde se utiliza la biomasa. Esta situación puede (1) hacer que la biomasa no sea apta para el uso, (2) adecuada para el uso sólo en instalaciones controladas, tales como residuos en instalaciones energéticas, o

(3) requerir medidas de mitigación, tales como el uso de estabilización in situ para reducir la absorción de plantas.

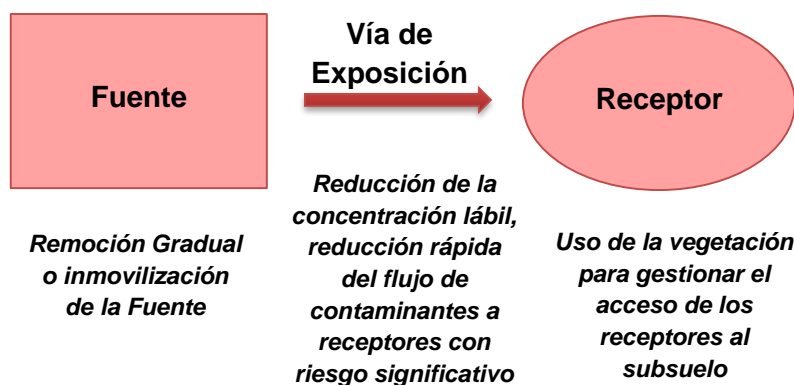


Figura 3. Un enlace de contaminantes y diferentes intervenciones de remediación suave a nivel de fuente, vía de exposición y receptor (tomado de Cundy et al. 2016).

### 3.2 Opciones de Remediación Gentil o Suave (GRO)

Los enfoques convencionales de remediación se han centrado principalmente en la contención, la cobertura y la remoción a vertederos (o "excavar y verter"). A partir de finales de los años noventa, se ha avanzado hacia estrategias de remediación basadas en el tratamiento, utilizando tecnologías de tratamiento *in situ* y *ex situ* como lavado de suelos, "bombeo y tratamiento" de aguas subterráneas contaminadas, junto con la adopción generalizada de un enfoque basado en el riesgo hacia la gestión de tierras contaminadas. Recientemente, con base en ideas anteriores sobre los enfoques de bajo nivel de insumo, ha surgido el concepto de Opciones Suaves de Remediación (GRO). Las GRO se definen como *estrategias / tecnologías de gestión del riesgo* que resultan en una ganancia neta (o al menos sin una pérdida bruta) en la función del suelo, así como en la gestión del riesgo (Cundy et al., 2013). Este énfasis en el mantenimiento y mejora de la función del suelo significa que tienen una utilidad particular para mantener los suelos biológicamente productivos, lo cual es importante cuando se considera un uso final "suave" para un sitio (como parques urbanos, producción de biomasa / biocombustibles, etc.). El Anexo 2 contiene orientación técnica sobre una serie de GROs fundamentales basadas en investigaciones, evaluaciones y resultados de proyectos patrocinados por la Comisión Europea, complementados por información de la EPA de los Estados Unidos sobre las Fito tecnologías para la remediación.

Las GRO abarcan una serie de tecnologías, entre ellas:

- El uso de procesos microbiológicos de plantas, hongos para la remoción, degradación o inmovilización de contaminantes, y
- Estabilización in situ (utilizando procesos biológicos o químicos, por ejemplo, sorción a biocarbón) o extracción de contaminantes.

Los suelos biológicamente productivos incluyen los utilizados para la agricultura, el hábitat, la silvicultura, el equipamiento y el paisajismo, y, por lo tanto, los GRO tenderán a ser de mayor beneficio cuando se pretenda un uso final "blando" de la tierra.

Las Opciones de Remediación Gentil son las estrategias a desplegar para eliminar el grupo lábil (o biodisponible) de contaminantes inorgánicos de un sitio (por ejemplo, mediante Fito extracción), para eliminar o degradar los contaminantes orgánicos (por ejemplo, la Fito degradación), proteger los recursos hídricos (por ejemplo, la rizo filtración), o estabilizar o inmovilizar los contaminantes en la subsuperficie (por ejemplo, Fito estabilización, inmovilización in situ / Fito exclusión).

Las GRO aplicadas inteligentemente, pueden proporcionar: a) una gestión rápida de los riesgos mediante el control de las vías de exposición, mediante la contención y la estabilización, junto con una remoción o inmovilización / aislamiento de los contaminantes a más largo plazo; Y (b) una serie de beneficios económicos (por ejemplo, generación de biomasa), sociales (por ejemplo, recreación y ocio) y ambientales (por ejemplo, secuestro de CO<sub>2</sub>, filtración de agua y drenaje, restauración de comunidades vegetales y animales). Las técnicas de fitorremediación que impliquen la estabilización in situ de contaminantes o la eliminación gradual de la fracción lábil (es decir, biodisponible o fácilmente extraíble) de contaminantes presentes en un sitio, pueden ser soluciones duraderas mientras el uso del suelo y la práctica de manejo de tierras no experimenten cambios sustanciales, causando cambios en pH, Eh, cubierta vegetal, etc. Este requisito, sugiere que puede ser necesario algún tipo de control institucional o de planificación. Sin embargo, el uso de los controles institucionales sobre el uso de la tierra es un elemento clave de la remediación urbana, utilizando tecnologías convencionales (por ejemplo, limitación del uso para la producción de alimentos), por lo que cualquier requisito para el control y manejo institucional con fitorremediación continúa un precedente establecido.

### 3.3 Opciones de Generación de Energía Renovable

Una gama de técnicas que permiten generar energía renovable se puede desplegar en campos contaminados, incluyendo biomasa, fotovoltaica, eólica y potencialmente fuentes geotérmicas / geológicas<sup>1</sup>. La energía renovable explota fuentes que son compatibles con el carbono y, por lo tanto, ayudan a mitigar el calentamiento global. La producción de energía renovable permite un apoyo para independizar de los volátiles mercados de combustibles fósiles a los usuarios de estas energías, y pueden ser particularmente útiles en áreas de escasez de energía o de suministro variable. Por lo tanto, la producción de energía renovable es a la vez, un medio fiable y sostenible para producir energía y una estrategia para obtener seguridad en el suministro de energía, convirtiéndolo así en una solución atractiva tanto para los proveedores de energía (es decir, cumplir con las emisiones de GEI) como para los consumidores (contar con un suministro fiable a precios controlados). En comparación con los sectores convencionales de la energía, los estudios han revelado un gran potencial para la creación de empleo en el sector de energía verde y renovable (UK Energy Research Center, 2014). Aplicada en el contexto de la regeneración de áreas abandonadas, el suministro de energía renovable es una fuente potencial de ingresos para la gestión del sitio en curso. También evita el uso de sitios verdes para la producción de energías renovables, reduciendo los posibles conflictos de uso de la tierra. El Anexo 2 también contiene descripción detallada de las diversas opciones de energía renovable y el potencial, así como los pros y

---

<sup>1</sup> <https://www.epa.gov/re-powering>



los contras de la utilización de campos contaminados para la producción de biomasa renovable y materias primas orgánicas.

## 4. Evaluación y Valoración de Sostenibilidad

En la última década aproximadamente, se ha desarrollado un enfoque basado en el riesgo para el manejo de tierras históricamente contaminadas, basado en la prevención de riesgos inaceptables para la salud humana y el medio ambiente, para asegurar que un sitio sea "apto para el uso". Más recientemente, se ha demostrado interés en integrar la sostenibilidad como criterio de toma de decisiones, es decir, seleccionar un enfoque de remediación que consiga un beneficio neto equilibrado al considerar impactos ambientales, económicos y sociales más amplios. La remediación sostenible se ha convertido en un área de intenso desarrollo en todo el mundo, con organizaciones del sector público y privado involucradas en una serie de proyectos y redes destinadas a mejorar la práctica de remediación y hacerla más sostenible. La remediación y regeneración sostenible de zonas abandonadas son términos que se solapan. La regeneración sostenible de zonas abandonadas se define como "la ordenación, la rehabilitación y el retorno al uso beneficioso de la base de recursos de tierras abandonadas de tal manera que garantice el logro y la satisfacción continua de las necesidades humanas de las generaciones presentes y futuras en condiciones ambientalmente no degradantes, viables, sólidas desde el punto de vista institucional y socialmente aceptables "(RESCUE Consortium 2005).

Este interés por la remediación sostenible es un fenómeno mundial (Rizzo *et al.*, 2016). Las diversas iniciativas en todo el mundo han publicado una serie de marcos, normas, documentos técnicos, hojas de ruta y directrices operativas. Si bien las publicaciones difieren en los detalles, en general hay un alto grado de coherencia entre las definiciones y los principios, lo que indica una comprensión compartida de lo que es la remediación sostenible a través de los países y grupos de partes interesadas. Un Foro Colombiano, SURF-Colombia es parte de este esfuerzo mundial (<http://surfcolombia.org/>) y r3-Colombia ha sido un miembro destacado de este trabajo, ya que r3-UK ha asumido un papel destacado en NICOLE y en el foro de remediación sostenible del Reino Unido, SURF-UK, ([www.claire.co.uk/surfuk](http://www.claire.co.uk/surfuk)).

En el Reino Unido, el Foro de Remediación Sustentable (SuRF-UK) ha proporcionado una orientación detallada sobre cómo llevar a cabo la evaluación de la sostenibilidad de los proyectos de remediación (CL: AIRE, 2011) y se ha adoptado una descripción general de la evaluación de la sostenibilidad (en el contexto de la remediación) en la norma ISO publicada recientemente (ISO, 2016).

Un desarrollo clave a nivel de la UE fue cuando NICOLE y el FORO COMÚN (COMMON FORUM) publicaron una declaración de posición conjunta sobre la "Remediación sustentable y basada en el riesgo" en 2013 para promover la integración de la gestión de tierras sostenible y basada en el riesgo en toda Europa (NICOLE y Common Forum, 2013).

- NICOLE es un foro de referencia sobre gestión de tierras contaminadas en Europa, que promueve la cooperación entre la industria, el mundo académico y los proveedores de servicios en el desarrollo y la aplicación ([www.nicole.org](http://www.nicole.org)).
- El FORO COMÚN sobre Tierras Contaminadas es una red de responsables de políticas de tierras contaminadas, reguladores y asesores técnicos de las Autoridades Ambientales de los países miembros de la Unión Europea y de los países de la Asociación Europea de Libre Comercio ([www.commonforum.eu](http://www.commonforum.eu)).

Cuatro características son particularmente importantes en la toma de decisiones basadas en la remediación sostenible: (1) la evaluación de la sostenibilidad no reemplaza la toma de decisiones basada en el riesgo, esto y una serie de otros principios amplios de apoyo han sido resumidos por SuRF-UK (ver la Tabla 3 de en seguida). (2) La sostenibilidad abarca una amplia gama de criterios. La Tabla 4 enumera las categorías generales de criterios considerados por SuRF-UK, cuya orientación sobre indicadores está en uso generalizado (CL: AIRE). (3) Debe adoptarse un planteamiento escalonado de la evaluación, de modo que siempre se prefiera el enfoque más simple y más fácil y las evaluaciones más complicadas sólo se utilicen cuando se utilicen métodos más sencillos para no dar una respuesta inequívoca, véase la Figura 4 (4) La efectividad y la aceptabilidad de cualquier evaluación de sostenibilidad depende, en gran medida, del compromiso con una amplia gama de partes interesadas involucradas en un proyecto, aunque una *evaluación preliminar* podría ser realizada inicialmente por un equipo pequeño para obtener una perspectiva general y proporcionar una base más concreta para la participación más amplia de las partes interesadas.

En términos generales, hay tres categorías de evaluación: cualitativa, semicuantitativa y cuantitativa. Sin embargo, todos ellos necesitan ser adecuadamente enmarcados (es decir, preparados y definidos) antes de la ejecución. Por lo tanto, en cualquier evaluación de sostenibilidad, existen tres etapas generales: preparación, definición y ejecución, como se muestra en la Figura 5. Dependiendo de cómo se involucren las partes interesadas durante la evaluación de sostenibilidad, puede haber alguna iteración en estas etapas a medida que se perfecciona el análisis:

- *Preparación* - acordar de antemano cómo se reportará la evaluación de sostenibilidad; Quiénes participarán, y cómo se llevará a cabo la comunicación con otras partes interesadas.
- *Definición* - proporcionar un procedimiento de evaluación claramente definido, considerando: objetivos, límites, alcance, método e incertidumbre.
- *Ejecución* - realizar el procedimiento de evaluación definido con un nivel adecuado de diálogo y garantizar que el procedimiento, sus conclusiones y sus supuestos subyacentes se comuniquen claramente a todas las partes pertinentes.

El uso de un modelo conceptual de sostenibilidad como un hilo conductor a través de los diferentes niveles de evaluación de la sostenibilidad para la valoración cuantitativa en términos financieros puede ser muy útil. Esto se debe a que, a menudo, las decisiones de política, financiamiento y / o inversión deben justificarse sobre la base de un análisis de costo-beneficio formal (CBA). El uso de CBA puede ser altamente polémico por una serie de razones. Las metodologías de valoración pueden no considerarse fiables. El proceso puede no ser visto como transparente y, quizás lo más importante de todo, el alcance de la evaluación puede ser visto por muchas partes interesadas como limitado y no adecuadamente relevante para sus intereses (Bardos, *et al.*, 2016). Sin embargo, el CBA (Análisis Costo-Beneficio) sostiene la toma de decisiones políticas en muchos casos y, por supuesto, las decisiones de inversión, tanto para los fondos públicos como para los privados. Un modelo conceptual de sostenibilidad del sitio es más fácil de acordar a nivel *cualitativo* como un entendimiento común o compartido a través de una gama de actores, cualesquiera que sean sus intereses. La evaluación subsiguiente (CBA), utilizando el mismo modelo compartido y también mostrando cómo las técnicas de valoración específicas se adaptan mejor a los diferentes aspectos de este modelo compartido de una manera transparente,

proporciona CBA que es robusto y coherente con la evaluación de la sostenibilidad. También significa que, incluso si algunos actores no están a favor de CBA, es claro para ellos cómo se derivó el CBA, para que puedan hacer sus propias representaciones.

En el informe de un proyecto hermano de este proyecto, se presenta un esquema completo, con un estudio de caso ilustrativo, de cómo llevar a cabo la evaluación de sostenibilidad, incluido el uso de un modelo conceptual de sostenibilidad para refinar y valorar los resultados (Coulon *et al.* 2017).

*Tabla 3. SuRF-UK: Principios clave asociados con la remediación sostenible (CL:AIRE, 2010)*

<b>Principio</b>	<b>Descripción</b>
<b>Principio 1: Protección de la salud humana y del medio ambiente en general.</b>	La remediación [gestión del riesgo específica del lugar] debe eliminar los riesgos inaceptables para la salud humana y proteger el medio ambiente en general ahora y en el futuro para el uso del suelo convenido y tener debidamente en cuenta los costos, beneficios, eficacia, durabilidad y viabilidad técnica de las opciones disponibles.
<b>Principio 2: Prácticas de trabajo seguras.</b>	Los trabajos de remediación deben ser seguros para todos los trabajadores y para las comunidades locales, y deben minimizar los impactos sobre el medio ambiente.
<b>Principio 3: Tomar decisiones coherentes, claras y reproducibles basadas en la evidencia.</b>	Las decisiones de remediación sostenibles basadas en el riesgo se toman teniendo en cuenta los factores ambientales, sociales y económicos, y consideran las implicaciones actuales y futuras. Estas soluciones maximizan los beneficios potenciales obtenidos. Cuando los beneficios y los impactos se agregan o se negocian de alguna manera, este proceso debe ser explicado y se debe proporcionar una justificación clara.
<b>Principio 4: Mantenimiento de registros e informes transparentes.</b>	Las decisiones de remediación, incluidos los supuestos y los datos de apoyo utilizados para llegar a ellos, deben documentarse en un formato claro y fácilmente comprensible para demostrar a las partes interesadas que se ha adoptado una solución sostenible (o de otro tipo).
<b>Principio 5: Buen gobierno y participación de las partes interesadas.</b>	Las decisiones de remediación deben tomarse teniendo en cuenta las opiniones de las partes interesadas y siguiendo un proceso claro dentro del cual puedan participar.
<b>Principio 6: Ciencia fundamentada.</b>	Las decisiones deben tomarse sobre la base de datos científicos sólidos, datos pertinentes y precisos y suposiciones, incertidumbres y juicios profesionales claramente explicados. Esto garantizará que las decisiones se basen en la mejor información disponible y sean justificables y reproducibles.

