GreenLabUC
Gestión y Política Ambiental DICTUC S.A.

Manual para la Valoración económica de medidas de reparación de daño ambiental

Estudio solicitado por el Ministerio de Medio Ambiente – Subsecretaria del Medio Ambiente

Santiago, 27 de diciembre de 2016

Tabla de contenido

Tabla de contenido I

Lista de Tablas II

Lista de Figuras II

Glosario III

Marco conceptual 5

Método propuesto 7

ETAPA 0: DEFINICIÓN DEL TIPO DE EVENTO Y CARACTERIZACIÓN DEL DAÑO 8
ETAPA I: IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE MEDIDAS APLICABLES 8
ETAPA II. IDENTIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS ESPECÍFICAS APLICABLES 9
ETAPA III. CREACIÓN Y COSTEO DE UN PORTAFOLIO DE MEDIDAS 9

Etapa 0: Definición del tipo de evento y caracterización del daño 10

PASO 0.A DEFINICIÓN DEL TIPO DE EVENTO 10
I. Acción *10*
II. Agente de daño *12*
III. Receptor afectado *13*
Propiedades básicas del receptor afectado *14*
Servicios ecosistémicos *17*
PASO 0.B CARACTERIZACIÓN DEL DAÑO 18

1. Etapa I: Identificación de los tipos de medidas aplicables 19

1.1 PASO I.A IDENTIFICAR TODOS LOS *TIPOS DE MEDIDAS POTENCIALMENTE APLICABLES* 19
1.1.1 Tipos de medidas de contención *20*
1.1.2 Tipos de medidas de remoción *23*
1.1.3 Tipos de medidas de restauración/rehabilitación *24*
1.2 PASO I.B DESCARTAR LOS *TIPOS DE MEDIDAS NO APLICABLES* DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DEL EVENTO 28

2. Etapa II: Identificación de las medidas específicas aplicables 30

2.1 PASO II.A PROPUESTA DE MEDIDAS ESPECÍFICAS DE REPARACIÓN POTENCIALMENTE APLICABLES AL CASO PARTICULAR 30
2.2 PASO II.B DESCARTAR LAS MEDIDAS ESPECÍFICAS DE REPARACIÓN NO APLICABLES 31

3. Etapa III: Creación y Costeo de un portafolio de medidas 34

3.1 PASO III.A COSTEO DE LAS MEDIDAS INDEPENDIENTES 34
3.1.1 Información en Bases de datos de medidas de reparación *34*
3.1.3 Estimación de los costos de una medida *38*
3.1.4 Consideraciones generales *39*
3.1.4.1 Forma de la función de costos *39*
3.1.4.2 Costos en el tiempo *40*
3.1.4.4 Actualización de los costos según índices económicos *41*
3.1.5 Fichas de medidas *41*
3.2 PASO III.B PORTAFOLIO DE MEDIAS 43
3.2.1 Tabla resumen de costos *44*

4. Bibliografía 46

5. Anexos 48

5.1 MEDIDAS DE CONTENCIÓN, REMOCIÓN Y RESTAURACIÓN/REHABILITACIÓN 48
5.2 SUGERENCIAS DE DOCUMENTOS E INFORMACIÓN ADICIONAL PARA COSTEAR MEDIDAS DE REPARACIÓN DE FORMA RÁPIDA Y PRELIMINAR 54
5.2.1 Base de datos del proyecto PLAREP (GreenLabUC, 2014) 54
5.2.2 Metodología de búsqueda - Programas de Cumplimiento presentados a la SMA 57
5.2.1 Ejemplo de búsqueda - Plataforma on line: Clean up information for contaminated sites EPA (2016) 58
5.3 RANGO DE VALORES PARA ALGUNOS COMPONENTES DE COSTO 61

Lista de Tablas

Tabla 0-1 Definición de Clase y Tipo de Acción 11
Tabla 0-2 Definición de Clase y Tipo de Agentes de daño 12
Tabla 0-3 Definición de los Componentes del medio ambiente según NOB 14
Tabla 0-4 Propiedades básicas de cada NOB 16
Tabla 0-5 Servicios ecosistémicos de soporte 18
Tabla 1-1 Matriz de medidas de Contención-Acción 21
Tabla 1-2 Matriz de medidas de Remoción-Agente 24
Tabla 1-3 Matriz de medidas de Restauración/Rehabilitación-Receptor 26
Tabla 1-4 Ejemplo de tabla con justificación de tipos de medidas que sí aplican para caso derrame de relaves por colapso de tranque 28
Tabla 2-1 Ejemplo de propuesta de medidas específicas para el evento de daño vertido o derrame de relave por colapso de tranque 31
Tabla 2-2 Ejemplo de medidas específicas aplicables para el evento de daño vertido o derrame de relave por colapso de tranque 33
Tabla 3-1 Campos de información contenidos en la Base de Datos 36
Tabla 3-2 Extracto de base de datos de costos de medidas de contención, remoción y restauración/rehabilitación 37
Tabla 3-3 Componentes de la función de costo 38
Tabla 3-4 Factores de actualización para algunos componentes de costo 41
Tabla 3-5 Ficha medida Fitoestabilización/inmovilización del relave con vegetación (resistente a contaminación) .43
Tabla 3-6 Ejemplo: medidas específicas aplicables al caso de estudio 45
Tabla 5-1 Ejemplos y/o descripciones para cada tipo de medida de contención, remoción o restauración/rehabilitación 48
Tabla 5-2 Lista de casos de fitoremediación para sitios contaminados con combustible USA 61
Tabla 5-3 Promedios o rangos de valores en CLP para el 2016 para algunos componentes de costo 62