Tabla 4. Categorías globales de indicador SuRF-UK (CL:AIRE, 2010)

Medio-Ambientales	Sociales	Económicas
Emisiones al Aire	Salud y Seguridad Humana	Costos y beneficios económicos directos
Condiciones del suelo y del terreno	Ética y equidad	Costos y beneficios económicos indirectos
Agua subterránea y superficial	Vecindarios y localidad	Empleo y capital de empleo
Ecología	Comunidades y participación de la comunidad	Costos y beneficios económicos inducidos
Recursos Naturales y Residuos	Incertidumbre y evidencia	Vida útil del proyecto y flexibilidad

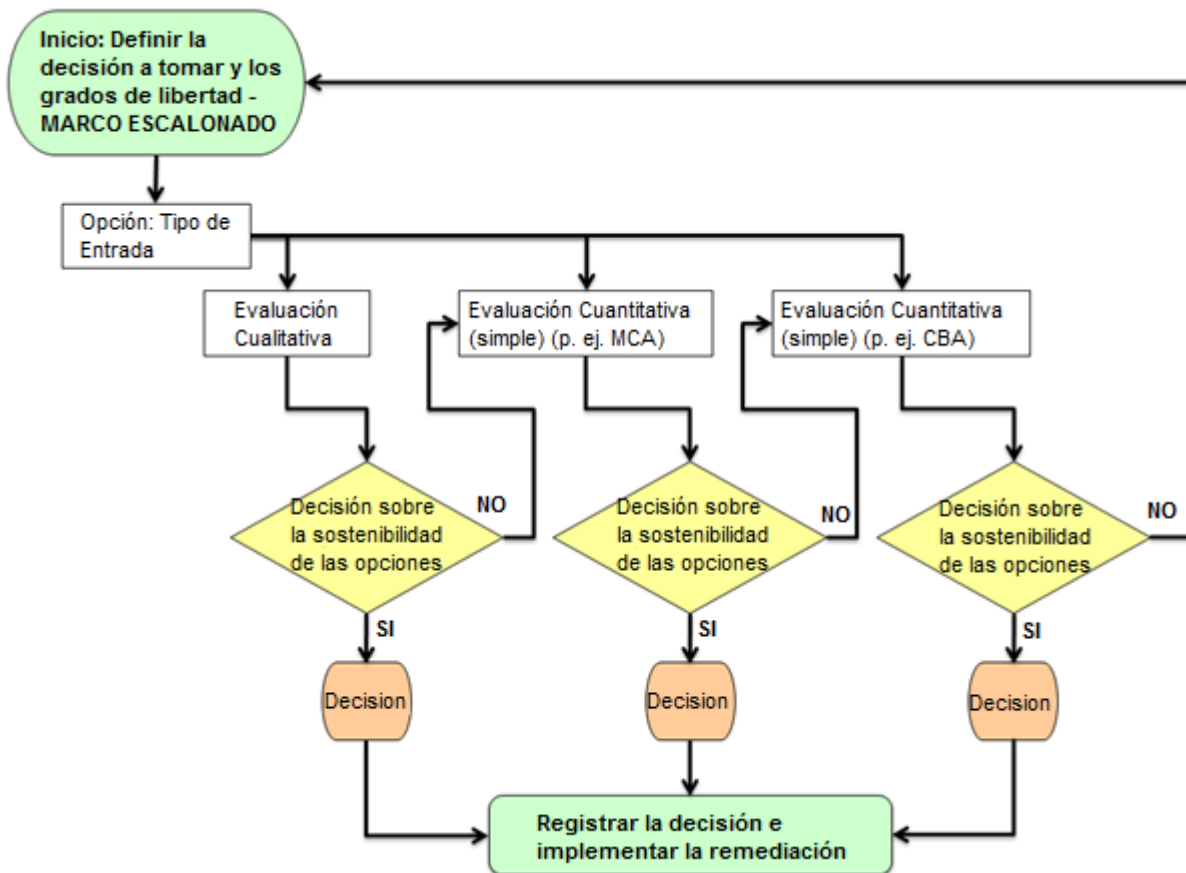


Figura 4. Un enfoque escalonado para la evaluación de la sostenibilidad (CL:AIRE, 2011)

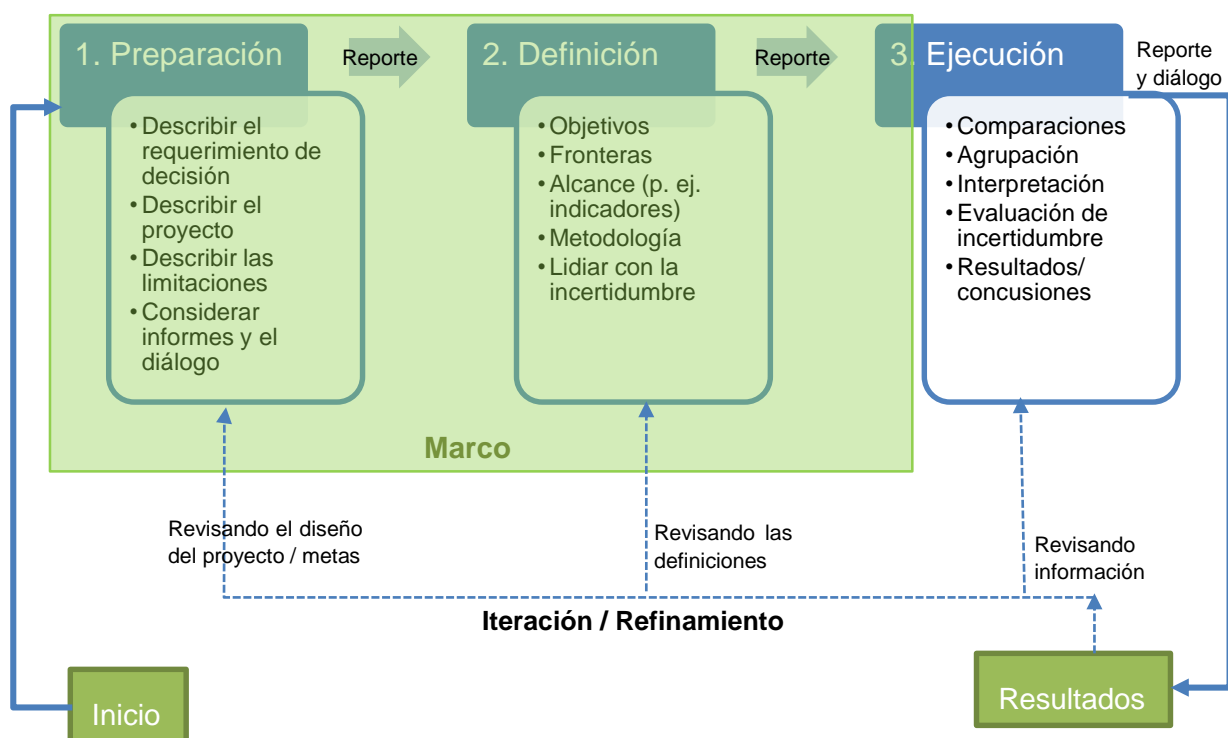


Figura 5. Un enfoque SuRF-UK para la evaluación de la sostenibilidad (CL:AIRE, 2014a)

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

Colombia tiene una enorme oportunidad para la generación de recursos renovables, como la energía de su tierra, por ejemplo, de energía fotovoltaica. La vinculación de la reutilización segura de los yacimientos contaminados (siguiendo la aplicación de técnicas de remediación "suaves" de bajo insumo) con la generación de renovables presenta una oportunidad "virtuosa" para el (re) uso de la tierra por varias razones.

- Es posible lograr una variedad de arreglos del mercado energético local: El enfoque es escalable - que puede ser trabajado desde proyectos comunitarios hasta grandes proyectos con grandes compañías mineras.
- Los ingresos procedentes de las energías renovables pueden ayudar a compensar el costo de hacer la tierra segura (remediarla), por ejemplo, a partir de especies móviles de mercurio.
- El uso de estas tierras degradadas es un enfoque más sostenible para proporcionar energías renovables que convertir el hábitat o las tierras agrícolas en la producción de energías renovables.
- Colombia obtiene mucha energía gratis del sol en comparación con muchos otros países del mundo desarrollado (por ejemplo, el Reino Unido).
- También puede haber oportunidades de ingresos por compensación de carbono bajo el Protocolo de Kioto.
- Donde no sea adecuado para las energías renovables, entonces se debe considerar la restauración como espacio abierto público para los beneficios sociales que se puedan proporcionar.

Este enfoque también puede traer mayores beneficios sociales y económicos en Colombia. Los ingresos procedentes de energías renovables (y potencialmente también de compensación de carbono) se pueden reciclar localmente. Combinarlo con otros usos de la tierra también puede ser muy valioso, por ejemplo, con parques públicos o de ocio. Estos podrían combinarse, por ejemplo, como un "mosaico" con la producción de energía renovable para mejorar la aceptabilidad y viabilidad general del proyecto; Así como mejorar el apoyo local y, por lo tanto, la seguridad del proyecto.

Este breve documento de orientación proporciona una visión general de la información necesaria para: (1) evaluar las oportunidades para el despliegue conjunto de una restauración más suave y la producción de energías renovables en sitios en Colombia; (2) comprender los parámetros técnicos de los enfoques disponibles; y (3) realizar evaluaciones de la sostenibilidad global y vincular esto con el análisis costo-beneficio (CBA).

Esta orientación se apoya tanto en la información complementaria que figura en los anexos siguientes como en las referencias señaladas en esta guía. También se puede descargar información adicional de << <http://www.r3environmental.com.co/es/descargas.html> >>, incluyendo versiones en español de la guía de oportunidades aquí descrita y los otros resultados públicos de este proyecto:

- Producto 1: Estrategias para la rehabilitación de tierras mineras contaminadas con mercurio para energías renovables y otras estrategias de reutilización autosostenibles [*Un plan para pruebas de campo in-situ de técnicas que prometen ser replicables a*



*otros sitios contaminados de manera similar, basados en evaluaciones de tecnología y trabajo de prueba a escala de laboratorio.]*

- Producto 3: Informe de política para los gobiernos regionales y nacionales en Colombia. [*Un informe de política para los gobiernos regionales y nacionales en Colombia. En el documento se describen las estrategias para tratar los yacimientos mineros contaminados y se abordan los compromisos políticos contenidos en la Ley 1658 de 2013, el compromiso de Colombia con el Convenio Minamata de las Naciones Unidas (el Plan Único de Mercurio), el Acuerdo Climático de París 2015 y la adhesión colombiana a la OCDE]*

Este informe es sólo el comienzo de la historia en Colombia para desarrollar una estrategia para tratar con tierras mineras contaminadas y cosechar los beneficios energéticos de una reutilización efectiva. La siguiente fase del trabajo sería: (1) llevar a cabo proyectos de demostración / proyectos ejemplares en Colombia para proporcionar ensayos nacionales de prueba de concepto, (2) ampliar las habilidades y conocimientos locales, (3) crear oportunidades para la colaboración internacional entre el Reino Unido y Colombia, y (4) brindar la oportunidad de refinamientos técnicos a esta guía para adaptarse mejor a las condiciones locales en Colombia. Idealmente, esta orientación también podría ser actualizada en un proyecto posterior a medida que la experiencia crece con la implementación práctica de renovables con una suave remediación en Colombia.

Los beneficios potenciales de la aplicación conjunta de la remediación suave (bajos insumos) junto con la producción de energías renovables no sólo existen en Colombia. Un proyecto paralelo del FCO ha estado investigando oportunidades similares en China (<http://cnukcontaminatedland.com/uk/downloads>). Otra oportunidad existe para crear proyectos de demostración / ejemplares de colaboración mutuamente beneficiosos en varios países de diferentes regiones, incluyendo, por ejemplo, Colombia, Perú, México, Brasil, China e India. Estos proyectos de colaboración desarrollarían una cohorte verdaderamente internacional de despliegues de remediación / energías renovables basados en la experiencia básica desarrollada por este proyecto y el proyecto en China.

## 6. Referencias

- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., . . . Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere*, **99**, 19-33.
- Anderson-Sköld, Y., P. Bardos, M. Chalot, V. Bert, G. Crutu, P. Phanthavongsa, M. Delplanque, T. Track, A.B. Cundy (2014). Developing and validating a practical decision support tool (DST) for biomass selection on marginal land. *Journal of Environmental Management*, **145**, 113-121.
- Arias, S., Betancur, F. M., Gomez Rojas, G., Salazar, J. P., & Hernandez, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Bogotá: SENA.
- Banks, D. (2012). Presentation related to a scheme at Markham, UK. Recuperado de Minewater as an environmental heat source or sink: [http://www.gshp.org.uk/London/7\\_BanksGeothermalMinewater.pdf](http://www.gshp.org.uk/London/7_BanksGeothermalMinewater.pdf)
- Bardos, Bone, B. D., Boyle, R., Evans, F., Harries, N., Howard, T., & Smith, J. (2016a). The rationale for simple approaches for sustainability assessment and management in contaminated land practice. *Science of the total environment*, **563-564**: 755-768.
- Bardos, P., Jones, S., Stephenson, I., Menger, P., Beumer, V., Neonato, F., Maring, L., Ferber, U., Track, T. and Wendler, K. (2016) Optimising Value from the Soft Re-use of Brownfield Sites. *Science of the Total Environment* **563-564** 769-782 DOI 10.1016/j.scitotenv.2015.12.002
- Bardos, P., Andresson-Sköld, A., Keuning, S., Polland, M., Suer, P., & Track, T. (2010). (Rejuvenate Project) Report for the European Commission's 6th Framework Programme project SNOWMAN. Recuperado de Crop Based Systems for Sustainable Risk Based Land Management for Economically Marginal Degraded Land. Reporte de Investigación Final: [www.snowmanera.net/pages/science.html](http://www.snowmanera.net/pages/science.html)
- Beumer, V., Bardos, P., Menger, P., & et al. (2014). HOMBRE Project Deliverable D5.2. doi:10.13140/2.1.3175.0722 [www.zerobrownfields.eu](http://www.zerobrownfields.eu)
- CL:AIRE. (2010, March). A framework for assessing the sustainability of soil and groundwater remediation. Recuperado en diciembre de 2016, de CL:AIRE: [www.claire.co.uk/surfuk](http://www.claire.co.uk/surfuk)
- CL:AIRE. (2011). The SuRF-UK Indicator set for sustainable remediation assessment (Annex 1). Recuperado en diciembre de 2016, de CL:AIRE: [www.claire.co.uk/surfuk](http://www.claire.co.uk/surfuk)
- CL:AIRE. (2014a). The SuRF-UK Bulletin 4. Recuperado en diciembre de 2016, de CL:AIRE: [www.claire.co.uk/surfuk](http://www.claire.co.uk/surfuk)
- Cordero, J. (2015). Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (plomo y cadmio) y evaluación de selenio en la finca Furatena alta en el municipio de Utica (Cundinamarca). Bogotá: Universidad Libre.
- Cotton, C., Barton, C., Lhotka, J., Angel, P. N., & Graves, D. (2012). Evaluating reforestation success on a surface mine in eastern Kentucky. In D. L. Haase, J. R. Pinto, & L. E.

Riley, National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2011 (pp. 16-23). Fort Collins, Colorado: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Recuperado de:

[http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\\_p068/rmrs\\_p068\\_016\\_023.pdf](http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p068/rmrs_p068_016_023.pdf)

Coulon, F., Paul Bardos, Nicola Harries, Kate Canning, Mengfang Chen, Quing Hu, Kevin Jones, Fasheng Li, Hong Li, Diogo Gomes, Ming Liu, Rongxia Liu, Xia Yang (2016) Land contamination and brownfield management policy development in China: learning from the UK experience. Report from the China UK Partnership for Contaminated Land Management Matzo 2016. Recuperado de: <http://cnukcontaminatedland.com/uk/downloads>

Pág. | 22

Coulon F, Jiang, Y, Campo-Moreno, P., Longhurst, P. Jones, K., Li. H., Harries, N., Bardos, P., Li, X., Li, F., Cao, Y., Hu, Q., Gao, J., Zhu, Y-G. and Cai, C. (2017). Promoting Sino-UK collaboration on developing low carbon and sustainable methodologies for brownfields and marginal land re-use in China. Report from the China UK Partnership for Contaminated Land Management Enero, 2017. Recuperado de <http://cnukcontaminatedland.com/uk/downloads>

Cundy A.B, Bardos R.P, Church A., Puschenreiter, M. Friesl-Hanl M, Müller I., Neu S., Mench M., Witters N. and Vangronsveld J. (2013) Developing principles of sustainability and stakeholder engagement. *Journal of Environmental Management* **129** 283-291.

Cundy, A.B., Bardos, R.P., Puschenreiter, M., Mench, M., Bert V., Friesl-Hanl, W., Müller, I, Li, X.N., Weyens, N., Witters, N. and Vangronsveld J. (2016) Brownfields to green fields: Realising wider benefits from practical contaminant phytomanagement strategies. *Journal of Environmental Management* **184** (1):67-77 doi:10.1016/j.jenvman.2016.03.028.

Cundy, A., Bardos, P., Puschenreiter, M., Witters, N., Mench, M., Bert, V., Friesl-Hanl, W., Muller, I., Weyens N., and Vangronsveld J. (2015) Developing Effective Decision Support for the Application of “Gentle” Remediation Options: The GREENLAND Project. *Remediation Journal* **25** (3) 101-114

Cundy, A. B., Hopkinson, L., & Whitby, R. L. (2008). Use of iron-based technologies in contaminated land and groundwater remediation: A review. *Science of the Total Environment*, 1 (400), 42-51.

DAMMA. (2008). Plan de Acción: Áreas de Desarrollo. Dirección de Agricultura, Minería y Medio Ambiente (DAMMA). Segovia, Antioquia, Colombia. (Documento Interno)

Defra - Department for Environment, Food and Rural Affairs. (2011). Guidelines for Environmental Risk Assessment and Management. Recuperado de <https://www.gov.uk/government/publications/guidelines-for-environmental-riskassessment-and-management-green-leaves-iii>

Department for Environment, Food and Rural Affairs - Defra. (2009). Construction Code of Practice for the Sustainable Use of Soils on Construction Sites. Recuperado de [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/69308/pb13298-code-of-practice-090910.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69308/pb13298-code-of-practice-090910.pdf)

- Environmental Agency and Department for Environment, Food and Rural Affairs - Defra. (2004). Model procedures for the management of land contamination. Environment Agency R&D Report CLR11, Environment Agency, Bristol, UK. Recuperado de [www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/297401/scho0804bibr-e-e.pdf](http://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/297401/scho0804bibr-e-e.pdf)
- EPA. (10 de 12 de 2016). Environmental Protection Agency - USA (Repowering Decision Tree - factsheet). Recuperado de [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/repower\\_technologies\\_decision\\_tree.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/repower_technologies_decision_tree.pdf)
- Green, I. D., Boughey, K., & Diaz, A. (2014). Potentially Toxic Metals in Historic Landfill Sites: Implications for Grazing Animals Water Air Soil Pollut. doi:10.1007/s11270-014-2110-y
- Interstate Technology and Regulatory Council - ITRC. (2009). Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised. ITRC, Washington DC, USA. Recuperado de <http://www.itrcweb.org/Guidance/GetDocument?documentID=64>
- ISO. (2016). Soil Quality - Guidance on sustainable remediation. Recuperado en diciembre, 2016, de International Standards Organisation - ISO: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=62688](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=62688)
- Jones, S., Bardos, P., Petra S Kidd, Michel Mench, Frans de Leij; Tony Hutchings; Andrew Cundy, Chris Joyce, Gerhard Soja, Wolfgang Friesl-Hanl, Rolf Herzig, Pierre Menger (2016). Biochar and Compost Amendments Enhance Copper Immobilisation and Support Plant Growth in Contaminated Soils. *Journal Environmental Management* **171** 101-112. doi:10.1016/j.jenvman.2016.01.024
- Kerrison, & Smith. (2013, December). Benchmarking of Decision-Support Tools Used for Tiered Sustainable Remediation Appraisal. *Water, Air, & Soil Pollution*, **224** (1706). Doi: 10.1007/s11270-013-1706-y
- Kumpiene, J., Lagerkvist, A., & Maurice, C. (2008). Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments—a review. *Waste management*, **28** (1), 215-225.
- Leggo, P. J. (2013). Enhancing the Growth of Plants on Coal Waste Using a Biological Fertilizer. *International Journal of Environment and Resource*, **2** (3), 59-66.
- Lehmann, J., and Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. London, UK: Earthscan. Recuperado de <http://www.routledge.com/books/details/9781844076581>
- Licht, L. A., and Isebrands, J. G. (2005). Linking phytoremediated pollutant removal to biomass economic opportunities. *Biomass and Bioenergy*, **28** (2), 203-218.
- Lord, R., Green, R., Oyekanmi, E., Atkinson, J., Parry, C., & Bridgewood, K. (2010). Green waste for greening brownfields: Using compost to establish energy crops on previously developed land. [http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=BIOREGEN\\_Green\\_Waste.pdf](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=BIOREGEN_Green_Waste.pdf)

- MADS. (2016). Diseño de una Estrategia Integral para la Gestión de Pasivos Ambientales en Colombia. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado en Octubre de 2016, de: [http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Pasivos\\_Ambientales/herramientas\\_pasivos\\_ambientales.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Pasivos_Ambientales/herramientas_pasivos_ambientales.pdf)
- Marrugo, J. L., Durango, J., Pinedo, J., Olivero, J., & Diez, S. (2015). Phytoremediation of mercury-contaminated soils by *Jatropha curcas*. *Chemosphere*, **127**, 58-63. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.12.073
- Martinez, P. (2014). Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación y estado actual. *Innovaciencia*, **2**, 45-52.
- Millan, G., Vazquez, M., Terminiello, A., & Santos, D. (2010). Aplicación de enmiendas básicas a los suelos ácidos de la Región Pampa: efecto sobre el complejo de intercambio de suelos. *Ciencia del Suelo*, **28** (2).
- Mok, H.-F., Williamson, V. G., Grove, J. R., Burry, K., Barker, S. F., & Hamilton, A. J. (2014, January). Strawberry fields forever? Urban agriculture in developed countries: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, **34** (1), 21-43. doi:10.1007/s13593-013-0156-7
- Nason, M., Williamson, J., Tandy, S., Christou, M., Jones, D., & Healey, J. (2007). Using organic wastes and composts to remediate and restore land: best practice manual. (B. University, Ed.) School of the Environment and Natural Resources. Recuperado de <http://ies.bangor.ac.uk/TWIRLS/Web%20version%20Manual.pdf>
- Nathanail, P., Bardos, R., Gillett, A., McCaffrey, C., Ogden, R., Scott, D., and Others. (2013). International Processes for Identification and Remediation of Contaminated Land. Report for Dept. Environment Food and Rural Affairs (Defra), London. Recuperado de <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=16289>
- Nathanail, P., and Bardos, R. (2004). Reclamation of Contaminated Land. Wiley and Sons. Recuperado de <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471985619.html>
- Nathanail, J., Bardos, P., and Nathanail, P. (2007). Contaminated Land Management Ready Reference. London: Update EPP Publications. Recuperado de [www.readyreference.co.uk](http://www.readyreference.co.uk)
- NICOLE. (2011). Road map for sustainable remediation. Recuperado de NICOLE Secretariat: [www.nicole.org](http://www.nicole.org)
- NICOLE and Common Forum. (2013, June 9). Risk-informed and Sustainable Remediation. Recuperado de Joint Position Statement: [www.commonforum.eu/Documents/DOC/PositionPapers/1177\\_DDC\\_FLYER\\_SR\\_Joint\\_snijljin\\_def\\_2.pdf](http://www.commonforum.eu/Documents/DOC/PositionPapers/1177_DDC_FLYER_SR_Joint_snijljin_def_2.pdf)
- Nwachukwu, O., & Pulford, I. (2008). Comparative effectiveness of selected adsorbant materials as potential amendments for the remediation of lead-, copper- and zinc-contaminated soil. *Soil Use Manage*, **24**, 199-207.

- OECD. (2014). Better Policies. Series - Colombia: Policy Priorities to Boost Productivity and Social Inclusion. Recuperado de: <https://www.oecd.org/about/publishing/colombia-politicas-prioritarias-para-un-desarrollo-inclusivo.pdf>
- OECD. (2014). Colombia Environmental Performance Review. DOI:10.1787/9789264208292-en
- Palacios Perea, C. E. (2000). EOT Tadó. Tadó, Chocó: Alcaldía Municipal.
- Park, J. H., Lamb, D., Paneerselvam, P., Choppala, G., Bolan, N., & Chung, J. W. (2011). Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal (loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2), pp. 549-574. Recuperado de <http://www.journals.elsevier.com/journal-of-hazardous-materials/>
- PNUMA. (2012). National synopsis of gold mining and small craft. Bogotá: Environmental and Sustainable Development Ministry. Recuperado de: [http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis\\_Nacional\\_de\\_la\\_ASGM.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf)
- RESCUE Consortium (2005) Best Practice Guidance for Sustainable Brownfield Regeneration. May 2005. Land Quality Press, a Division of Land Quality Management Ltd. ISBN 0-9547474-0-2
- Rizzo, E., Bardos, P.; Pizzol, L., Critto, A., Giubilato, E., Marcomini, A., Albano; C., Darmendrail, D., Döberl. G., Harclerode, M., Harries, N., Nathanail, P., Pachon; C., Rodríguez; A., Slenders, H., Smith, G. (2016) Comparison of international approaches to sustainable remediation. *Journal of Environmental Management* **184**, 4-17 Doi 10.1016/j.jenvman.2016.07.062
- Rojas, C. (2005). Recuperacion de suelos afectados por sales en el departamento del Valle de Cauca mediante el uso de Vinaza concentrada. Bogotá: Universidad de La Salle. Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/14750>
- Rosén, P.E., B., T., S., J., N., P., B., T., N., . . . G., t. D. (2015). SCORE: A novel multi-criteria decision analysis approach to assessing the sustainability of contaminated land remediation. *Science of the Total Environment* **511** 621-638.
- Segura, L. (2015). Estudio de una alternativa para la remediación de cargas contaminantes en suelos, por actividades agrícolas. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de: <http://repository.unimilitar.edu.co:8080/bitstream/10654/6434/1/EVALUACION%20DE%20UNA%20ALTERNATIVA%20PARA%20LA%20REMEDIACION%20DE%20SUELOS%20CONTAMINADOS.pdf>
- Serrano, M. (2006). Fitorremediación: una alternativa para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Recuperado de: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7034/2/119600.pdf>
- Shi, W. Y., Shao, H. B., Li, H., Shao, M. A., & Du, S. (2009). Progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite. *Journal of hazardous materials*, **170** (1), 1-6.



- Torres, I., Ticante, A., Calderon, E., & Marin, M. (2006). Caracterización de compostas, lombricompostas y su potencial uso en enmiendas de suelos y producción de cultivos. Puebla, México: Departamento de Investigación en Ciencias. Recuperado de: [http://web.uaemex.mx/Red\\_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TA/EC/TAC-06.pdf](http://web.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TA/EC/TAC-06.pdf)
- UK Energy Research Centre. (2014, November 5). Low carbon jobs: The evidence for net job creation from policy support for energy efficiency and renewable energy. Recuperado de UK ERC Publications: <http://www.ukerc.ac.uk/publications/low-carbon-jobs-the-evidence-for-net-job-creation-from-policy-support-for-energy-efficiency-and-renewable-energy.html>
- United States Environmental Protection Agency – US EPA. (1999). Phytotechnology for metal-contaminated surface soils. Tech Trends, 34. Recuperado de: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/10002TRV.PDF?Dockey=10002TRV.PDF>
- UPME. (2009). Biocombustibles en Colombia. Bogotá: Ministerio de Energía y Minas. Recuperado de: [http://www.upme.gov.co/docs/biocombustibles\\_colombia.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/biocombustibles_colombia.pdf)
- UPME. (2011). Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Recuperado de: [http://vie.uis.edu.co/ATLAS/Generalidades\\_ATLAS.pdf](http://vie.uis.edu.co/ATLAS/Generalidades_ATLAS.pdf)
- Urango, M., & Marrugo, J. L. (2015). Estrategias para disminuir la absorción de mercurio en arroz (*Oryza sativa*) cultivado en suelos contaminados. Barranquilla, Colombia: Submission 93. Recuperado de: [http://fcbi.unillanos.edu.co/cici/Articulos/CICI\\_2016\\_paper\\_93.pdf](http://fcbi.unillanos.edu.co/cici/Articulos/CICI_2016_paper_93.pdf)
- US Environmental Protection Agency. (2011). Interim Guidelines for Safe Gardening Practices EPA 560/S-11/001. Recuperado en septiembre de 2016, de Brownfields and urban agriculture: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/bf\\_urban\\_ag.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/bf_urban_ag.pdf)
- US Environmental Protection Agency. (2012). Carbon Sequestration through Reforestation. Recuperado en Septiembre de 2016, de Office of Superfund Remediation and Technology Innovation (OSRTI): <https://www3.epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/forest-carbonstorage10-28-10.pdf>
- Vegter, J., Lowe, J., L., & Kasamas, H. (2002). Sustainable Management of Contaminated Land: An Overview. CLARINET Project Report, Recuperado de [www.commonforum.eu/publications\\_clarinet.asp](http://www.commonforum.eu/publications_clarinet.asp)
- Vidal, J., Marrugo, J., Jaramillo, B., & Perez, L. (2010). Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (*Cecropia peltata*). Ingeniería y Desarrollo, 27. Recuperado de: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/870/4510>
- Willoughby, I., Stokes, V., Poole, J., White, J. E., & Hodge, S. J. (2007). The potential of 44 native and non-native tree species for woodland creation on a range of contrasting sites in lowland Britain. *Forestry*, **80** (5), 531-553.
- WRAP. (2012). Guidance on the use of BSI PAS 100 compost in topsoil manufacturing Technical Report. Banbury, UK: WRAP. Recuperado de [www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/TD%20soil%20manufacture%20Final.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/TD%20soil%20manufacture%20Final.pdf)

# **Anexo 1: La Matriz de oportunidades para Sitios Contaminados Abandonados (BOM), Adaptación para Colombia, Estudios de caso y Evaluación**



Este anexo tiene por objeto ayudar a los asesores de políticas nacionales y también a los diseñadores de proyectos locales y a los responsables locales de la toma de decisiones en la identificación de opciones para desarrollar el mayor valor global de la reutilización "suave" (no construida) de un sitio contaminado, usando la Matriz de oportunidades (BOM). La BOM es una herramienta simple de evaluación que ayuda a los desarrolladores y tomadores de decisiones involucrados con las áreas contaminadas a identificar qué servicios pueden obtener de las intervenciones de reutilización suave para su sitio, cómo interactúan y cuáles son las consideraciones iniciales de diseño por defecto. Se desprende de un importante proyecto de investigación de la Comisión Europea, financiado bajo su programa marco 7: HOMBRE (Holistic Management of Brownfield Restoration) ([www.zerobrownfields.eu](http://www.zerobrownfields.eu))

La reutilización de sitios contaminados puede ser para reutilizaciones "duras" tales como viviendas, parques empresariales o infraestructura. Alternativamente, también hay usos finales "suaves", como espacios verdes, o energías renovables como la producción de biomasa. La biomasa puede ser producida para la conversión directa a energía (por ejemplo, en una planta de cogeneración o para AD), como una "materia prima biológica" (por ejemplo, un precursor de un bioplástico o biocombustible) o para la producción de biochar (potencialmente con recuperación de energía). Por supuesto, los cultivos alimentarios son otra forma de biomasa. Las reutilizaciones "suaves" son aquellas en las que el suelo permanece sin sellar y su funcionalidad se mantiene o mejora (Cundy, *et al.*, 2013). La mayor parte de la atención tiende a ser prestada a la construcción de la reutilización. Sin embargo, rara vez es probable que la reutilización construida sea una propuesta viable para la tierra afectada por la minería en Colombia, que podría estar alejada del asentamiento o en áreas de demanda económica limitada para opciones de reutilización duras. Sin embargo, los usos finales suaves pueden proporcionar servicios de un proyecto de restauración. Dependiendo del diseño, algunos ejemplos de estos "servicios del proyecto" son:

- Provisión de espacios abiertos como parques para las comunidades locales, que trae beneficios para el bienestar, la salud, el ocio, la cohesión social, la elevación económica y un sentido de lugar;
- Proporcionar infraestructura verde y servicios como los relacionados con la protección del agua, el mejoramiento de la calidad del aire, la provisión de sombra y el fomento del hábitat y la vida silvestre;
- Apoyar el renacimiento y las innovaciones en jardinería urbana, jardines comunitarios y agricultura urbana;
- Suministro de energía renovable y otros servicios ambientales (como el drenaje urbano sostenible).
- Protección de los recursos hídricos.

Algunos servicios pueden generar ingresos por derecho propio, algunos pueden ser activos importantes para apoyar el desarrollo social y algunos pueden tener beneficios directos o indirectos sobre el valor de la tierra local o la economía local (por ejemplo, suministro de energía local u otros servicios ambientales). Los proyectos de restauración que ofrecen una amplia gama de servicios han mejorado tanto la sostenibilidad global como han aumentado el valor económico.

Un servicio de proyecto es explícitamente reconocido y diseñado como resultado de un proyecto de restauración. Para lograr la prestación del servicio, se necesita alguna forma de intervención, por ejemplo, remediación o mejoramiento del suelo. La BOM es una herramienta

sencilla para mostrar cómo los servicios se pueden conectar con intervenciones y viceversa. Además, se trata de una lista de verificación para determinar la gama de posibles servicios que podrían proporcionarse y el número mínimo (u óptimo) de intervenciones necesarias para ello.

## Descripción y origen de la BOM

La BOM, desarrollada por primera vez dentro del proyecto HOMBRE, es una sencilla herramienta de exploración basada en Excel, que esencialmente traza los servicios que podrían agregar valor a un proyecto de reurbanización en contra de las intervenciones que pueden proporcionar esos servicios. La Tabla 5 proporciona una lista de la amplia gama de posibles servicios de restauración de la tierra de sitios contaminados para su reutilización suave (Bardos *et al.*, 2016).

La BOM original está disponible para su descarga y uso desde la página "Brownfield Navigator" de HOMBRE ([http://bfn.deltares.nl/bfn/site/index.php/standard/bfn\\_home](http://bfn.deltares.nl/bfn/site/index.php/standard/bfn_home)). El "Brownfield Navigator" es un entorno en línea que acompaña y apoya a los responsables de tomar decisiones a través de las diferentes fases de gestión en el ciclo del suelo, que también incluye herramientas para describir y tomar nota de una base geoespacial, las diversas intervenciones y sus oportunidades.

Una versión colombiana en idioma español, desarrollada por este proyecto está disponible en: <http://www.r3environmental.com.co/es/descargas.html> ("Matriz de Oportunidades para Sitios Contaminados Abandonados").

Tabla 5. Servicios potenciales de las reutilizaciones suaves de la tierra de Brownfield

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del valor del sitio / valoración del entorno /</li> <li>• Generación de energía renovable             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Basada en Biomasa</li> <li>– Geotérmica</li> <li>– Eólica y Solar</li> </ul> </li> <li>• Generación de materiales renovables (por ejemplo, materias primas biológicas)</li> <li>• Mitigación de gases de efecto invernadero (posibles ingresos por compensación de carbono)</li> <li>• Sinergias con el tratamiento y reutilización de residuos, gestión de lixiviados</li> <li>• Blindaje / Sonorización</li> <li>• Gestión de crecidas - enlace con "Sistemas Sostenibles de Drenaje Urbano"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicios/comodidades y Ocio</li> <li>• Gestión del clima urbano (como la mitigación del efecto de la isla de calor urbano)</li> <li>• Gestión de la calidad del aire</li> <li>• Hábitat y conservación</li> <li>• Mejoramiento de los recursos hídricos y del suelo</li> <li>• Mejor salud y bienestar</li> <li>• Oportunidades de educación</li> <li>• Participación de la comunidad</li> <li>• <i>Servicios del sistema ecológico</i></li> </ul>
---	--

La BOM es una herramienta sencilla que establece qué servicios se prestan mediante intervenciones particulares, utilizando una simple codificación de color para cada intersección de una posible intervención con un posible servicio, de la siguiente manera:

- Verde Oscuro: esta intervención generalmente entrega directamente este servicio;
- Verde Claro: existe potencialmente un beneficio de servicio directo o asociado - dependiendo de las circunstancias específicas del sitio;
- Azul: si bien existe potencialmente un beneficio de servicio directo, existe la posibilidad de que esta intervención pueda ser antagónica al servicio, dependiendo de las circunstancias específicas del sitio, por lo que se debe considerar cuidadosamente un diseño y un diseño específicos del sitio;
- Ámbar: la intervención es generalmente antagónica al servicio en cuestión, por lo que sería necesario algún tipo de mitigación.

Como se ilustra en la Figura 6 (Abajo), viendo a través de una fila de una intervención particular, es posible ver cómo esta intervención puede entregar (o puede obstaculizar) servicios a través de una amplia gama de categorías. Mirar las filas juntas permite maximizar una gama de servicios a través de dos o más intervenciones. En ambos casos, la decisión se basa simplemente en la gama de colores: maximizar las intersecciones verdes. Donde hay intersecciones azules o ámbar, entonces se necesita una consideración más detallada de la naturaleza del sitio y la naturaleza de la intervención. Una versión "informativa" muy detallada de la BOM proporciona información de apoyo y enlaces a otras citas y ejemplos para facilitar esto. La BOM informativa también está disponible en [http://bfm.deltares.nl/bfn/site/index.php/standard/bfn\\_home](http://bfm.deltares.nl/bfn/site/index.php/standard/bfn_home). Sin embargo, como parte del proyecto respaldado por el FCO, el objetivo ha sido desarrollar la versión sencilla para usar como punto de partida para las discusiones de diseño en Colombia. Aunque una versión detallada de la información en español sería una gran iniciativa, puede justificarse en un proyecto de seguimiento dependiendo del interés en la herramienta BOM simple (es decir, una prueba de concepto).

La lista de materiales se organiza mediante una jerarquía de categorías de servicios e intervenciones, como se listan en la Tabla 6. La BOM simple proporciona una guía adicional en cada celda de intersección de color verde o azul entre la intervención y el servicio. Esto incluye un estudio de caso para ilustrar la interacción entre la intervención y el servicio y un enlace a la web para obtener más información sobre el estudio de caso. De esta manera, los usuarios pueden migrar directamente a ejemplos de intervenciones y servicios particulares que les interesan (véase la Figura 6). En la versión adaptada para Colombia, se ha proporcionado información adicional sobre el caso práctico para dar enlaces a ejemplos más locales (Latinoamérica y España), incluso si éstos todavía están en una etapa "piloto".