Lista de Figuras

Figura 1 Tipología de medidas de reparación ambiental 5

Glosario

Acción	Intervención que realiza el ser humano al medio ambiente y que genera un impacto sobre él o alguno de sus componentes, ya sea por acción u omisión. Puede ser directa o por intermedio de un agente.
Agentes de daño	Cualquier entidad biológica, química o física que puede inducir una respuesta adversa a uno o más de los componentes del medio ambiente.
Componentes del medio ambiente	Subdivisiones operativas de los elementos que componen cada Nivel de Organización Biológica, desde el punto de vista de la ecología.
Comunidad	Nivel de organización biológica que corresponde a un conjunto de poblaciones de distintas especies que coexisten e interactúan entre sí en un área determinada.
Daño ambiental - Ámbito legal	Toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes.
Daño ambiental - Ecología	Corresponde a cambios "no presupuestados" que generan variaciones negativas en la estructura o el funcionamiento de los ecosistemas por fuera de sus rangos habituales.
Ecosistema	Nivel de organización biológica que corresponde a un conjunto de comunidades (factores bióticos) sumadas a los factores abióticos y los procesos de flujo de materia y energía asociados (e.g. irradiación solar, condiciones y procesos climáticos, ciclos del agua y biogeoquímicos, procesos geomorfológicos).
Ecosistema de referencia	Sistema de referencia que se define para establecer las metas de reparación de un ecosistema dañado cuando no hay información suficiente para determinar una línea base. El sistema de referencia debe ser similar al dañado, pero debe estar intacto y su selección debe estar sujeta a que cuente con componentes y propiedades básicas similares.
Línea base	Corresponde al medio ambiente en su estado previo a la ocurrencia del daño.
Medidas biofísicas de reparación	Acciones específicas a realizar sobre el medio ambiente, con el fin de alcanzar algún grado de reparación ambiental.
Medidas de contención	Clasificación de medidas de reparación ambiental que actúan a nivel de la acción, con el objetivo principal de detener la acción o evitar la exposición del ecosistema al agente de daño.
Medidas de remoción/remediación	Clasificación de medidas de reparación ambiental que buscan disminuir la presencia del agente de daño en el medio ambiente o alguno de sus componentes. Estas se clasifican en acción física, tratamiento fisicoquímico y tratamiento biológico.
Medidas de restauración/rehabilitación	Clasificación de medidas de reparación ambiental que buscan restituir las propiedades básicas del receptor afectado, y se clasifican en revegetación, refaunación, recuperación de suelos, recuperación de cuencas, recuperación de paisaje.
Medio ambiente	Sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente

	modificación por la acción humana o natural y que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones.
Nivel de organización biológica	Organización jerárquica de los sistemas naturales. Cada nivel muestra una serie de propiedades emergentes, no presentes en los niveles inferiores, y que involucran tanto variables de estado como procesos característicos que determinan sus dinámicas internas y cómo interactúan entre sí. Estos niveles de organización son (de menor a mayor): Poblaciones, Comunidades, Ecosistemas y Paisaje ecológico.
Paisaje Ecológico	Nivel de organización biológica que corresponde al arreglo espacial de distintos ecosistemas, juntos con los procesos de transporte e intercambio de materia, energía e individuos.
Población	Nivel de organización biológica que corresponde a un conjunto de organismos de una misma especie que coexisten en un lugar y momento determinados.
Propiedades básicas	Propiedades características de cada receptor (componente del medio ambiente), ya sean colectivas (i.e. que surgen de la suma de propiedades de los elementos en el nivel inferior) o emergentes (i.e. que no pueden predecirse sólo del agregado de elementos, ya que derivan de la interacción entre ellos y con el medio). Dichas propiedades en conjunto describen tres aspectos fundamentales de cualquier receptor: composición, estructura y función.
Receptor	Componente específico del medio ambiente que fue directamente afectado (o el principalmente afectado) por la acción y agente de daño, en el caso de que exista.
Recuperación	Conjunto de técnicas que tienen como meta la recuperación de sólo algunos atributos básicos del sistema dañado (los que pueden ser restituidos). Se enfoca en la funcionalidad del ecosistema y no en la estructura de sus componentes.
Rehabilitación	Conjunto de técnicas que tienen como meta la recuperación de ciertos atributos ecosistémicos de estructura.
Reparación ambiental	La acción de reponer el medio ambiente o uno o más de sus componentes a una calidad similar a la que tenían con anterioridad al daño causado o, en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas
Restauración	Conjunto de técnicas destinadas a iniciar y reforzar la recuperación de un ecosistema dañado, con el fin último de restaurar todos sus atributos fundamentales.
Servicios ecosistémicos	Beneficios materiales, económicos, de salud o culturales que los seres humanos obtienen del funcionamiento de los ecosistemas. Corresponden a la contribución directa (Servicios de provisión, regulación y culturales) o indirecta (servicios de soporte) de los ecosistemas al bienestar humano.

Marco conceptual

El daño ambiental desde el punto de vista legal, corresponde a "toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes" (Ministerio Secretaria General de la Presidencia, 1994, p. artículo 2 letra e)). La ecología define daño ambiental como "los cambios "no presupuestados" que generan variaciones negativas en la estructura o el funcionamiento de los ecosistemas por fuera de sus rangos habituales" (Barrantes, 2001; McDonald, Jonson, & Dixon, 2016; Society for Ecological Restoration International & Science & Policy Working Group, 2004).

Ambas definiciones se refieren al daño ambiental como una alteración sobre el medio ambiente (y sus componentes), la cual es negativa, significativa (fuera de los rangos normales) y, en el contexto de este documento, siempre tendrá origen antropocéntrico.

Este Manual se acota al costeo de medidas de reparación aplicadas a los receptores ecológicos, es decir, al costeo de medidas biofísicas. Las medidas de reparación se generan a partir de la caracterización del daño, lo que implica la comparación de las propiedades básicas del receptor antes y después del daño, así como de los servicios ecosistémicos (SSEE) de soporte impactados.

La identificación de las medidas de reparación que deben ser implementadas será respuesta de la clasificación de los tipos de daños (con el input de la descripción del evento de daño y su determinación como daño ambiental significativo). Esta identificación seguirá el modelo conceptual de la figura a continuación:

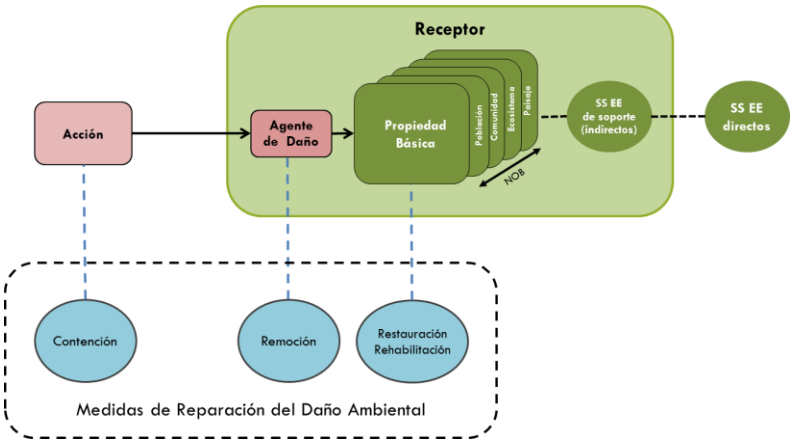

Figura 1 Tipología de medidas de reparación ambiental

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar de la Figura 1 el evento de daño se determina por el conjunto de su acción, agente (que puede o no estar presente) y el receptor(es). Los “tipos” de daños posibles son todas las combinaciones posibles de estos tres elementos. Así, la acción, el agente de daño y el receptor afectado determinarán la clasificación de daño y servirán de insumo para la obtención de las potenciales medidas de reparación. Esta clasificación permite definir las medidas de reparación según el elemento del daño al cual se dirigen: contención, dirigido a la acción; remoción, dirigido al agente de daño; y restauración/rehabilitación, dirigido al receptor afectado.

A continuación se presenta el método general propuesto para la identificación y costeo de medidas de reparación. Esta metodología se presenta paso a paso de manera de facilitar su correcta implementación, detallando los conceptos y consideraciones de cada uno de estos pasos.

Método propuesto

La finalidad de este documento es la generación de lineamientos metodológicos para el costeo de medidas de reparación de daño ambiental. Todo esto sobre una base de un marco conceptual basado en la recopilación, revisión y unificación de conceptos y metodologías.

Dado que es una metodología general, es imposible considerar cada una de las posibles combinaciones de acciones, agentes y receptores específicos que pueden generar daño ambiental. Igualmente, es imposible considerar todas las medidas y tecnologías particulares para reparar cada uno de los casos de daño.

Para superar esta situación se ha desarrollado un método de dos niveles. El primer nivel es general, en que se trabaja no con los elementos (acciones, agentes, receptores y medidas) específicos, si no que con el *"tipo"* de elemento. Estos tipos son exhaustivos, y permiten cubrir todas las acciones, agentes, receptores y medidas de reparación posibles. En este espacio de *"tipos"* es posible construir matrices que relacionan los tipos de medidas de reparación con los tipos de los demás elementos, y de esta manera obtener una lista de medidas potencialmente aplicables.

El segundo nivel comprende a los elementos *"específicos"*, así, una vez determinados los *tipos* de medidas potencialmente aplicables es posible proponer medidas *específicas* que sean aplicables al caso particular de daño ambiental. Estas medidas son las que eventualmente se pueden costear, y a partir de ellas construir un portafolio de medidas que repare el daño ambiental, cuyo costo se puede estimar a partir de las estimaciones de costos de cada medida.

Así, la clasificación de daño está definida por la combinación de tres elementos: acción, agente y receptor. Pero, como se mencionó, existen dos niveles para clasificarlo: el general o "tipo" de daño definido por el tipo de acción, el tipo de agente y el tipo de receptor; y el específico o "evento" de daño se determina por la acción específica, el agente específico y el receptor específico. Asimismo, la clasificación de medidas de reparación generales son los tipos de medidas de contención, tipos de medidas de remoción y tipos de medidas de restauración/rehabilitación; mientras que las medidas específicas son aquellas que son potencialmente aplicables al evento específico.

Con ambas clasificaciones se generan matrices que relacionan las medidas de reparación con los elementos de daño: contención-acción, remoción-agente y restauración/rehabilitación-receptor

En ambos niveles (*tipos* de medidas y medidas *específicas*) se proponen dos pasos: una *identificación* de todos los tipos o medidas potencialmente aplicables, y luego, en base a las características del evento particular, la *selección* de las medidas efectivamente aplicables.