*Tabla 6. Servicios generales e intervenciones consideradas dentro de la matriz de oportunidades para sitios contaminados (BOM)*

Servicios	Intervenciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitigación de riesgos de suelos contaminados y agua subterránea</li> <li>• Mejoramiento del Suelo</li> <li>• Mejora de los Recursos Hídricos</li> <li>• Provisión de Infraestructura Verde</li> <li>• Mitigación del Cambio climático inducido por el humano (Calentamiento Global)</li> <li>• Beneficios Socio-económicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opciones de Remediación "Gentil"</li> <li>• Otras opciones de remediación</li> <li>• Actividades de Gestión del Suelo</li> <li>• Actividades de Gestión del Agua</li> <li>• Implementación de Infraestructura Verde</li> <li>• Renovables (energía, materiales, biomasa)</li> </ul>

Servicios	Intervenciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planificación y Desarrollo Sostenible del Territorio</li> </ul>

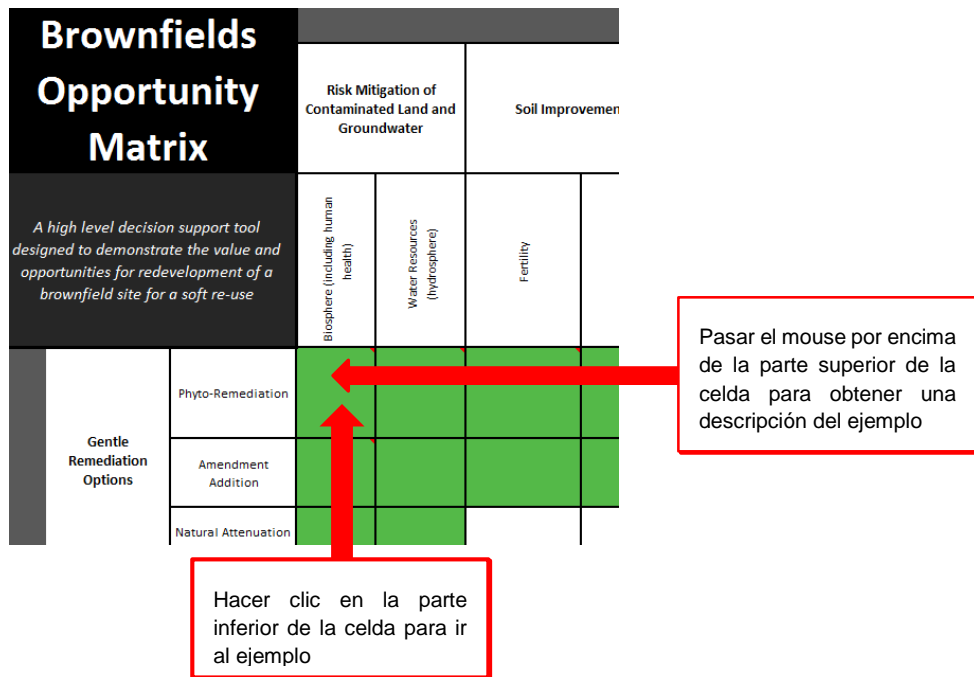


Figura 6. Vista de la matriz de oportunidades para sitios contaminados (BOM) simplificada.

## Adaptación al Contexto Colombiano

La versión colombiana de la BOM producida en este proyecto, incluye traducción y adaptación. Al igual que la versión en inglés, tiene tres partes: el cuadro de ejemplo de estudio de caso para cada interacción, la descripción del ejemplo y la codificación de color para cada intersección. En la Figura 7 se muestra una explicación de las partes de la BOM y su ubicación en los cuadros.

<b>Matriz de Oportunidades para Sitios contaminados abandonados</b> <small>Una herramienta de soporte para decisión a alto nivel para demostrar el valor y las oportunidades de reconversión de un sitio abandonado contaminado para un re-uso suave</small>		Mitigación de riesgos de suelos contaminados y agua subterránea		Mejoramiento de Suelo
		Biosfera (incluyendo salud humana)	Recursos Hídricos (Hidrosfera)	Fertilidad
Opciones de Remedación Gentil	Fito remediación			
	Modificación Adicional			
	Atenuación Natural			

Ubique el ratón sobre la mitad superior de la celda para obtener una descripción de ambos ejemplos (inglés y español)

Haga clic en el círculo para ir al ejemplo en español.

Haga clic en la mitad inferior de la celda para ir al ejemplo en inglés.

Figura 7. Vista de la versión en español simplificada de la lista de materiales

La primera parte (celda de ejemplo de estudio de caso) consiste en una adaptación de los estudios de casos mostrados en cada celda de interacción entre intervenciones y servicios. Haciendo clic con el ratón sobre el círculo amarillo, se dirige al usuario a un enlace que proporciona documentos escritos en español de diferentes intervenciones de remediación en América Latina, el Caribe y España, cuyo objetivo es guiar al usuario de la BOM en el proceso de selección de la técnica e insumos más apropiados de acuerdo con los servicios que proporciona para gestionar la contaminación presente.

En algunos casos, el estudio de caso del enlace en el círculo no corresponde directamente a un caso de implementación exitosa de remediación en América Latina, el Caribe y España porque algunos no se han encontrado para tales interacciones específicas. En su lugar, el enlace dirigirá al usuario a artículos de investigación, investigaciones de alternativas, revisiones o estudios de laboratorio que involucren el tipo de remediación que concierne a la celda. Sin embargo, los ejemplos en inglés siguen siendo enunciados en la BOM para que puedan guiar al usuario como un apoyo.

La descripción de cada ejemplo se presenta en el cuadro de Excel como un comentario dividido en dos partes: un comentario sobre el ejemplo en inglés, que se traduce al español y se marca con el nombre del comentador, seguido de una breve descripción del ejemplo en español (véase Figura 8). Esta ventana de comentario se expone sólo colocando el ratón sobre la mitad superior de la celda.

Matriz de Oportunidades para Sitios Contaminados		Mejoramiento		
		Mitigación de riesgos de suelos contaminados y agua subterránea	Recursos Hídricos (Hidrosfera)	Fertilidad
Una herramienta de soporte para decisión a alto nivel para demostrar el valor y las oportunidades de re conversión de un sitio abandonado contaminado para un re-uso		Biosfera (Incluyendo salud humana)	Recursos Hídricos (Hidrosfera)	Fertilidad
Clave	suave	Instrucciones		
Opciones de Remediación "Gentil"	Adición de Enmiendas	●	●	●
	Atenuación Natural de Agua Subterránea	●	●	●

**R3 Col (Paul Bardos):**  
El uso de compost en la regeneración de zonas industriales abandonadas contaminadas:

**Adaptación Español:**  
Las enmiendas con biosólido podría desfavorecer temporalmente el desarrollo de la vegetación, ya que incrementa la conductividad eléctrica, debido a la alta cantidad de sales solubles que contiene.

Descripción del ejemplo en Inglés

Descripción del ejemplo en español

Figura 8. Cuadro de comentarios con la breve descripción de los ejemplos en inglés y español en la versión simplificada en español de la BOM.

El tercer componente de la matriz es el código de color, que se explica en la ficha Clave ("Key" en inglés) de la BOM. Esta parte es lo que hace específica la aplicabilidad del BOM a los dos sitios estudiados (Segovia y Tadó) ya que se basa en los resultados del diálogo con los actores que se han reunido en las visitas a los sitios, entre entidades gubernamentales, autoridades ambientales y mineras y mineros artesanales ; Por lo tanto, el color mostrado en cada cuadro indica las posibilidades de obtener un servicio de una intervención o una sinergia entre más de una, basada en las opiniones de los interesados de cada sitio.

Esto tiene como fin apoyar a los desarrolladores y a las partes interesadas para identificar los servicios concebibles que podrían obtenerse de la implementación de algunas intervenciones de reutilización suave, las interacciones y las consideraciones iniciales de diseño por defecto.

## Cómo y Cuándo usar la BOM

Un proyecto exitoso depende de una visión compartida de cuáles son los servicios deseados de la restauración y reutilización de la tierra y de las formas más eficaces de lograr estos servicios, es decir, las intervenciones necesarias. La BOM muestra cómo se conectan las intervenciones de reutilización suave y los servicios. La matriz está destinada a facilitar las discusiones entre las partes interesadas, que podrían tener diferentes ideas sobre los resultados deseados para un sitio, para ayudarles a encontrar un enfoque común. Se pretende apoyar la visualización de los servicios y las diferentes formas de valor que puedan existir para diferentes actores, sinergias entre éstos y encontrar un conjunto común de objetivos para un proyecto y los medios óptimos para lograrlos, por ejemplo, explotando sinergias para obtener el Máximo de servicios de las pocas intervenciones que se implementen (Beumer *et al.*, 2014).

La participación efectiva de las partes interesadas se ha identificado como un requisito clave para la aplicación de estrategias de remediación sostenible y en la regeneración del sitio más

ampliamente. La participación de las partes interesadas en la rehabilitación de la tierra para un uso final suave, particularmente en entornos urbanos y suburbanos, es quizás más amplia y más compleja que en muchos otros campos de remediación, por varias razones (Cundy *et al.* 2013):

1. El número de partes interesadas puede ser más amplio para los usos finales suaves porque sus múltiples servicios y escala significan que hay un mayor número de beneficiarios y organizaciones o individuos afectados.
2. La gama de problemas puede ser más compleja debido a la gama de "servicios" previstos y al uso de técnicas de remediación más lentas de bajo nivel de insumo (o suave) que pueden desplegarse para lograr la restauración (ver Sección 3).
3. La propuesta de gestión de riesgos puede ser más compleja.
4. El despliegue también puede verse afectado por una serie de incertidumbres técnicas y naturales relacionadas con los servicios prestados, así como con las medidas de restauración aplicadas.
5. Lograr un consenso entre diferentes intereses u objetivos en los servicios.

En la Tabla 7 se lista una serie de principios clave para la participación efectiva de las partes interesadas en forma de proceso.

La Figura 9 y la Figura 10 muestran dos ejemplos de escenarios para el desarrollo de discusiones en la ejecución de un proyecto de restauración. Éstos están estrechamente relacionados; por ejemplo, en ambos casos hay una etapa conceptual inicial en la que alguien o algún grupo tiene ideas iniciales, éstas son desarrolladas por un pequeño grupo de individuos, hasta una etapa donde se presentan a un grupo más amplio de actores para llegar a un acuerdo de una visión más amplia. Esta visión necesita una mayor elaboración técnica para proporcionar un plan de implementación. Todas estas etapas pueden sufrir varias iteraciones.

*Tabla 7. Principios básicos para la participación de las partes interesadas (Cundy, et al., 2013)*

Identificar y comprometer a las partes interesadas significativas y no significativas desde el principio del proceso
Adoptar un enfoque proactivo y no reactivo para el compromiso
Involucrar a las partes interesadas en todas las etapas
Plan para la participación a largo plazo de las partes interesadas
Desarrollar estructuras de comunicación eficaces que permitan un diálogo recíproco y bidireccional
Garantizar que el compromiso sea transparente y registrado
Reconocer que los criterios pueden ser subjetivos y objetivos
Establecer todos los supuestos y procedimientos para la implementación y monitoreo al inicio de un proyecto
Seguir un enfoque lógico y escalonado de la participación para evitar argumentos circulares y abordar claramente los asuntos subjetivos

Las visualizaciones directas proporcionadas por la BOM están destinadas a facilitar estas discusiones, a fin de:



1. Apoyar la identificación inicial o la evaluación comparativa de las opciones de reutilización suave de los campos abandonados desde las primeras etapas.
2. Apoyar discusiones exploratorias con las partes interesadas
3. Proporcionar una estructura para describir un concepto de diseño inicial, en apoyo, por ejemplo, de las aplicaciones de planificación
4. Proporcionar una estructura para una evaluación más detallada de la sostenibilidad de las diferentes combinaciones de reutilización, y de manera similar para las comparaciones costo-beneficio.

La matriz puede ser usada en los procesos de comprometer a las partes interesadas en distintos momentos y actividades: durante la fase inicial de recolección de ideas, durante una fase más profunda redefiniendo ideas acerca de los servicios deseados y las intervenciones y durante la revisión del diseño inicial para la recuperación del campo contaminado.

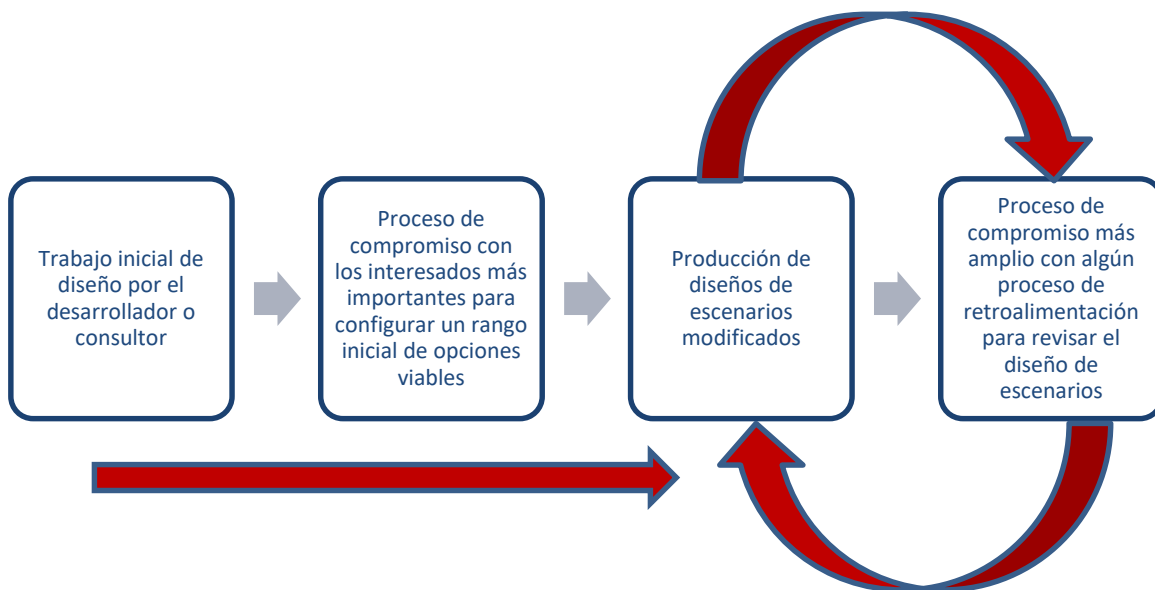


Figura 9. Un ejemplo de escenario de diseño de proyecto de restauración "privado" (Cundy, et al., 2013).



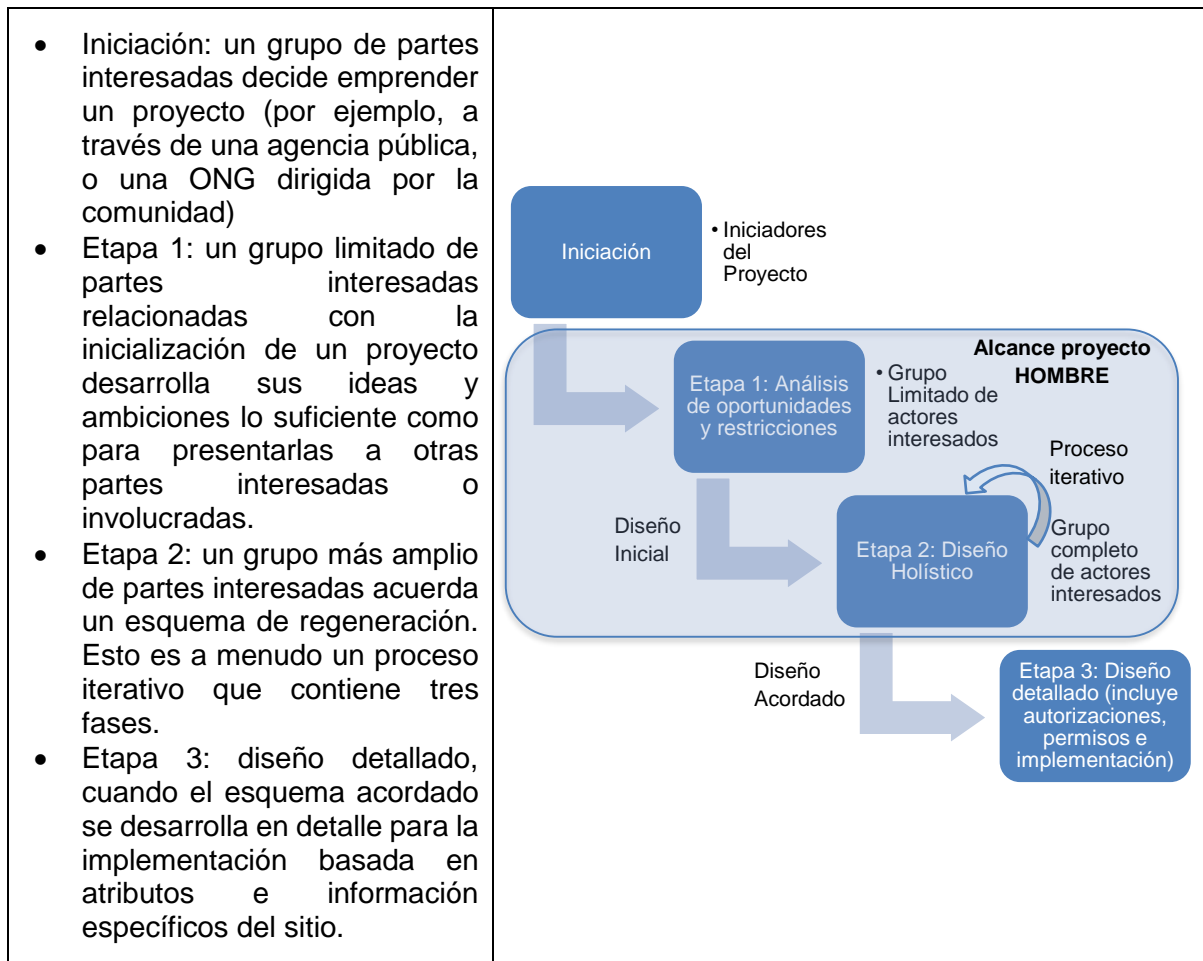


Figura 10. Un proceso de desarrollo de proyectos basado en la coalición (Beumer et al. 2014)

Se considera que la BOM tiene varias funciones durante la conceptualización del proyecto y la planificación temprana, como se ilustra en la Figura 11 y la Figura 12, para ayudar a los que participan en la iniciación y la promoción de un proyecto a identificar los servicios que podrían obtener de la restauración de la tierra y las intervenciones necesarias para obtenerlos. La BOM también puede utilizarse para explicar las decisiones que se toman ante los responsables de adoptar decisiones a nivel local y nacional (o para involucrarlos directamente). El proyecto HOMBRE también ha desarrollado una versión más detallada de la matriz para apoyar etapas posteriores en el diseño del proyecto.