Si bien la metodología es simple y generalizada, permite cumplir con los objetivos de clasificación del evento, identificación preliminar de tipos de medidas y lineamientos acerca de cómo abordar el costeo de las medidas específicas de reparación ambiental.

Etapas del Método

El método consta de tres etapas. Se incluye también una etapa cero de manera de analizar la información que se recibe del evento de daño, donde se definirá y clasificará el evento de daño ambiental, el cual constituye el insumo sobre el cual se implementará la metodología propuesta.

Etapa 0: Definición del tipo de evento y caracterización del daño

Debido a la importancia del insumo de información que se recibe acerca del evento de daño, se genera esta etapa de manera de entender qué información se requiere y cómo se estructura para poder implementar el método propuesto.

Se requiere el detalle el evento que ocasionó el daño: la acción (Tabla 0-1), el agente (Tabla 0-2) y el receptor (Tabla 0-3) y sus afectaciones. Esto debe ser a nivel de caracterización (qué receptores fueron afectados de manera significativa y los efectos, cuáles fueron las propiedades básicas impactadas, etc.) y cuantificación (magnitud, extensión, temporalidad, etc.).

Output 0.a: $\{tipo\ de\ acción\}_i \quad \{tipo\ de\ agente\}_j \quad \{tipo\ de\ receptor\}_k$

Output 0.b: Caracterización del daño

Etapa I: Identificación de los tipos de medidas aplicables

En esta etapa se identifican los tipos de medidas aplicables, a partir de los tipos de elementos que definen la clasificación del daño: acción, agente de daño y receptor, utilizando las matrices de cruce: contención/acción (Tabla 1-1), remoción/agente (Tabla 1-2) y restauración-rehabilitación/receptor (Tabla 1-3). La identificación se realiza en dos pasos: primero, a partir de las matrices de cruce se identifican todas las medidas potencialmente aplicables. Luego, con la información del evento específico, se descartan los tipos medidas no aplicables.

Output I.a: Lista de ***Tipos de medidas potencialmente aplicables***

Output I.b: Lista de ***Tipos de medidas aplicables***

Etapa II. Identificación de las medidas específicas aplicables

En esta etapa se proponen medidas específicas de reparación. Estas medidas corresponden a instancias particulares de cada tipo de medida, aplicada al evento de daño específico. Al igual que en la etapa anterior, la identificación de estas medidas se realiza en dos pasos, donde primero se identifican todas las medidas posibles y luego se filtran de acuerdo a su aplicabilidad. Este último es el paso más desafiante, ya que requiere conocimiento del caso particular, y de la aplicabilidad de los tipos de medidas dirigidas a él.

Output II.a: Lista de ***Medidas específicas potencialmente aplicables***

Output II.b: Lista de ***Medidas específicas aplicables***

Etapa III. Creación y Costeo de un portafolio de medidas

En esta etapa se estima el costo de cada una de las medidas específicas aplicables, a partir de la información del caso particular y de la información de costos unitarios obtenida de las tablas de referencia, bases de datos, opinión de expertos, o cotizaciones.

Output III.a: Ficha de cada ***Medida específica aplicable*** *con sus* ***Costos unitarios*** *asociados*

Output III.b: Tabla resumen de ***Medidas específicas seleccionadas*** *con los* ***Costos totales***

A continuación se desarrolla en detalle cada una de estas etapas y pasos.

Etapa 0: Definición del tipo de evento y caracterización del daño

Paso 0.a Definición del Tipo de evento

Este paso corresponde a la identificación del tipo de acción, tipo de agente de daño y tipo de receptor usando las tablas de la metodología que los definen. Se utiliza la información de la descripción del daño y cualquier antecedente que contribuya a la clasificación del evento de daño.

*Output: **{tipo de acción}**$_i$ **{tipo de agente}**$_j$ **{tipo de receptor}**$_k$*

I. Acción

Primero se identifica la acción, una acción es una "intervención que realiza el ser humano al medio ambiente y que genera un impacto sobre él o alguno de sus componentes, ya sea por acción u omisión". Ésta puede ser directa o por intermedio de un agente.

En el contexto del presente documento, las acciones se clasifican según su naturaleza:

1. **Introducción de agentes**

Se refiere a la introducción de agentes externos (físicos, químicos, biológicos, u otros) al medio ambiente, sin importar la finalidad de la acción.

2. **Modificación directa**

Considera acciones que tienen como efecto directo el cambio en la estructura, composición o función del medio ambiente.

3. **Extracción de componentes**

Implica la extracción de uno o varios componentes del medio ambiente, sin importar la finalidad de la extracción.

El primer paso es identificar la naturaleza del daño, si es introducción, modificación o extracción. Luego, con la ayuda de la Tabla 0-1 se clasifica el daño en uno de los tipos de acciones propuestas. Es importante tener en cuenta que la Tabla a continuación no es exhaustiva y pueden faltar tipos de acciones que puedan generar daño. Se busca que las clases de acción sí sean exhaustivas, es decir, que cualquier tipo de acción nueva que pueda identificarse, se pueda clasificar dentro de una clase de acción.

Tabla 0-1 Definición de Clase y Tipo de Acción

Clase	Tipo	Ejemplos
Introducción de agentes	Disposición de residuos en suelo	Disposición de sustancias potencialmente contaminantes, mala disposición de residuos en vertedero
	Vertido o derrame en suelo	Derrame de hidrocarburos en bosques, derrame de ácido sulfúrico en suelo
	Vertido o derrame en agua	Derrame de hidrocarburos en el mar, derrame de residuos orgánicos en un río o vertido de agua en extremo estado de pureza
	Lixiviación en agua subterránea o superficial	Lixiviación de vertedero en aguas subterráneas, lixiviación de relaves mineros hacia ríos
	Emisiones al aire	Emisión de NOx a la atmósfera (calderas), emisión de metano a la atmósfera (vertederos)
	Introducción de organismos exóticos	Introducción de castores en Tierra del Fuego (puede desencadenar una plaga)
	Introducción de patógenos	Introducción de enfermedades específicas a la población de ranas (por introducción de organismo exótico)
	Introducción de energía	Explosiones en la minería (vibraciones), vertido de agua con mayor o menor temperatura en un río
Modificación directa	Incendio	Incendio forestal, incendio en vertedero
	Construcciones	Construcción de edificios, construcción de puentes
	Alteración de la estructura del paisaje	movimiento de tierra para despejar caminos fuera de ruta, fragmentación de áreas, deforestación para clareamiento
	Modificación del Régimen hídrico	Embalses, centrales hidroeléctricas
Extracción de componentes	Tala	Tala de árboles, especies nativas.
	Extracción de vegetación	Extracción de plantas, algas, hongos
	Extracción de fauna	Extracción de huevos, organismos vivos para tráfico, pesca, caza
	Extracción de áridos o suelo	Extracción de áridos, minerales, metales (minería)
	Extracción agua	Extracción de agua para utilizar en una planta de celulosa
	Remoción de hielo	Derretimiento de glaciares por acción de faenas productivas

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que un daño ambiental puede estar causado por más de un tipo de acción y/o puede estar causado por un tipo de acción directa, pero que finalmente el daño fue producto de otro tipo de acción. Por ejemplo la lixiviación de líquidos de un vertedero genera daño, el daño fue indirectamente causado por la disposición de residuos (el vertedero en sí) pero la acción que causa el daño directamente es la lixiviación.

II. Agente de daño

El agente de daño es cualquier entidad que puede inducir una respuesta adversa a uno o más de los componentes del medio ambiente.

Como el agente de daño no siempre está presente (por ejemplo la acción directa de extracción de componentes), se debe identificar inicialmente si en un evento de daño éste existe. En general, siempre que la clase de acción sea "Introducción de agentes" existirá un agente, mientras que para "Modificación directa" y "Extracción de componentes" se debe analizar caso a caso. La Tabla 0-2 muestra los principales tipos de agentes de daño. Si bien el listado no es exhaustivo, se intenta incluir todos los tipos agentes identificados. Sin embargo, se busca que las clases de agentes sí sean exhaustivas, es decir, que cualquier agente aún no identificado calce dentro de alguna de las clases definidas.

Tabla 0-2 Definición de Clase y Tipo de Agentes de daño

Clase	Tipo	Ejemplos
Físicos	Sólidos en suspensión	MP, sólidos suspendidos totales (SST)
	Residuos sólidos	Escombros, residuos domésticos
	Infraestructura	Edificios, antenas, puentes
	Energía	Vibración, calor (Δtemperatura), mecánica (explosiones), ruido
Químicos	Compuestos orgánicos	Pesticidas, DBO
	Compuestos orgánicos volátiles - semivolátiles	Metano, alcoholes, fenoles, aromáticos
	Compuestos (o elementos) inorgánicos	Metales pesados, fertilizantes, arsénico, agua en extremo estado de pureza
	Compuestos oxigenados	Éteres, cetonas
	Combustibles	Petróleo, hidrocarburos en general
	Explosivos	TNT
Biológicos	Patógenos	Microorganismos, bacterias, virus
	Organismos Exóticos	Especies alóctonas
	Biomasa	Organismos muertos, desechos de celulosa

Fuente: Elaboración propia

Existirán ocasiones en que un agente podrá ser clasificado en más de un tipo de agente. Por ejemplo, en un derrame de relave minero (por colapso de un tranque de relave) el agente de daño es el relave en sí, y se clasifica como residuo sólido, ya que cubre una superficie (lo que causa daño). No obstante, también es considerado un compuesto inorgánico por su contenido de metales pesados u otras sustancias contaminantes (lo que también causa daño). La

identificación de ambas tipologías permitirá implementar medidas dirigidas a las dos variantes del daño provocado por este agente, de tal forma de lograr una mejor reparación.

III. Receptor afectado

Para terminar la clasificación del evento se debe identificar el receptor. Esto requiere de la mayor información posible, ya sea cualitativa o cuantitativa, de los impactos y efectos causados por el evento de daño en los distintos receptores.

El receptor corresponde al componente específico del medio ambiente que fue directamente afectado por la acción y agente de daño (en el caso de que éste último exista). La caracterización del daño debe considerar los efectos en cada uno de los receptores afectados y la cuantificación del daño se debe realizar en base a la diferencia en sus propiedades básicas de composición, estructura y función. Esto es crucial para determinar la cantidad, intensidad y duración de las medidas de reparación, particularmente las de restauración/rehabilitación, que tienen como objetivo la recuperación de las propiedades básicas dañadas.