La BOM está destinada a ser utilizada como parte de un proceso estructurado de participación consistente en una serie de actividades, gestionadas por un facilitador para ayudar a los diferentes actores en el proceso de llegar a un acuerdo. Los costos y el esfuerzo de movilizar a las diferentes partes interesadas, proporcionar un facilitador y reportar son significativos. Por lo tanto, el modus operandi sugerido es incluir actividades dentro de una sola reunión, y luego las modificaciones de seguimiento se realicen por correo electrónico. Las actividades son las siguientes:

- Establecimiento de Reunión y objetivos
- Presentaciones mutuas de los participantes de la reunión de forma breve, aproximadamente de dos minutos.
- Breve exposición informativa de re-usos suaves, intervenciones, servicios y cómo estos podrían proporcionar valor de la restauración de los campos contaminados

- Un debate en formato de “World Café™” para que los interesados trabajen en grupos pequeños para identificar los servicios que más les interesan.
- Un uso guiado de la BOM simple por el facilitador en sesión plenaria para encontrar el conjunto óptimo de intervenciones que parezcan capaces de entregar los servicios deseados. La matriz en sí incluye ejemplos y enlaces en línea para ilustrar las diversas oportunidades de servicio / intervención que están disponibles.
- Una mesa redonda con el fin de usar estos resultados para desarrollar una visión compartida inicial para la reutilización de áreas abandonadas, identificar las necesidades de información en curso y los próximos pasos.
- Reunión de reportes dados por el facilitador y comentarios por correo electrónico para llegar a un concepto de proyecto inicial.

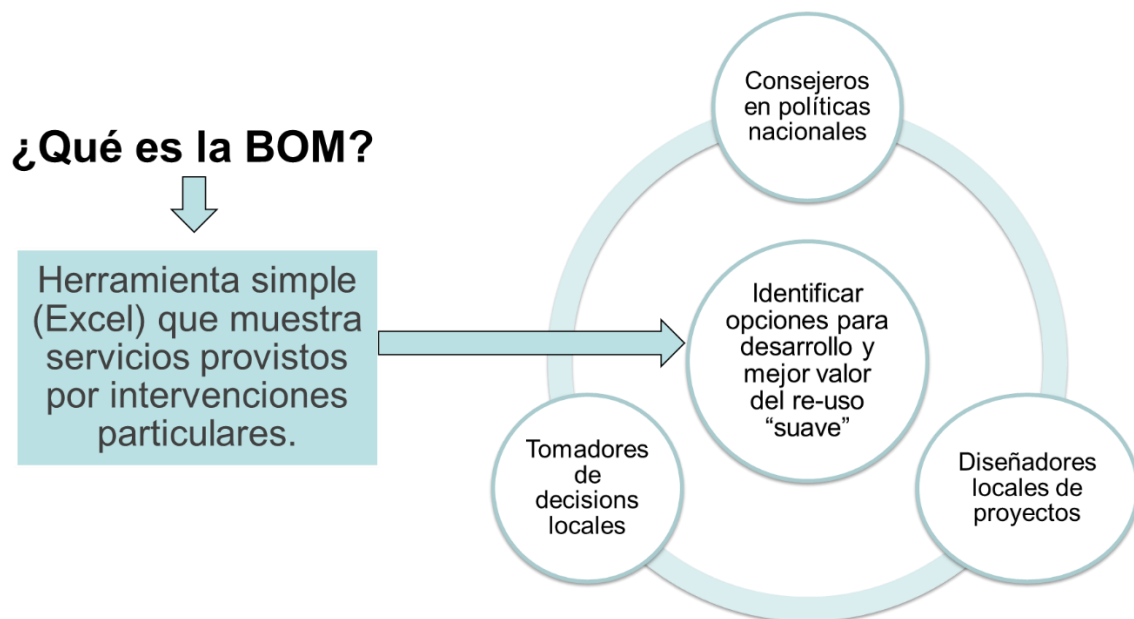


Figura 11. Aplicación de la BOM (© r3 Environmental Technology Colombia SAS 2016)

Para apoyar estas actividades, se han producido una serie de componentes como un "paquete de compromiso con las partes interesadas", y están disponibles en español en: <<http://www.r3environmental.com.co/es/descargas.html> (“Paquete de compromiso con las partes interesadas”)>

- Proforma de la agenda de la reunión
- La BOM simple
- Un paquete de diapositivas completo de reunión
- Listas de verificación (para servicios, intervenciones y formas de valor)
- Una plantilla de reporte de la reunión (Acta de reunión).
- Una serie de recursos internacionales de participación de las partes interesadas para proporcionar información complementaria y una guía de buenas prácticas (ver Tabla 8).

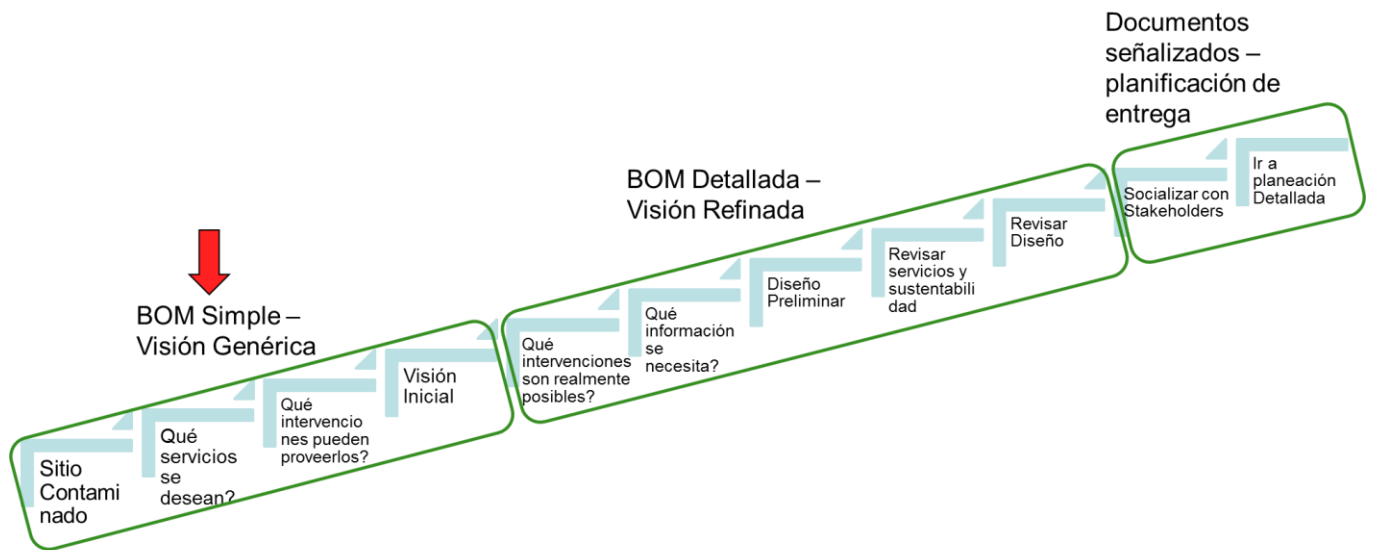


Figura 12. Momento del uso de la BOM (© r3 Environmental Technology Colombia SAS, 2016)

Tabla 8. Recursos Internacionales de Participación de las Partes Interesadas

- Participación de las partes interesadas del Banco Mundial ([https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/938f1a0048855805beacfe6a6515bb18/IFC\\_StakeholderEngagement.pdf?MOD=AJPERES](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/938f1a0048855805beacfe6a6515bb18/IFC_StakeholderEngagement.pdf?MOD=AJPERES))
- Mecanismos de participación y agravio de las partes interesadas del Banco Mundial ([http://siteresources.worldbank.org/INTRANETENVIRONMENT/Resources/244351-1279901011064/StakeholderEngagement-andGrievanceMechanisms\\_111031.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTRANETENVIRONMENT/Resources/244351-1279901011064/StakeholderEngagement-andGrievanceMechanisms_111031.pdf))
- Un enfoque estratégico para el compromiso temprano de las partes interesadas (industrias extractivas) del Banco Mundial ([https://commdev.org/userfiles/FINAL\\_IFC\\_131208\\_ESSE%20Handbook\\_web%201013.pdf](https://commdev.org/userfiles/FINAL_IFC_131208_ESSE%20Handbook_web%201013.pdf))
- Enfoques innovadores del Banco Mundial para la participación de múltiples interesados directos en las industrias extractivas (<https://commdev.org/userfiles/FINALWebversionInnovativeApproachesforMultiStakeholderEngagementintheEI.pdf>)
- Archivos de herramientas de participación de la comunidad de US EPA Superfund (<https://www.epa.gov/superfund/community-involvement-tools-and-resources>)  
Involucramiento y compromiso de la Justicia Ambiental de la US EPA (<https://www.epa.gov/environmentaljustice/ej-2020-outreach-engagement>)
- Documentos de Orientación de la Comunicación de Riesgo de la US EPA (<https://www.epa.gov/risk/risk-communication>)

La BOM fue personalizada utilizando uno de los sitios seleccionados para la posible evaluación de la remediación suave utilizando carbón activado como estudio de caso: la ciudad de Segovia en Antioquia. En esta zona, las pruebas de suelo (llevadas a cabo bajo el actual proyecto FCO) encontraron los niveles más altos de mercurio en los suelos y la presencia de otros metales pesados como plomo<sup>2</sup>. La eficacia de la BOM se evaluó con base en conversaciones bilaterales con diferentes partes interesadas con las que se pudo evaluar el uso de la BOM en el contexto de las necesidades de Segovia; entre los actores con los que se discutió, se encuentran:

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, Grupo Ambiental y Sectorial y Grupo Minero.
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia, Oficina de Asuntos Ambientales y Responsabilidad Minera.
- Corporación Autónoma Regional de Antioquia, Corantioquia. Autoridad ambiental regional.
- Secretaría de Medio Ambiente de Segovia. Autoridad Ambiental Local.
- Gerente de entables en Segovia.
- Líder Comunitario de Segovia.

La metodología utilizada con cada parte interesada corresponde al proceso descrito en la sección 2.3. Se utilizó el "paquete de compromiso de las partes interesadas" según se requirió, pero se hicieron modificaciones de acuerdo con las características de las reuniones programadas. Entre los factores más relevantes para su modificación, se encontraban el tiempo disponible de los asistentes para completar el ejercicio y el nivel de conocimiento de los involucrados.

A partir de una versión inicial de la BOM enviada, hasta lograr una versión final específica para Segovia, se recibieron valiosas contribuciones para el desarrollo del proceso. Durante estas discusiones, también se llegó a entender las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que afectarían el uso futuro de la matriz. Estos se resumen como una matriz DOFA en la Figura 13.

---

<sup>2</sup> Un plan de pruebas de campo in situ de técnicas que prometen ser replicables a otros sitios contaminados de manera similar, con base en evaluaciones de tecnología y trabajo de pruebas a escala de laboratorio. (© r3 Environmental Technology Colombia SAS, 2016)

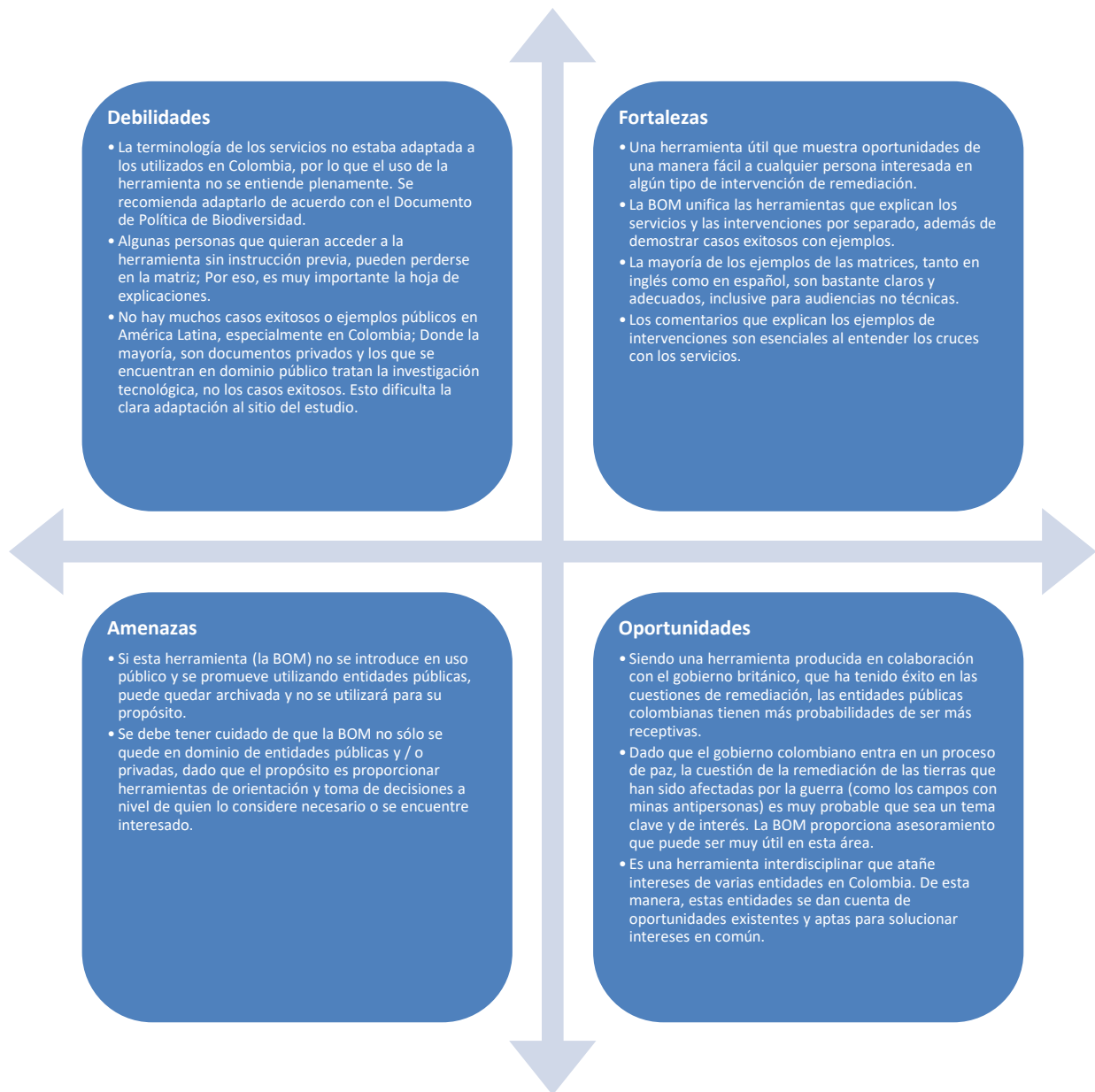


Figura 13. Matriz DOFA de hechos identificados en discusiones bilaterales para la adaptación de la BOM

# **Anexo 2: Secciones de Orientación Técnica Detallada para Remediación de Baja Intensidad (Suave) y Producción de Renovables en Sitios Contaminados**

Si se contaminan terrenos marginados o marginales, entonces se deben evaluar los riesgos de esa contaminación para determinar si se necesita alguna forma o manejo (como remediación). Pueden plantearse riesgos para la salud humana o para el medio ambiente en general, es decir, el agua, la ecología (Defra 2011, Bardos y Nathanail 2004). Para que exista un riesgo de contaminación, tres componentes necesitan estar en su lugar: una fuente de sustancias peligrosas, un receptor que podría ser afectado por ellos y una vía de exposición que enlace la fuente con el receptor (como se ilustra en la Figura 3). Esta combinación se denomina *enlace contaminante*. En la mayoría de los países desarrollados, el proceso de contaminación de la tierra es uno de *Gestión de Tierras Basada en Riesgos* (Vegter *et al.*, 2002) en menor o mayor medida (Nathanail *et al.*, 2013). En varios países se han desarrollado amplias orientaciones. En el Reino Unido, esta orientación de alto nivel para esto está contenida en una serie de Procedimientos Modelo (Agencia Ambiental y Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales - Defra, 2004). Más recientemente, con el advenimiento de los conceptos de *remediación sostenible*, el nuevo modelo es *Gestión Sostenible de Tierras Basados en el Riesgo*. Este enfoque encapsula décadas de aprendizaje de muchos países. Por ejemplo, los primeros proyectos de restauración de la tierra en el Reino Unido (el valle bajo de Swansea) comenzaron a ser planeados en los años 50. Los países relativamente nuevos en políticas y marcos de manejo de tierras contaminadas pueden beneficiarse de este aprendizaje y evitar costos considerables y muchos errores técnicos. Por ejemplo, un proyecto reciente del *Fondo de Prosperidad* del Reino Unido ha encapsulado este aprendizaje para China (Coulon *et al.*, 2016).

La gestión del riesgo es el proceso de evaluar los riesgos y decidir qué se debe hacer con ellos; Es decir, si el riesgo es significativo y, en caso afirmativo, si debe ser mitigado por alguna forma intervención de remediación. La estructura de los enlaces contaminantes también indica los principales puntos de intervención que se pueden utilizar para manejar los riesgos (Nathanail *et al.*, 2007), de la siguiente manera:

- A nivel de la fuente; Por ejemplo, como una acción de eliminación de fuente
- A nivel de la vía; Por ejemplo, la gestión de la propagación de una pluma de agua subterránea, incluida la *monitorización* de la atenuación natural
- A nivel del receptor; Por ejemplo, mediante la plantación densa para impedir el acceso humano o mediante algún tipo de control de planificación (institucional) para limitar el uso permisible de la tierra (por ejemplo, no apto para viviendas con jardines).

Un enfoque de gestión de riesgos puede integrar intervenciones a diferentes niveles. Por ejemplo, la eliminación parcial de la fuente para la gestión de la vía para hacer frente a la contaminación residual, lo cual se puede combinar con protección adicional a través de un control de planificación (por ejemplo, restricciones sobre el uso de agua de pozos particulares). La Figura 14 da ejemplos de estas intervenciones en un contexto de remediación suave.

Existe un caso especial para las tierras donde se produce la biomasa. La propia biomasa puede convertirse en un camino para la propagación de la contaminación a otras personas, incluso para los cultivos no alimentarios, dependiendo de cómo y dónde se utiliza la biomasa. Esta situación puede (1) hacer que la biomasa no sea apta para el uso, (2) adecuada para el uso sólo en instalaciones controladas, tales como residuos en instalaciones energéticas, o (3) requerir medidas de mitigación, tales como el uso de estabilización in situ para reducir la absorción de plantas (Anderson-Sköld *et al.*, 2014, Jones y otros, 2016).

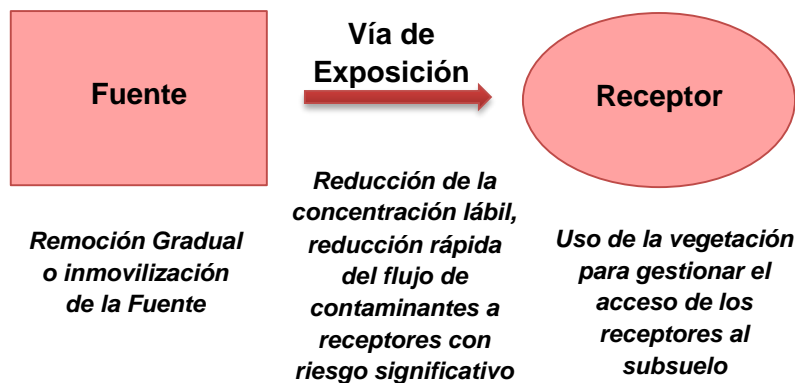


Figura 14. Un enlace de contaminantes y diferentes intervenciones de remediación suave a nivel de fuente, vía de exposición y receptor (tomado de Cundy et al. 2016).