Los componentes del medio ambiente se ordenan según su nivel de organización biológica y corresponden a población, comunidad, ecosistema y paisaje ecológico (como muestra la Tabla 0-3). Los niveles superiores incluyen a los inferiores debido a que los sistemas biológicos muestran una estructura jerárquica anidada, donde un conjunto de elementos o entidades en un determinado nivel conforman un elemento del nivel superior. Por ejemplo, un conjunto de organismos (i.e. individuos) de una especie en un lugar y momento dado conforman una población y un conjunto de poblaciones de distintas especies en un lugar y momento dado conforman una comunidad (Loreau, 2010; Maurer, 1999; Odum & Barrett, 1971). Por su parte, el nivel “Ecosistema” incluye elementos abióticos, y la interacción de los elementos bióticos con el medio (abiótico) involucra un conjunto de propiedades distintas a las tratadas a nivel comunitario, pero a una escala menor que las tratadas a nivel del paisaje ecológico.

Tabla 0-3 Definición de los Componentes del medio ambiente según NOB

Nivel de Organización Biológica	Componentes del medio ambiente
Poblaciones	Organismos
Comunidades	Flora
	Fauna
Ecosistemas	Ambiente Terrestre: suelo y sedimento
	Ambiente marino y costero
	Cuerpos y Cursos de agua dulce
Paisaje Ecológico	Hábitat
	Relieve (Geomorfología)
	Cuencas (Hidrología)

Fuente: Elaboración propia

El usuario de este manual debe identificar todos los receptores específicos afectados. Supongamos un caso de extrema contaminación por descarga de RILes en cuerpos de agua dulce. Si bien el máximo nivel de organización biológica es Ecosistemas, los receptores específicos son por ejemplo Cursos de agua del estero X, peces de la especie Y y Z, etc.

De este modo, se deben listar todos los receptores específicos aceptados y además se deben identificar los efectos del daño en ellos dados por la perturbación en sus propiedades básicas.

A continuación, se define y expone una lista de las propiedades básicas de los diferentes niveles de organización biológica y un listado de los servicios ecosistémicos de soporte que se deben considerar en la caracterización del daño.

Propiedades básicas del receptor afectado

Cada NOB posee propiedades características fundamentales de: **composición** (i.e. el número e identidad de los elementos que lo componen), **estructura** (i.e. la configuración espacial y temporal de dichos elementos) y **función** (i.e. los procesos que resultan de la interacción entre elementos y con el medio) (Angermeier & Karr, 1994; Noss, 1990).

Un mismo daño ambiental puede afectar simultáneamente propiedades de más de un NOB (Peplow & Edmonds, 2005), pero los efectos sobre las propiedades de un NOB no necesariamente se propagan sobre otros niveles. Sin embargo, se reconoce que algunas propiedades a nivel comunitario o del paisaje pueden ser relevantes para entender los efectos de un determinado disturbio sobre el ecosistema. Por ejemplo, cambios en diversidad funcional pueden afectar las

tasas de procesos ecosistémicos (Loreau, 2010). Por último, un servicio ecosistémico puede ser suministrado por un paisaje, una población, incluso organismos (i.e. árboles milenarios como atracción turística). Sin embargo, se los ubica dentro del NOB "ecosistema" ya que en la mayoría de los casos involucra la interacción de elementos bióticos con el medio abiótico, y suelen definirse a escala local. Este estudio se restringe a los SSEE de soporte, a continuación se presenta un listado de Propiedades Básicas a distinto NOB.

Tabla 0-4 Propiedades básicas de cada NOB

NOB	Composición	Estructura	Función
Organismo	--	Tamaño corporal; desarrollo somático y reproductivo; adecuación al medio.	Parámetros fisiológicos, metabólicos y conductuales (o de comportamiento); fecundidad/fertilidad.
Población	Abundancia (nº de individuos, biomasa, cobertura, etc.)[a]; estructura de edades y sexos; diversidad y composición genética (haplotipos).	Rango geográfico; distribución espacial; incidencia; fenología; estructura genética.	Parámetros demográficos (tasas de crecimiento, natalidad, mortalidad); morbilidad; dinámica metapoblacional (tasas de inmigración, emigración); microevolución (pérdida de haplotipos, flujo génico).
Comunidad	Abundancia comunitaria; composición y diversidad (riqueza, equidad) taxonómica (e.g. de especies), de rasgos (e.g. funcional) y filogenética; abundancia/presencia de especies clave, endémicas, exóticas o amenazadas.	Asociaciones, fisonomía y estructura de vegetación, y asociaciones faunísticas; gradientes; segregación de nichos y espacial; estructura trófica y redes de interacción.	Interacciones interespecíficas; colonización/invasión y extinción; estado sucesional; cascadas tróficas.
Ecosistema	Número y diversidad de fuentes y reservorios de materia y energía; composición y diversidad de la biota; abundancia/presencia de especies clave e ingenieras.	Micro-topografía, rasgos físicos y estructurales; estructura y textura del suelo; conectividad entre reservorios	Productividad; flujo de materia y energía; ciclaje de nutrientes; procesos biogeoquímicos; pedogénesis; parámetros físico-químicos; servicios ecosistémicos de soporte
Paisaje	Composición, diversidad y cobertura relativa de tipos de ecosistemas; estado de conservación de los ecosistemas; uso y cobertura del suelo; superficie de áreas con figura de protección.	Disposición y estructura (conectividad, tamaño, forma, etc.) de fragmentos; orografía, hidrografía y oceanografía; ordenamiento territorial del uso del suelo.	Flujo de individuos (dispersión, migración), materia y energía (y contaminantes) entre unidades del paisaje; procesos geomorfológicos (e.g. erosión, sedimentación); caudal hidrológico, corrientes oceánicas y circulación atmosférica.

Fuente: elaboración propia a partir de (Angermeier & Karr, 1994; Noss, 1990; Soberón, Rodríguez, & Vázquez-Domínguez, 2000)
[a]Entre paréntesis "()" se identifican algunos de los posibles indicadores de dicha propiedad básica

Nótese que para una propiedad en particular pueden existir diversos indicadores (se muestran algunos ejemplos); su elección dependerá de las características de los elementos que conforman el NOB y de limitantes metodológicas o logísticas.

Con el receptor afectado identificado, el listado de la Tabla 0-4 permitirá identificar cuáles fueron las propiedades básicas afectadas. La cuantificación del daño sobre cada receptor específico vendrá dada por la determinación del cambio en las variables críticas (propiedades básicas), medidas según los indicadores cualitativos o cuantitativos.

Para determinar cualitativa o cuantitativamente los cambios en las propiedades básicas se deberá contar con una línea base del medio ambiente dañado. En caso de no contar con una línea base, se puede seleccionar un ecosistema de referencia (este se selecciona porque cuenta con componentes y propiedades básicas similares a las del sistema dañado) sobre el cual comparar las propiedades básicas. La determinación de la línea base o sistema de referencia corresponde a un insumo a recibir para la metodología expuesta en este documento.

Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son "*la contribución directa o indirecta de los ecosistemas al bienestar humano*" (MEA, 2005) y considera a los servicios de Soporte, Provisión, Regulación y Culturales. CICES (Haines-Young & Potschin, 2013) utiliza un acercamiento antropogénico para los SSEE por medio de la Cascada de los Servicios Ecosistémicos, considerando sólo aquellos que tengan directa relación con el bienestar humano. El enfoque MEA (2005), incluye los SSEE intermedios (de soporte) debido a su contribución a los otros SSEE y al ecosistema. La afectación de los SSEE de soporte por eventos de daño impacta las relaciones existentes entre los receptores ecológicos, por lo que su análisis permite evaluar el estado de avance de la reparación.

Se pueden ver semejanzas entre las propiedades básicas de función de los componentes del medio ambiente y los SSEE de soporte. Esto se debe a que ambos se dirigen a los procesos que sustentan el funcionamiento del medio ambiente y ambos conceptos son relevantes para considerar dentro de la caracterización del daño causado al receptor. La Tabla 0-5 los expone.

Tabla 0-5 Servicios ecosistémicos de soporte

División	Grupo
Servicios necesarios para toda la producción de los otros servicios ecosistémicos	Control de Erosión
	Producción de oxígeno a través de fotosíntesis
	Producción Primaria
	Formación y retención de suelo
	Ciclo de nutrientes
	Ciclo hídrico
	Provisión de hábitat

Fuente: MEA (2005)

Paso 0.b Caracterización del daño

Al ocurrir un evento de daño al cual se le deben calcular los costos de las medidas de reparación, se utiliza como input la caracterización y cuantificación del daño ambiental. Es decir la definición de daño significativo a uno o más componentes del medio ambiente, y la descripción del evento con sus efectos sobre cada receptor.

Los antecedentes que se tengan de un evento de daño ambiental deben dar cuenta de la causa del daño y de todos los efectos en los distintos receptores, así como la descripción de la magnitud de las consecuencias. Mientras mejor sea la calidad de esta información, mejores medidas se podrán aplicar y mejores resultados se esperan sobre todos los receptores.

El equipo consultor propone caracterizar el daño en base a la descripción de los efectos negativos significativos en cada uno de los receptores, y cuáles fueron las propiedades afectadas de cada uno de ellos tanto de composición, estructura y funcionamiento (entre ellos los servicios ecosistémicos que proveían). Para estos efectos se propone un listado de propiedades básicas (variables críticas) con algunos indicadores que orientan las metas de reparación. Por ejemplo, si la densidad de una especie vegetal disminuyó a X individuos/ha en un sitio, un indicador de reparación será el retornar a la densidad previa al daño, o a la de algún sistema de referencia cercano. Por supuesto se requerirá de información con respecto a una línea base o sistema de referencia (en el caso de que no exista información del medio ambiente previo al daño).

A nivel de cuantificación, se requiere el detalle de la magnitud de los efectos en cuanto a extensión, temporalidad, reversibilidad etc. La cuantificación permitirá determinar la cantidad de reparación necesaria (en unidades funcionales), y será un indicador del desempeño de la implementación de las medidas. Por ejemplo, si se disponen X toneladas de residuos al suelo, la medida se dará por satisfactoriamente implementada al disponer la totalidad de toneladas cuantificadas.

1. Etapa I: Identificación de los tipos de medidas aplicables

En esta etapa se identifican los tipos de medidas aplicables, a partir de los tipos de evento de daño definidos según acción, agente de daño y receptor; utilizando las matrices de contención/acción, remoción/agente y restauración-rehabilitación/receptor que se describirán a continuación.

La identificación se realiza en dos pasos: primero, a partir de las matrices de cruce se identifican todas las medidas potencialmente aplicables. Luego, con la información del evento específico, se descartan los tipos medidas no aplicables.

1.1 Paso I.a Identificar todos los *tipos de medidas potencialmente aplicables*

Una vez identificados los elementos que componen el evento de daño, se pueden identificar de manera preliminar las medidas de reparación que posibles de implementar.