Los enfoques convencionales de remediación se han centrado principalmente en la contención, la cobertura y la remoción a vertederos (o "excavar y verter"). A partir de finales de los años noventa, se ha avanzado hacia estrategias de remediación basadas en el tratamiento, utilizando tecnologías de tratamiento *in situ* y *ex situ* como lavado de suelos, "bombeo y tratamiento" de aguas subterráneas contaminadas, junto con la adopción generalizada de un enfoque basado en el riesgo hacia la gestión de tierras contaminadas. Recientemente, con base en ideas anteriores sobre los enfoques de bajo nivel de insumo, ha surgido el concepto de Opciones Suaves de Remediación (GRO). Las GRO se definen como *estrategias / tecnologías de gestión del riesgo* que resultan en una ganancia neta (o al menos sin una pérdida bruta) en la función del suelo, así como en la gestión del riesgo (Cundy et al., 2013). Este énfasis en el mantenimiento y mejora de la función del suelo significa que tienen una utilidad particular para mantener los suelos biológicamente productivos, lo cual es importante cuando se considera un uso final "suave" para un sitio (como parques urbanos, producción de biomasa / biocombustibles, etc.) (Cundy et al., 2016). En esta sección, se ofrece orientación técnica sobre una serie de GRO fundamentales, basadas en los resultados del proyecto de investigación Marco de la Comisión Europea 7 (Remediación Suave de Elementos Traza de Tierras Contaminadas ([www.greenland-project.eu](http://www.greenland-project.eu)) y el proyecto HOMBRE, mencionado en la Sección 2 (Cundy et al., 2015), complementado con información de la EPA (1990) sobre Fito tecnologías para la remediación (<https://clu-in.org/techfocus/default.focus/sec/Phytotechnologies/cat/Overview>).

Las GRO abarcan una serie de tecnologías, entre ellas:

- El uso de procesos microbiológicos de plantas, hongos para la remoción, degradación o inmovilización de contaminantes, discutidos en la Sección 3.1; y
- Estabilización *in situ* (utilizando procesos biológicos o químicos, por ejemplo, sorción a biocarbón) o extracción de contaminantes, lo cual se discute en la Sección 3.2.

Los suelos biológicamente productivos incluyen los utilizados para la agricultura, el hábitat, la silvicultura, el equipamiento y el paisajismo, y, por lo tanto, los GRO tenderán a ser de mayor beneficio cuando se pretenda un uso final "blando" de la tierra.

Las GRO son las estrategias a desplegar para eliminar el grupo lábil (o biodisponible) de contaminantes inorgánicos de un sitio (por ejemplo, mediante Fito extracción), para eliminar o degradar los contaminantes orgánicos (por ejemplo, la Fito degradación), proteger los recursos hídricos (por ejemplo, la rizo filtración), o estabilizar o inmovilizar los contaminantes



en la subsuperficie (por ejemplo, Fito estabilización, inmovilización in situ / Fito exclusión). Estos enfoques también pueden adaptarse a lo largo de los enlaces contaminantes como se sugirió anteriormente (Cundy *et al.*, 2016).

El proyecto GREENLAND ha desarrollado un marco de apoyo a la toma de decisiones simple y transparente para promover el uso adecuado de las GRO y fomentar la participación de las partes interesadas, complementado por un conjunto de ayudas específicas para el diseño cuando alguna GRO parece ser una opción viable (Cundy *et al.* 2015). El marco se presenta como una herramienta de soporte de decisión en tres fases (DST – Decision Support Tool), en forma de un libro de trabajo basado en Microsoft Excel. Esto se diseña para informar la toma de decisión y la valoración de las opciones, durante la selección de acercamientos remediales para los sitios contaminados. Se puede descargar de [www.greenland-project.eu](http://www.greenland-project.eu).

Las GRO aplicadas inteligentemente, pueden proporcionar: a) una gestión rápida de los riesgos mediante el control de las vías de exposición, mediante la contención y la estabilización, junto con una remoción o inmovilización / aislamiento de los contaminantes a más largo plazo; Y (b) una serie de beneficios económicos (por ejemplo, generación de biomasa), sociales (por ejemplo, recreación y ocio) y ambientales (por ejemplo, secuestro de CO<sub>2</sub>, filtración de agua y drenaje, restauración de comunidades vegetales y animales) (Cundy *et al.*, 2016) . Las técnicas de fitorremediación que impliquen la estabilización in situ de contaminantes o la eliminación gradual de la fracción lábil (es decir, biodisponible o fácilmente extraíble) de contaminantes presentes en un sitio, pueden ser soluciones duraderas mientras el uso del suelo y la práctica de manejo de tierras no experimenten cambios sustanciales, causando cambios en pH, Eh, cubierta vegetal, etc. Este requisito, sugiere que puede ser necesario algún tipo de control institucional o de planificación. Sin embargo, el uso de los controles institucionales sobre el uso de la tierra es un elemento clave de la remediación urbana, utilizando tecnologías convencionales (por ejemplo, limitación del uso para la producción de alimentos), por lo que cualquier requisito para el control y manejo institucional con fitorremediación continúa un precedente establecido (Cundy *et al.* 2013).

## **Remediación Gentil - Fito-Remediación**

La fitorremediación es el uso directo de plantas verdes vivas para la reducción del riesgo in situ para suelos contaminados, lodos, sedimentos y aguas subterráneas (ITRC 2009). La fitorremediación también restablece una cubierta vegetal en sitios donde falta vegetación natural debido a altas concentraciones de metales en suelos superficiales o alteraciones físicas en materiales superficiales, lo que puede ser apoyado por enmiendas para reducir la toxicidad de los metales a las plantas (Nwachukwu y Pulford, 2008). La restauración de la vegetación a los sitios disminuye la migración potencial de la contaminación a través de la erosión eólica de los suelos superficiales expuestos y la lixiviación de la contaminación del suelo a las aguas subterráneas (US EPA 1999). Se considera que la fitorremediación ofrece un método barato y de bajo insumo para remediar áreas que no son candidatas a la regeneración convencional (Bardos *et al.*, 2010). Hay varios tipos de enfoque de fitorremediación, resumidos en Tabla 9.

La fitorremediación es, por lo tanto, una GRO que puede proporcionar una gestión rápida del riesgo de contaminantes orgánicos, inorgánicos y radiactivos a través del control de la vía de exposición, mediante la contención y la estabilización, junto con una remoción o

inmovilización a largo plazo del término fuente contaminante. En América del Norte, la aplicación de las GROs es discutiblemente más desarrollada que en Europa, con el US Interstatal Technology & Regulatory Council listando 48 sitios, en gran parte dentro de los Estados Unidos, como sede de ensayos de fitorremediación "a gran escala" (ITRC 2009). La aplicación de GRO, generalmente en América del Norte, se extiende desde proyectos de fitorremediación de escala relativamente pequeña que son impulsados e implementados por la comunidad local a programas de remediación basados en tecnología verde en los sitios de Superfund que implican la plantación de árboles, etc.

Tabla 9. Variantes del proceso de fitorremediación. De: (Nathanail et al. 2007)

<b>Fito extracción</b>	Uso de plantas que acumulan contaminantes en la biomasa cosechable. Hiperacumuladoras, son plantas que pueden acumular metales a % de niveles de materia seca, principalmente <i>Cruciferae</i> . Existen pocos tipos comercialmente prácticos. Más común es el uso de la biomasa leñosa como el sauce y el álamo. Algunos ensayos se han llevado a cabo utilizando agentes quelantes tales como etileno-diamina-tetra-acético (EDTA) para inundar los suelos y por lo tanto aumentar la disponibilidad de metales, y por lo tanto la absorción, por plantas tales como mostaza india (Bardos, et al. 2016).
<b>Fito volatilization</b>	Uso de plantas para la extracción de contaminantes volátiles de acuíferos poco profundos que se dispersan en la atmósfera por las partes aéreas de las plantas.
<b>Fito estabilización</b>	Inmovilización de contaminantes en el suelo y las aguas subterráneas en la zona de las raíces y / o en los materiales del suelo. La inmovilización puede ser el resultado de la adsorción a las raíces y / o la materia orgánica del suelo (por ejemplo, de los HAP), o la precipitación de metales. Estos efectos pueden ser un efecto directo del crecimiento de la planta, o resultan de procesos microbianos y químicos del suelo causados por el crecimiento de las raíces. El efecto neto es reducir la movilidad de los contaminantes.
<b>Fito contención (Coberturas alternativas)</b>	El uso de plantas y técnicas de cultivo (como la adición regular de materia orgánica) puede aumentar la profundidad de la capa superficial del suelo, que puede establecer una capa protectora sobre los sitios, como los montones de desechos y los tapones de vertederos y reducir la migración de contaminantes. El crecimiento de la planta y la adición de materia orgánica también pueden producir un efecto de estabilización, por ejemplo, controlando el pH y las condiciones redox en los efectos subsuperficiales y de Fito estabilización descritos anteriormente. La Fito contención también puede interrumpir la contaminación de los acuíferos mediante la infiltración de agua, a través de la interceptación del agua por las raíces de las plantas (aunque este efecto es dependiente de la estación).
<b>Fito degradación</b>	Degradación de contaminantes orgánicos a través del metabolismo vegetal, que puede estar dentro de la planta (por procesos metabólicos) o fuera de la planta (a través del efecto de enzimas u otros compuestos que produce la planta).

<b>Fito estimulación / bio estimulación</b>	Estimulación de la biodegradación microbiana de contaminantes orgánicos en la zona de las raíces, por ejemplo, las raíces proporcionan condiciones que favorecen el establecimiento y la actividad microbiana; Esta actividad microbiana da como resultado la degradación o estabilización de contaminantes orgánicos.
---	--

La fitorremediación debe desplegarse principalmente para eliminar gradualmente el grupo lábil (o biodisponible) de contaminantes inorgánicos de un sitio (Fito extracción), eliminar o degradar contaminantes orgánicos (por ejemplo, Fito degradación), proteger los recursos hídricos (por ejemplo, rizo filtración) o estabilizar o inmovilizar contaminantes en la subsuperficie (por ejemplo, Fito estabilización, inmovilización in situ). Potencialmente, ofrece una alternativa in situ rentable a las tecnologías convencionales para la remediación de matrices contaminadas de bajo a medio nivel de contaminación, como suelos, sedimentos, relaves, desechos sólidos y aguas. Ejemplos de circunstancias que no favorecen las soluciones de remediación basadas en el tratamiento existente, pero que pueden ser altamente susceptibles a los enfoques de manejo de riesgos basados en la Fito sanidad, incluyen:

- Grandes áreas de tratamiento, particularmente donde la contaminación puede causar preocupación, pero no está en niveles muy elevados
- Donde se requiere funcionalidad biológica del suelo después del tratamiento en el sitio
- Cuando otros servicios ambientales relacionados con la calidad del suelo (por ejemplo, biodiversidad, secuestro de carbono) se valoran altos.
- Cuando sea necesario restaurar tierras marginales para producir cultivos no alimentarios y evitar grandes cambios en el uso de la tierra
- Cuando existen limitaciones presupuestarias
- Donde hay restricciones de despliegue para la planta del proceso de remediación de tierras (por ejemplo, como una función de área y ubicación).

Por el contrario, la fitorremediación tiene un potencial limitado cuando los sitios requieren una reurbanización inmediata (es decir, dentro de un año), donde la mayor parte del sitio está en condiciones duras o tiene edificios bajo uso activo y donde las directrices locales se basan en los valores totales de concentración del suelo. El despliegue es específico del sitio, dependiendo del tipo de suelo local, la profundidad de la contaminación, el clima, la topografía del sitio y otros factores locales. Se dispone de recursos técnicos completos, disponibles en: [www.greenland-project.eu](http://www.greenland-project.eu), [www.clu-in.org/techfocus/default.focus/sec/Phytotechnologies/cat/Overview](http://www.clu-in.org/techfocus/default.focus/sec/Phytotechnologies/cat/Overview), e ITRC 2009. Los pros y los contras del despliegue de fitorremediación se resumen en la Tabla 10.

*Tabla 10. Pros y contras de la Fito-Remediación*

Ventajas	Desventajas
Puede proporcionar una oportunidad para la recuperación de biomasa utilizable (por ejemplo, como materia prima o para energía), así como una serie de otros	Los procesos de Fito extracción pueden tomar muchos años (décadas), y algunos metales pueden ser inaccesibles o no estar disponibles para el proceso de extracción de las plantas. Por lo tanto, la Fito extracción está

Ventajas	Desventajas
<p>servicios relacionados con, por ejemplo, la gestión del agua y la mejora del suelo</p> <p>La Fito extracción tiene el potencial de eliminar los metales del suelo contaminado y, además, estos metales pueden recuperarse en cenizas de la biomasa cosechada, en particular si se utilizan "híper acumuladores".</p> <p>La Fito extracción puede proporcionar una rápida eliminación de formas disueltas de metales, limitando la capacidad de los metales para propagarse y, por lo tanto, valiosa como una aplicación de gestión de vías de exposición para proteger los recursos hídricos y los receptores ecológicos.</p> <p>La Fito degradación, la Fito transformación y la rizo degradación pueden proporcionar una solución a largo plazo para una serie de contaminantes orgánicos, incluyendo algunas formas recalcitrantes tales como HAPs.</p> <p>Los procesos de fito-contención, rizo filtración y fito estabilización pueden proporcionar soluciones de gestión de vías de exposición para una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos en paralelo</p> <p>La Fito volatilización puede ser un medio eficaz para eliminar algunos compuestos orgánicos volátiles de aguas subterráneas poco profundas.</p>	<p>limitada en su idoneidad como herramienta de gestión de fuentes para eliminar metales a granel del suelo.</p> <p>Muy pocos tipos de híperacumuladores son adecuados para el uso práctico de remediación.</p> <p>La biomasa cosechada necesita ser evaluada (y potencialmente monitoreada) para mostrar que los contaminantes no han migrado a ella. En algunos casos, la biomasa cosechada puede no ser fácilmente utilizable ya que su contenido de metales puede requerir un permiso especial de los reguladores.</p> <p>Pueden requerir medidas de cultivo, de control o descompactación u otras medidas de mejora del suelo para apoyar el crecimiento adecuado de las plantas.</p> <p>Normalmente requiere una gestión y supervisión continuas, por ejemplo, fertilización (que puede ser a través de reciclados), para prevenir daños de plagas, y / o recuperar biomasa.</p> <p>Los beneficios, tanto como técnica de remediación como para proporcionar otros servicios beneficiosos, pueden estar limitados estacionalmente, por ejemplo, disminuyendo durante los períodos de latencia de la planta. La efectividad de la remediación también puede limitarse a la profundidad de enraizamiento.</p> <p>La Fito volatilización es la transferencia de contaminantes de la matriz (agua subterránea) a otra (aire) y como tal, puede plantear objeciones regulatorias.</p>

Algunos estudios en Colombia han utilizado esta técnica de fitorremediación en diferentes aspectos, incluyendo:

- Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando los árboles de guarumo (*Cecropia peltata*) (Vidal *et al.*, 2010). En este estudio, se determinó la influencia del grado de contaminación, la aplicación de ácido cítrico y el tiempo de crecimiento de *Cecropia peltata* sobre la tasa de eliminación de mercurio en el suelo.

- Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (plomo y cadmio) y evaluación del selenio en la granja de furatenas del municipio de Utica (Cundinamarca) (Cordero, 2015; Serrano, 2006).
- Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas (Arias *et al.*, 2010). El propósito del proyecto fue evaluar la efectividad de los humedales para reducir la carga contaminante, como sistemas económicos de tratamiento para los productores de cerdos en Colombia.
- Fitorremediación de suelos contaminados con mercurio, usando *Jatropha curcas* (Marrugo *et al.*, 2015). Las especies de plantas de *Jatropha curcas* fueron evaluadas para evaluar su capacidad de fitorremediación en suelos contaminados por diferentes niveles de mercurio. Los tratamientos experimentales consistieron en cuatro niveles de concentración de mercurio en el suelo: T0, T1, T5 y T10 (0, 1, 5 y 10 µg Hg por g de suelo, respectivamente). El contenido total de mercurio absorbido por los diferentes tejidos vegetales (raíces, tallos y hojas) se determinó durante cuatro meses de exposición.

## Remediación Gentil – Adición de Enmiendas

Una forma de "remediación suave" es el uso de enmiendas que pueden incorporarse a la superficie del suelo para lograr la remediación mediante la estabilización in situ (Jones *et al.*, 2016). Los procesos de estabilización son una forma de gestión de las vías de exposición ya que los contaminantes permanecen *in situ*, pero su movilidad y biodisponibilidad se reducen, reduciendo así la lixiviación a través del perfil del suelo. Los procesos de inmovilización incluyen sorción a biomasa, adsorción a materia orgánica del suelo (por ejemplo, HAP a materia húmica) y sorción a superficies de materiales introducidos como carbón (Bardos *et al.*, 2010). Para los metales traza, los procesos más importantes implicados en esta inmovilización son precipitación, disolución, adsorción / desorción, procesos de complejación e intercambio iónico.

Las enmiendas pueden ser materiales específicamente diseñados para funciones específicas, tales como carbones modificados; o materiales a granel, tales como compostas y escorias. La inmovilización puede también seguir la modificación del pH del suelo, por ejemplo, por adición de cal. Sin embargo, esto generalmente se considera reversible y no es adecuado como medida a largo plazo. No obstante, en algunos casos, las enmiendas pueden generar una disminución del pH del suelo debido a los procesos de mineralización, por lo que se recomienda combinarlos con agentes de encalado (Kumpiene *et al.*, 2009).

Muchos sitios contaminados son complejos por naturaleza y pueden ser contaminados por una amplia mezcla de contaminantes. Como resultado, puede ser necesario aplicar más de una técnica de remediación en un sitio y / o combinar procesos en un tren de tratamiento para reducir las concentraciones de contaminantes a niveles aceptables (niveles de riesgo evaluados que no causarán daño). La selección del enfoque de tratamiento depende en gran medida de las condiciones específicas del sitio y de los contaminantes.

La estabilización *in situ* se utiliza principalmente para mitigar el riesgo de daño causado por la contaminación a niveles aceptables para la revegetación y los recursos hídricos subterráneos. Las enmiendas de ejemplo y los contaminantes que tratan, incluyen:

- Carbones vegetales modificados / carbones específicos: existe una amplia investigación sobre el uso de biochar (biocarbón) para la inmovilización de metales pesados y compuestos orgánicos (Ahmad, *et al.*, 2014; Lehmann y Joseph, 2009), como se analiza más detalladamente en el Informe del Producto 1<sup>3</sup>. Se ha desarrollado una serie de productos o se están desarrollando. Estos pueden basarse en materias primas específicas; tales como biochar de hueso o carbones incluyendo agentes modificadores tales como hierro cero-valente. Una aplicación emergente puede ser el uso de carbón vegetal como un vehículo para inóculos microbianos para promover la biodegradación *in situ* (bioaumentación).
- Otras modificaciones patentadas como Daramend™, que es un material orgánico mixto con hierro cero-valente y se utiliza para tratar contaminantes orgánicos que son susceptibles a degradación reductiva<sup>4</sup>.
- Calcantes: calcita, cal quemada, cal apagada, calcita dolomítica
- Fosfatos y apatitas: la inmovilización de metales, y en particular la inmovilización de plomo, ha tenido éxito cuando se utiliza una gama de materiales de alto contenido de fosfato, tales como apatitas e hidroxiapatitas sintéticas y naturales, roca fosfática, sales a base de fosfato, fosfato de diamonio, ácido fosfórico y sus combinaciones.
- El compostaje y otros materiales reciclados orgánicos: compost y enmiendas orgánicas, tales como lodos de depuradora, han demostrado reducir la movilidad de especies inorgánicas y orgánicas. Sin embargo, el efecto es muy específico para el material y el sitio, y se ha encontrado que la materia orgánica disuelta moviliza metales en algunas pruebas (Park y otros, Nason *et al.*, 2007).
- Escorias: algunos tipos de escorias, en particular escorias de alto horno, se han utilizado para inmovilizar metales *in situ*.
- Zeolitas: hay una serie de investigaciones interesadas en el uso de materiales naturales de zeolita para la inmovilización de metales *in situ* para facilitar la revegetación (Shi *et al.*, 2009; Leggo 2013).
- Hierro / productos de hierro: el hierro se oxida en el suelo y las especies móviles pueden sorberse a los óxidos / hidróxidos producidos y al proceso de oxidación. Se ha encontrado que las enmiendas ricas en óxidos metálicos combinadas con compost, fertilizantes, beringita, cenizas ciclónicas o cal, inmovilizan efectivamente los metales traza y aumentan el crecimiento de las plantas (Cundy *et al.* 2008).

Los pros y los contras del despliegue de la estabilización *in situ* se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11. Pros y contras de la Estabilización *in situ*

Ventajas	Desventajas
Inmovilización rápida de especies móviles facilitando la revegetación y protección de los receptores de agua afectados por la	Se necesita cuidado cuando se combinan varias enmiendas, ya que pueden interferir entre sí.

<sup>3</sup> Un plan para pruebas de campo in-situ de técnicas que prometen ser replicables a otros sitios contaminados de manera similar, basados en evaluaciones de tecnología y trabajo de prueba a escala de laboratorio (© r3 Environmental Technology Colombia SAS, 2016)

<sup>4</sup> <http://www.peroxychem.com/markets/environment/soil-and-groundwater/products/daramend-reagent>

Ventajas	Desventajas
<p>contaminación que se extiende desde el sitio.</p> <p>Las combinaciones tales como compost y carbones pueden utilizarse para lograr la gestión de riesgos y los servicios de mejora del suelo en paralelo.</p> <p>El uso de chars / biochars puede lograr el secuestro de carbono (temporal) en los suelos.</p> <p>Las enmiendas pueden restaurar la calidad del suelo equilibrando el pH, agregando materia orgánica, aumentando la capacidad de retención de agua, restableciendo las comunidades microbianas y aliviando la compactación.</p> <p>Compatible con muchas otras intervenciones, incluyendo medidas para lograr una mejor conservación, biodiversidad (dependiendo de la enmienda seleccionada).</p> <p>Generalmente, las enmiendas se pueden desplegar utilizando equipos agrícolas fácilmente disponibles.</p> <p>El uso de algunas enmiendas representa un medio de reutilización sostenible de los residuos (agrícolas e industriales).</p>	<p>La validación y la verificación pueden ser relativamente complejas, en particular para hacer el caso de un efecto protector a largo plazo para los reguladores.</p> <p>No es probable que proteja la salud humana cuando el contacto directo es una vía de exposición importante.</p> <p>Algunas modificaciones (Ej., Compostas y digestivos o lodos de depuradora) pueden estar asociadas con molestias por olores o aerosoles biológicos, otras pueden causar molestias por las emisiones de polvo fuera del sitio. Es particularmente importante encontrar enmiendas orgánicas de alta estabilidad y bajo olor y emplear los métodos de aplicación que minimizan las emisiones de olor, bio aerosol y / o polvo.</p>

Algunos estudios y proyectos en Colombia y América del Sur que han utilizado esta técnica de adición de enmiendas en diferentes aspectos, incluyen:

- Estudio de una alternativa para remediación de cargas de contaminantes en suelos, de actividades agrícolas (Segura, 2015). El sector agropecuario es uno de los que utilizan más insumos agrícolas para el control de problemas fitosanitarios, el trabajo mencionado, tiene como objetivo exponer un producto de tecnología innovadora, mediante la oxidación-reducción avanzada, transformando elementos potencialmente tóxicos en compuestos o elementos no peligrosos o menos peligrosos, reduciendo su solubilidad o toxicidad; Además de proporcionar su acción desinfectante con un amplio espectro de acción sobre las bacterias.
- Recuperación de suelos afectados por la sal en el departamento del Valle del Cauca utilizando vinazas concentradas (Rojas, 2005). La adición de 200 m<sup>3</sup>/ha de vinaza concentrada en el suelo salino-sódico redujo la concentración de sodio intercambiable y el PSI (porcentaje de sodio intercambiable) a niveles más bajos que los suelos



sódicos de referencia. La conductividad eléctrica también se redujo de 10,28 a 3,12 dS / m.

- Aplicación de enmiendas básicas a los suelos ácidos de la Región Pampa: efecto sobre el complejo de intercambio de suelos (Millan *et al.*, 2010). El propósito de este estudio fue: a) evaluar la capacidad de intercambio catiónico y la cantidad de nutrientes básicos presentes en algunos suelos ácidos de la Región Pampa, b) evaluar la concentración de  $Al^{3+}$  intercambiable, y c) evaluar el efecto de diferentes tipos y tasas de las modificaciones alcalinas en el complejo de intercambio.
- Caracterización de compuestos, lombricompost y su potencial uso en enmiendas de suelos y producción de cultivos (Torres *et al.*, 2006).
- Estrategias para reducir la absorción de mercurio en arroz (*Oryza sativa*) cultivada en suelos contaminados (Urango y Marrugo, 2015). Se evalúa el efecto de dos enmiendas sobre la absorción de Hg para el arroz (*Oryza sativa*) sembrado en un suelo contaminado en el norte de Colombia. Las técnicas estudiadas en este trabajo son la aplicación de cal y materia orgánica contaminada con Hg y posterior plantación de arroz en cada suelo de tratamiento.

## **Producción de biomasa, materias primas biológicas y fuentes secundarias renovables**

Materias Primas orgánicas y cultivos no alimentarios / industriales: las materias primas orgánicas describen los materiales de las plantas o de los animales que son procesados por la industria o la fabricación para hacer los productos de valor agregado<sup>5</sup>. La principal aplicación de las materias primas orgánicas es para la producción de biocombustibles (ver Sección 3.4), pero es posible una gama de aplicaciones más amplias, por ejemplo, en la fabricación de plásticos. Los cultivos no alimentarios abarcan una amplia gama de cultivos para fibras (como el lino), tintes (indigo), aceites esenciales (lavanda) u otros fines. La atracción de los campos contaminados por los cultivos no alimentarios o las materias primas orgánicas es que es poco probable que esta tierra esté en conflicto con la producción de alimentos; y el procesamiento aguas abajo del cultivo es menos probable que genere enlaces contaminantes inaceptables. Los recursos secundarios describen materiales recuperados que pueden sustituir a materiales virginales (por ejemplo, residuos de demolición molida que sustituyen a agregados). La producción de biomasa y materias primas orgánicas (como la madera) también puede proporcionar importantes beneficios de secuestro de carbono (US EPA, 2012).

Una serie de cultivos no alimentarios puede proporcionar materias primas útiles, por ejemplo, para energía (véase la sección 3.4), pero también como insumos para los procesos de producción que podrían producirse en campos contaminados, por ejemplo, para fibras, bioplásticos, tintes, aceites esenciales y una gama de otros usos fuera de las cadenas alimentarias. Una aplicación emergente es la conversión de residuos orgánicos, en particular residuos lignocelulíficos, en compuestos orgánicos utilizables en "biorrefinerías". Una

---

<sup>5</sup> La energía industrial y los cultivos no alimentarios: oportunidades de negocio para los agricultores, <https://www.gov.uk/guidance/industrial-energy-and-non-food-crops-business-opportunities-for-farmers>



biorrefinería es una instalación que integra procesos y equipos de conversión de biomasa para producir combustibles, energía, calor y productos químicos de valor añadido a partir de la biomasa. El concepto de biorrefinería es análogo a la refinería de petróleo de hoy en día, que produce múltiples combustibles y productos de petróleo (*Wikipedia*<sup>6</sup>).

Incluso la producción de alimentos puede tener lugar en sitios contaminados abandonados, siempre y cuando esto no introduzca un riesgo a través de la contaminación de los productos alimenticios. Un contexto común es el desarrollo de las granjas comunitarias en las zonas urbanas abandonadas (US EPA 2011; Mok *et al.* 2014). La producción de alimentos en terrenos industriales puede ser una posibilidad dependiendo de si se pueden introducir o no enlaces de contaminantes peligrosos en la cadena alimentaria. Un ejemplo común son las granjas urbanas y las parcelas establecidas en antiguos campos abandonados. El uso de campos contaminados para el pastoreo es también bastante común, por ejemplo, en antiguos rellenos sanitarios y sitios de desechos de minas, sin embargo, los riesgos requerirán una cuidadosa evaluación (Green *et al.*, 2014). Algunos cultivos como el lino pueden tener tanto aplicaciones alimentarias como no alimentarias.

Substituto del suelo vegetal / producción de áridos. En algunos sitios, la disponibilidad de agregados relativamente limpios puede abrir una oportunidad para la producción de sustitutos del suelo, mezclando diferentes grados de agregados con materia orgánica (WRAP, 2012). Otro desarrollo potencial de esto es la producción de césped, aunque habría que tomar cuidado para evitar cualquier exportación de césped contaminado fuera de sitio. Para algunos sitios, el reciclaje en las mismas instalaciones puede significar una reducción en gran medida de la necesidad de adquisición de materiales vírgenes importados para fines de restauración. Otros materiales recuperables incluyen materiales de relleno (balasto) que pueden utilizarse para fines geotécnicos, tales como arenas o gravas. Estos pueden ser de utilidad en la re-clasificación o re-contorneación de las áreas de un sitio, o fuera del sitio, así como en la construcción de características de ingeniería civil como barreras de sonido o protección contra inundaciones (Defra, 2009). Los enfoques de concentradores y clústeres, es decir, el procesamiento centralizado temporal que sirve a una serie de sitios, pueden hacer la recuperación de materiales más factible, especialmente cuando hay varias operaciones *ex situ* en una proximidad razonable que tienen lugar en una serie de áreas de un campo marrón o en las proximidades de un campo contaminado<sup>7</sup> [Nota: En los países de la UE, también pueden existir obstáculos reguladores a la reutilización de los productos reciclados, particularmente fuera del sitio].

El uso de campos contaminados para producción de materias primas orgánicas y cultivos no alimentarios está actualmente dominado por insumos para biocombustibles. Sin embargo, la producción no alimentaria en los campos abandonados en general sigue siendo un concepto emergente y se ha producido poca información pública o revisada por pares, con la excepción de la biomasa para la energía.

La madera / el bosque (incluyendo la fibra de madera) es una reutilización potencial para la tierra del campo contaminado abandonado. La reutilización de los campos abandonados para

---

<sup>6</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/Biorefinery>

<sup>7</sup> CL: AIRE (UK) Definición de Residuo: Código de práctica, <http://www.claire.co.uk/projects-and-initiatives/dow-cop>

el establecimiento de bosques es una orientación bien establecida y se dispone de una guía detallada<sup>8</sup> de varias fuentes (Cotton *et al* 2012; Willoughny *et al.* 2007). El uso de fibra de madera procedente de la copa de rotación corta, producida durante la fitorremediación, ha tenido alguna discusión en la literatura académica (Licht and Isebrands, 2005).

Los sitios contaminados abandonados son de creciente interés como lugares para nuevas instalaciones de reciclaje y también para el procesamiento de materias primas orgánicas. En Cerdeña, las antiguas tierras industriales se utilizan tanto para la ubicación de un centro de procesamiento de materias primas orgánicas (para la producción de bioplásticos) como también para centro para la producción de materias primas orgánicas, tanto agrícola como degradada<sup>9</sup>.

Los pros y los contras de utilizar los campos contaminados abandonados para producción o procesamiento de biomasa renovable, materias primas orgánicas y fuentes secundarias, se resumen en la Tabla 12.

*Tabla 12. Pros y contras de la utilización de campos contaminados para la biomasa, materias primas biológicas y fuentes secundarias renovables*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede proporcionar una oportunidad para la recuperación de la biomasa utilizable (por ejemplo, como materia prima o para la energía), así como una gama de otros servicios relacionados con, por ejemplo, la gestión del agua y la mejora del suelo</li> <li>• Los beneficios de la balanza energética y de carbono para la recuperación de la biomasa para su uso en materias primas o productos pueden ser mayores que la recuperación simplemente para la energía.</li> <li>• Puede formar parte de una estrategia de fitorremediación para gestionar los riesgos de la tierra contaminada.</li> <li>• Puede contribuir a proyectos de ecologización urbana y de granjas urbanas que tengan mayor sostenibilidad y beneficios comunitarios</li> <li>• Adecuado para terrenos no aptos para la construcción por razones geotécnicas</li> <li>• Asociado con el desarrollo de reservas de carbono en el suelo y la biomasa, así como en la sustitución de combustibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La biomasa cosechada necesita ser evaluada (y potencialmente monitoreada) para mostrar que los contaminantes no hayan migrado a ella. En algunos casos, la biomasa cosechada puede no ser fácilmente utilizable ya que su contenido de contaminantes puede requerir un permiso especial de los reguladores.</li> <li>• Puede requerir medidas de cultivo, medidas de descompactación u otras medidas de mejora del suelo para apoyar el crecimiento adecuado de las plantas.</li> <li>• Normalmente requiere una gestión y supervisión continuas, p. ej. Fertilización (que puede ser a través de reciclados), para prevenir daños de plagas, y / o recuperar biomasa</li> <li>• Los beneficios, tanto como técnica de remediación como para proporcionar otros servicios beneficiosos, pueden estar limitados estacionalmente, p. ej. Disminuyendo durante los períodos de latencia de la planta. La efectividad de la</li> </ul>

<sup>8</sup> <http://www.forestry.gov.uk/fr/infid-8a2lwj>

<sup>9</sup> [http://www.matrica.it/article.asp?id=26&ver=en#.VO35M\\_msXHV](http://www.matrica.it/article.asp?id=26&ver=en#.VO35M_msXHV)

Ventajas	Desventajas
<p>fósiles que tiene beneficios de balance de carbono y abre el potencial para el financiamiento de carbono.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La compatibilidad con otras formas de uso de la tierra (por ejemplo, cultivos, pastoreo de animales, parques) son factibles dependiendo del contexto del sitio.</li> </ul>	<p>remediación también puede limitarse a la profundidad de enraizamiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La Fito volatilización es la transferencia de contaminantes de una matriz (agua subterránea) a otra (aire) y como tal puede plantear objeciones reglamentarias.</li> <li>• El tamaño del sitio contaminado abandonado podría ser un factor limitante. La evaluación detallada de la viabilidad debe revelar la eficacia de un proyecto de este tipo (es decir, en términos económicos y ambientales al menos).</li> </ul>

Colombia ha tenido un gran desarrollo en el uso de biomasa para la generación de biocombustibles desde la ley 693 de 2001; sin embargo, no está directamente relacionada con la regeneración de sitios contaminados. En 2011, la Unidad de Planificación Minera y Energética de Colombia (UPME) desarrolló el Atlas del Potencial Energético de Biomasa Residual en Colombia (UPME 2011). Además, el desarrollo tecnológico ha sido el más importante para la producción de etanol, dicha entidad se refiere a procesos de fermentación e hidrólisis de materias primas comestibles (caña de azúcar y maíz), que a nivel global son bastante maduras (UPME, 2009). La información reciente sobre la biomasa se encuentra en "Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación y estado actual" (Martínez, 2014).

## Generación de Energía Renovable

Una gama de técnicas que permiten generar energía renovable se puede desplegar en campos contaminados, incluyendo biomasa, fotovoltaica, eólica y potencialmente fuentes geotérmicas / geológicas. La energía renovable explota fuentes que son compatibles con el carbono y, por lo tanto, ayudan a mitigar el calentamiento global. La producción de energía renovable permite un apoyo para independizar de los volátiles mercados de combustibles fósiles a los usuarios de estas energías, y pueden ser particularmente útiles en áreas de escasez de energía o de suministro variable. Por lo tanto, la producción de energía renovable es a la vez, un medio fiable y sostenible para producir energía y una estrategia para obtener seguridad en el suministro de energía, convirtiéndolo así en una solución atractiva tanto para los proveedores de energía (es decir, cumplir con las emisiones de GEI) como para los consumidores (contar con un suministro fiable a precios controlados). En comparación con los sectores convencionales de la energía, los estudios han revelado un gran potencial para la creación de empleo en el sector de energía verde y renovable (UK Energy Research Center, 2014). Aplicada en el contexto de la regeneración de áreas abandonadas, el suministro de energía renovable es una fuente potencial de ingresos para la gestión del sitio en curso. También evita el uso de sitios verdes para la producción de energías renovables,

reduciendo los posibles conflictos de uso de la tierra. Las variantes típicas de energía renovable incluyen las siguientes:

- *Energía eólica*: independientemente del tamaño del sitio contaminado (de unos 100m<sup>2</sup> hasta varias hectáreas), el tamaño de las turbinas eólicas (es decir, la potencia) y el número de las mismas, pueden adaptarse fácilmente para minimizar las perturbaciones como el ruido y el impacto visual. La generación de energía eólica puede ser fácilmente combinada con varios otros usos en un sitio de contaminado; es decir, reutilización residencial, comercial y de otro tipo, como parques y jardines (cultivos comunitarios). La presencia de aerogeneradores en las zonas urbanas puede ofrecer una mejor eficiencia ya que las pérdidas debidas al transporte de energía en largas distancias se minimizarían. La instalación de turbinas eólicas en sitios contaminados, reduce el consumo de espacios verdes prístinos y mejora su huella ecológica. La presencia de turbinas eólicas en los campos contaminados puede tener poco impacto en el destino y el transporte de contaminantes eventualmente presentes en el sitio. Sin embargo, las turbinas de viento más grandes pueden necesitar obras de tierra sustanciales para las bases. Su instalación deberá realizarse después de que se haya realizado una investigación detallada del suelo para evitar trabajos inapropiados en puntos calientes de contaminación que puedan movilizar contaminantes. Los factores limitantes para instalar la energía eólica en los campos abandonados son los relacionados con la viabilidad económica del proyecto, es decir, considerando la capacidad de suministro (es decir, la regularidad de las condiciones del viento) y la demanda (pico de demanda).
- *Energía solar*: las tecnologías solares pueden agruparse de manera general en sistemas pasivos y activos.
  - Los sistemas pasivos son los aplicados en las áreas urbanas y el diseño de la construcción con el fin de obtener el máximo beneficio de la energía radiante del sol para calentar eficientemente los edificios (es decir, la elección de la orientación adecuada de los elementos construidos hacia el sol, usando materiales y disposición espacial apropiados para distribuir el calor en la construcción, etc.). Las técnicas solares pasivas han mostrado beneficios similares a los de las infraestructuras verdes, ya que contribuyen a mitigar el efecto de la isla de calor urbano y mejorar el confort urbano. Como tal, a escala local, su combinación con reutilizaciones suaves en los sitios de reurbanización puede proporcionar a los inversores y a los usuarios, beneficios sustanciales (mejora de la calidad de vida mediante el confort térmico, los edificios eficientes energéticamente y el valor de los activos atractivos).
  - Las técnicas solares activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores solares térmicos para capturar energía. Los sistemas de energía solar activa pueden ser instalados directamente en el suelo o en las cubiertas de los edificios, dependiendo del propósito y la capacidad de potencia deseada. Las experiencias en los países pioneros de todo el mundo han demostrado que la eficiencia de los sistemas de energía solar que producen calor, se puede aumentar en gran medida en combinación con los sistemas estacionales de almacenamiento de energía térmica (STES). Estos sistemas son capaces de almacenar el calor durante meses. Por lo tanto, el calor solar recolectado principalmente en verano, se puede utilizar para todo el año de calefacción. Las aplicaciones STES suministradas por energía solar, incluyen edificios

individuales y redes de calefacción urbana. Los medios de almacenamiento térmico STES incluyen acuíferos profundos; roca nativa, perforaciones equipadas con intercambiadores de calor; grandes, poco profundas, llenas de pozos que están llenos de grava y aislamiento superior; Y grandes tanques de agua de superficie, aislados y enterrados. Por lo tanto, cuando se combinan con sistemas de almacenamiento de calor, la evaluación de la viabilidad de los sistemas de energía solar en los campos abandonados debe contemplar posibles limitaciones de las intervenciones en el subsuelo donde las infraestructuras subterráneas o la presencia de contaminantes podrían obstaculizar o complicar las operaciones.

- *Energía geotérmica:* la energía geotérmica es la energía proporcionada por el calor presente naturalmente en el subsuelo (rocas, tierra, agua subterránea, etc.). Las técnicas para recolectar calor pueden consistir en sistemas como las bombas de calor geotérmicas, es decir, bombas de calor de fuentes terrestres, donde las infraestructuras están enterradas en profundidades subterráneas poco profundas (pocos metros). Otras disposiciones pueden llegar a fuentes de calor más profundas (rocas calientes, fuentes geotérmicas a varios cientos de metros). Recientemente, la energía geotérmica ha encontrado amplias aplicaciones para calefacción de edificios, convirtiéndola en una fuente fiable y sostenible de energía para la vivienda y otros edificios (generación de calor o energía) y contribuyendo a reducir las emisiones de GEI y mitigar el cambio climático. Dependiendo de la tecnología, la explotación del calor geotérmico puede requerir una superficie mínima de tierra para enterrar las infraestructuras subterráneas y permitir el intercambio de calor. Esto hace que la tecnología sea perfectamente adecuada en áreas de usos mixtos y suaves, donde los edificios residenciales o industriales se calientan con fuentes geotérmicas. Los proyectos de regeneración de pozos marinos que prevén la producción de energía geotérmica en obra, deberían considerar posibles limitaciones relacionadas con la presencia de infraestructuras subterráneas. Su instalación deberá realizarse después de que se haya realizado una investigación detallada del suelo para evitar obstáculos e impedir trabajos inapropiados en puntos fuentes de contaminación que puedan movilizar contaminantes. Aunque en el caso de puntos fuentes de contaminación superficial, los contratistas pueden aprovechar las obras de tierra para excavar el suelo contaminado para un tratamiento ex situ adicional, ya sea dentro o fuera del sitio, dependiendo de los parámetros específicos del contexto y los costos. Banks describe un ejemplo del Reino Unido de la energía del agua de la mina (Banks, 2012).
- *Creación de energía de biocombustibles:* los biocombustibles son combustibles líquidos o gaseosos producidos a partir de organismos vivos. Éstos son generalmente plantas o materiales derivados de plantas, es decir, biomasa. Los combustibles se obtienen a partir de la conversión de biomasa a través de procesos térmicos, químicos y bioquímicos. Los biocombustibles líquidos incluyen el bioetanol producido por fermentación de almidón (es decir, de trigo, cebada, maíz o patata) o azúcares (es decir, caña de azúcar o remolacha azucarera) y el biodiesel producido por transesterificación de cultivos oleaginosos (incluyendo colza, soja, girasol, palma, Coco) y grasas animales. Se ha desarrollado una nueva generación de biocombustibles producidos a partir de las partes no alimentarias residuales de los cultivos y de otras formas de biomasa lignocelulósica, como la madera, las gramíneas y los residuos sólidos municipales, para reducir la competencia entre los sectores energético y alimentario. Más allá del sector del transporte, el bioetanol ofrece

perspectivas en los sectores de la industria química y el poder a través de la tecnología de las pilas de combustible.

- *El biometano / biogás* puede ser producido por la digestión anaerobia de materiales biodegradables. El biogás también se genera en vertederos que contienen residuos degradables. El biogás de vertedero, si no es capturado adecuadamente, contribuye a las emisiones de GEI y al calentamiento global. La contención adecuada y la valorización del biogás en vertederos, contribuyen tanto a mitigar el cambio climático como a proporcionar una fuente de energía renovable.
- La conversión térmica de la biomasa de los campos contaminados para generar electricidad y calor ha sido ampliamente demostrada. Abarca soluciones únicas que podrían aplicarse a tipos particulares de áreas en regiones particulares, por ejemplo, la Fito extracción en un tallo de rotación corta de sauce (SRC) para un área afectada por precipitaciones de fundición; o fito estabilización, utilizando un cultivo de pasto o colza de semilla oleaginosa con biomasa cosechable, para un área afectada por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), etc. (Bardos *et al.*, 2010, Lord *et al.*, 2010).

La reconversión de campos contaminados en usos suaves para materias primas de biocombustibles ofrece, a los inversores, la oportunidad de suministrar al sector de las energías renovables materia prima, ya sea en combinación con otros recursos de alimentación (CLUSTER) o como una fuente única. Si las instalaciones de conversión de biomasa se ubican y operan en el sitio o cerca, esta actividad puede contribuir a generar empleos verdes en áreas desfavorecidas e impulsar la economía local. Los subproductos de los procesos de generación de biocombustibles pueden convertirse en compost de alta calidad para la agricultura, jardines y paisajismo (es decir, digestados producidos mediante digestión anaeróbica) o alimento para ganado (es decir, subproductos de la producción de bioetanol de cultivos de cereales). Por lo tanto, la reconversión de campos contaminados para la generación de biocombustibles ofrece múltiples beneficios y servicios para la inversión realizada. Finalmente, la producción de biocombustibles a partir de materias primas cultivadas en antiguos campos abandonados evita la competencia con tierras agrícolas (es decir, los cultivos para la producción de materias primas) y reduce el consumo de tierra, contribuyendo así a mitigar las emisiones de GEI y el cambio climático.

Las ventajas y desventajas de utilizar campos contaminados para diferentes formas de producción de energía renovable se resumen en la Tabla 13.

*Tabla 13. Pros y contras de utilizar campos contaminados abandonados para la biomasa renovable, las materias primas biológicas y las fuentes secundarias*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los terrenos contaminados pueden ofrecer oportunidades para ubicar energías renovables que son mejor apoyadas por las comunidades locales</li> <li>• La energía renovable proporciona ingresos para apoyar la gestión y restauración de los campos contaminados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los beneficios económicos pueden no ser suficientes para cubrir por completo los costos de restauración de la zona (pero pueden proporcionar una compensación útil)</li> <li>• El suministro de energía renovable normalmente requiere el uso a largo plazo de un sitio (alrededor de 20 años), lo que puede reducir su potencial a largo plazo para nuevas</li> </ul>

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las energías renovables pueden proporcionar una amplia gama de beneficios económicos, sociales y medioambientales más amplios para las comunidades afectadas por los terrenos contaminados; Y también puede apoyar o trabajar en tándem con otras necesidades de gestión del sitio (por ejemplo, gestión de lixiviados a través de la biomasa).</li> <li>La compatibilidad con otras formas de uso de la tierra (por ejemplo, cultivos, animales de pastoreo, parques) son factibles.</li> </ul>	<p>reurbanizaciones. Sin embargo, pueden ser posibles instalaciones temporales, p. ej. Las plantaciones intermedias de energía de biomasa o las instalaciones fotovoltaicas móviles.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El tamaño del sitio contaminado podría ser un factor limitante. La evaluación detallada de la viabilidad debe revelar la eficacia de un proyecto de ese tipo (es decir, en términos económicos y ambientales al menos)</li> </ul>

Los esfuerzos en los EE.UU. para identificar el potencial de energía renovable de las tierras contaminadas, y proporcionar recursos de apoyo para las comunidades, los propietarios de tierras y los desarrolladores, han dado resultados impresionantes. A partir de una base de referencia de siete (7) proyectos con una capacidad total de 7,5 MW, para 2016 se han instalado 190 instalaciones de energía renovable en terrenos contaminados, vertederos y sitios mineros, con una capacidad instalada acumulada de poco más de 1,172 megavatios (US EPA, 2016). Además, la información públicamente disponible y divulgada por las partes interesadas indica que las comunidades han ahorrado millones de dólares en costos de energía, han creado empleos para la construcción y han recibido nuevos ingresos tributarios debido a la reutilización de sitios de energía renovable. Dos ejemplos de energía renovable en tierras mineras en los Estados Unidos son:

- Mina Chevron Questa

Chevron, la parte potencialmente responsable, coordinó con los ministerios federales y locales del medio ambiente durante la planificación de limpieza, permitiendo la construcción de una instalación solar fotovoltaica concentrada (CPV) de 1 megavatio (MW) sobre 20 acres del sitio. La planta de 175 paneles ha estado funcionando desde abril de 2011. Hoy en día, es la instalación más grande de su tipo en los Estados Unidos. Una cooperativa local de energía compra la energía a través de un contrato de compra de 20 años. La instalación solar genera suficiente electricidad para alimentar aproximadamente 300 viviendas.

- Instalación Solar de Avalon

En el sur de Arizona, una alianza pública y privada reconstruyó la propiedad de la mina de ASARCO para una instalación solar a escala industrial. El proyecto, llamado Avalon Solar Facility, suministrará 35 MW de energía limpia para la empresa local de servicios públicos bajo un contrato de compra de energía de 20 años.



## Estudios de casos de evaluación de factibilidad de energía renovable en Colombia

Como parte del trabajo de este informe, se aplicó el "Árbol de Decisión Electrónico" para determinar la viabilidad de un sitio para desarrollar un proyecto de energía renovable, teniendo en cuenta su uso en sitios contaminados o degradados (<https://www.epa.gov/re-powering/re-powerings-electronic-decision-tree>). La herramienta de árbol de decisiones está destinada a comprometer a los no expertos en energía renovable a detectar sitios potencialmente contaminados o subutilizados o vertederos para determinar si son buenos candidatos para proyectos fotovoltaicos o proyectos eólicos. Está diseñado para que los profesionales más expertos puedan navegar rápidamente por el árbol de decisiones y los interesados menos experimentados, puedan acceder a información adicional a medida que avanzan en las preguntas. La herramienta no tiene la intención de reemplazar o sustituir la necesidad de una evaluación detallada del sitio específico que seguiría este tipo de filtrado inicial (US EPA, 2016).

La herramienta aborda los siguientes tipos de sitios:

- Sitios potencialmente contaminados
- Vertederos (residuos sólidos urbanos, construcción y demolición o unidad similar)
- Subutilizados (parcelas abandonadas, estacionamientos, zonas de amortiguación)
- Tejado (solo PV solar, techos comerciales / industriales)

Se utilizó para ayudar a determinar si existen barreras potenciales a un proyecto solar o eólico en un sitio de interés, y la herramienta proporciona:

- Un paso a paso a través de consideraciones clave para el desarrollo de energía renovable en el sitio;
- Recursos sugeridos para ayudarle a contestar las preguntas de selección para medir el potencial del sitio; y
- Informes que resumen sus respuestas a las preguntas de selección, los hallazgos iniciales sobre la idoneidad y otros comentarios sobre el sitio.

Este proyecto utilizó esta herramienta para evaluar los dos sitios piloto en Colombia: Segovia y Tadó. Para realizar un análisis comparativo correcto, se seleccionó un sitio adicional contaminado por plaguicidas en la ciudad de Cartagena, en la costa norte de Colombia, debido al alto nivel de radiación solar presente en el sitio.

La herramienta se utilizó en su totalidad, aunque para algunos casos, los aportes de información tenían que hacerse sobre la base de suposiciones porque no se disponía de información completa. También era necesario tener en cuenta que algunos parámetros americanos, utilizados en la herramienta, no se aplicaban a Colombia. Sin embargo, usamos la herramienta tanto para proveer una primera aproximación como para construir 3 instalaciones de capacidad construible en Colombia. Basándonos en nuestra experiencia, la herramienta también podría ser utilizada para otros sitios en Colombia y en toda América Latina.

## **Resultados de la Evaluación de Segovia**

El sitio evaluado corresponde a la "Mina del Planchón" en Segovia, Antioquia. Se trata de una mina de oro artesanal actualmente explotada, ubicada en uno de los municipios más activos en este tipo de actividad económica, pero de manera artesanal e ilegal. El recurso solar en el sitio es mayor o igual a 3,5 KWh / m<sup>2</sup> / día según el Atlas Colombiano de Viento y Energía Solar.

El hallazgo inicial de la herramienta EPA son la satisfacción de los criterios sobre características generales del sitio, consideraciones de reconstrucción y evaluación de carga y financieros.

El área disponible para PV (instalación fotovoltaica) en el sitio de Segovia es aproximadamente 0,703 Ha o 1,7372 Acres (según una estimación aproximada basada en imágenes de satélite de Google Earth que no tienen muy buena resolución en el área), y el perímetro es de aproximadamente 340 m. Sin embargo, la recolección de información es necesaria para responder a las preguntas omitidas y volver al árbol de decisiones.

## **Resultados de la Evaluación de Tadó**

El sitio evaluado corresponde a una mina abandonada hace 8 años. Este sitio tiene 116 acres aproximadamente. El sitio no está libre de uso del suelo o de restricciones que impedirían el uso de energía solar fotovoltaica. Se localiza en áreas ambientalmente sensibles o de preservación, restricciones alrededor de aeropuertos o sitios de importancia histórica o cultural.

Se han desarrollado estudios previos, pero no han sido continuos. Esos estudios anteriores se centraron en la fitorremediación, pero no hay suficientes datos o resultados.

Las conclusiones iniciales de la herramienta de la EPA es que el sitio necesita información adicional para evaluar. Se omitió una o más preguntas centrales, y, por tanto, no se dispone de suficiente información para hacer un juicio inicial acerca de la viabilidad para el desarrollo de energía renovable o no. Estos hallazgos no reemplazan ni sustituyen la necesidad de una evaluación específica detallada del sitio.

## **Resultados de la Evaluación de Cartagena**

Con el fin de hacer una comparación con un sitio que tiene un récord mucho más viable en la instalación de energía renovable centrada principalmente en la energía solar, se tomó una propiedad en Cartagena, costa norte de Colombia.

El terreno total consta de alrededor de 44 Ha, de los cuales aproximadamente 20 Ha están disponibles para la instalación de sistemas fotovoltaicos. Actualmente el sitio está contaminado con pesticidas y el proceso de remediación ya lo están llevando a cabo los consultores ambientales. En el área del emplazamiento inicial, hay un confinamiento de seguridad que almacena en forma temporal y a largo plazo unos 22.726 m<sup>3</sup> de contenedores con residuos de plaguicidas obsoletos y suelos contaminados con pesticidas. Del mismo modo, rastros de metales pesados como Cadmio y Plomo parecen no corresponder a la naturaleza de los residuos confinados.

Los resultados de los estudios reportados por el propietario del sitio en 2014 (y que continúan informando periódicamente de acuerdo con la solicitud de las autoridades) muestran que el sistema de confinamiento ha funcionado, hasta ahora, de acuerdo con consideraciones de

diseño. El propietario está interesado en la remediación debido a la solicitud de las autoridades ambientales desde 1999. Hasta la fecha, los esfuerzos de remediación in situ (Oxidación con solución alcalina de Persulfato de Sodio) han sido realizados por una empresa consultora. Además, el propietario del sitio ha dirigido un trabajo social con la comunidad que está dirigido principalmente a dar información sobre la contaminación del sitio y la remediación que se está haciendo.

La radiación solar del sitio está entre 5 y 5,5 KWh / m<sup>2</sup> / día según el Atlas Colombiano de Viento y Energía Solar; Y la Densidad de Energía Eólica a 80 metros de Altura está entre 343 - 512 W / m<sup>2</sup>, según ese Atlas.

Además, los hallazgos iniciales de la herramienta EPA mostraron criterios satisfechos sobre características generales del sitio, consideraciones de reconstrucción y evaluación de la carga y aspectos financieros. El costo actual es de aproximadamente 0,13 US \$ / KWh por el costo unitario de proveer el servicio de Electricaribe.

Se encuentra, según la herramienta de la EPA que los arreglos de proyecto viables son la venta de energía eléctrica y vender energía a comprador fuera del sitio o la recolección de compradores.