La clasificación del daño en estos tres elementos se usa como una manera de dirigir la reparación a cada elemento de manera independiente. La Figura 1 del capítulo de marco conceptual muestra un diagrama de cómo se relacionan las tipologías de medidas de reparación ambiental con los diferentes elementos que conforman el daño. Así, se definen tres tipos de medidas para la reparación ambiental, según la naturaleza de la medida y el elemento del daño al cual se dirigen:

1. Contención (de la acción)
2. Remoción (del agente de daño en caso de existir)
3. Restauración/Rehabilitación (de los receptores según NOB)

Las medidas de contención abordan directamente la acción de daño, las de remoción tienen como foco abordar el agente de daño y, por último, las medidas de restauración y rehabilitación se aplican al receptor con el objetivo de restaurar las propiedades básicas.

En las secciones a continuación se encuentran listados los principales tipos de medidas de contención, remoción y restauración/rehabilitación que se obtienen según el tipo de acción, tipo de agente de daño y receptores identificados.

El anexo 5.1 entrega un listado de las medidas de contención, remoción y restauración/rehabilitación con ejemplos y/o descripciones para entender de mejor manera el objetivo de los tipos de medidas.

De igual manera que para la clasificación del daño, se intenta ser exhaustivo en los tipos de medidas, sin embargo pueden existir otros tipos de medidas para reparación ambiental.

1.1.1 Tipos de medidas de contención

Las medidas de Contención actúan a **nivel de la acción**, con dos objetivos principales:

- ✓ Detener la acción. Consiste en la suspensión de la acción cuando esta origina el daño. Por ejemplo: Suspender la tala, sellar la fuga de contaminante, detener la extracción de algas, detener extracción de áridos, etc.
- ✓ Evitar la exposición del receptor al agente de daño. Por ejemplo: cercar un derrame de petróleo, canaletas para detener escurrimiento de tóxicos, cerco para animales, barrera para evitar entrada de organismo exóticos), etc.

Siguiendo los tipos de acciones definidas en la etapa anterior, se genera una matriz de cruce de medidas de contención-acción, que identifica los tipos de medidas de contención que se podrían aplicar, según tipo de acción. Esta matriz se presenta en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1 Matriz de medidas de Contención-Acción

Clasificación	Tipo de medidas de contención \ Tipo de acción	Introducción de agentes								Modificación directa				Extracción de componentes						
		Disposición de residuos en suelo	Vertido o Derrame en suelo	Vertido o Derrame en agua	Lixiviación en agua subterránea o superficial	Emisiones al aire	Introducción de organismos exóticos	Introducción de Patógenos	Introducción de energía	Incendio	Alteración de la estructura del paisaje	Modificación del Régimen hídrico	Construcciones	Tala de árboles	Extracción de vegetación	Extracción de fauna	Extracción de áridos	Extracción de suelo y sus componentes	Extracción de agua	Remoción de hielo
Suspender acción	Suspensión/Reducción de ingreso de nutrientes externos	x		x																
	Suspensión/Reducción de descargas		x	x	x															
	Suspensión/Reducción de ingreso de organismos						x	x			x									
	Suspensión de faenas productivas	x	x	x	x	x			x								x	x	x	x
	Suspensión/Reducción de construcción de infraestructura	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
	Control fuente de emisión					x			x	x										
	Aseguramiento de relaves	x	x	x	x	x														
Evitar exposición	Suspensión/Control y monitoreo de circulación, acceso o atraque	x		x			x	x	x	x	x		x	x		x		x		
	Monitoreo y alerta temprana								x											
	Establecimiento de zonas periféricas de protección/amortiguación	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
	Infraestructura para restringir acceso, circulación o atraque	x	x	x			x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	
	Cinturones de vacunación							x												
	Vacunación in extenso							x												
	Remoción combustibles de superficie									x										
	Reducción combustibles escalera (dosel inferior)									x										

Clasificación	Tipo de acción / Tipo de medidas de contención	Introducción de agentes								Modificación directa				Extracción de componentes						
		Disposición de residuos en suelo	Vertido o Derrame en suelo	Vertido o Derrame en agua	Lixiviación en agua subterránea o superficial	Emisiones al aire	Introducción de organismos exóticos	Introducción de Patógenos	Introducción de energía	Incendio	Alteración de la estructura del paisaje	Modificación del Régimen hídrico	Construcciones	Tala de árboles	Extracción de vegetación	Extracción de fauna	Extracción de áridos	Extracción de suelo y sus componentes	Extracción de agua	Remoción de hielo
	Apertura/Raleo de dosel									x										
	Tala selectiva de árboles pequeños y sotobosque									x										
	Quema controlada									x										
	Protección árboles grandes (resistentes)									x										

Fuente: Elaboración propia

1.1.2 Tipos de medidas de remoción

Las medidas de Remoción buscan disminuir la presencia del **agente de daño** en el medio ambiente. Se clasifican en 3 grupos:

- ✓ **Física:** corresponde a medidas orientadas a la extracción del agente de daño (contenido en el ecosistema). Por ejemplo: retiro de suelo contaminado, remoción de infraestructura, retiro de residuos sólidos, destrucción de nidos de especies introducidas, etc.
- ✓ **Tratamiento físico-químico**: involucra el tratamiento in situ o ex situ del receptor afectado para remover, inmovilizar, neutralizar, precipitar o transformar el agente de daño mediante una reacción química (que permite que el agente causante del daño deje de hacerlo). Por ejemplo, neutralización de ácidos con cal, eliminación de hidrocarburos por medio de tratamiento térmico, etc.
- ✓ **Tratamiento biológico:** es la transformación, absorción, retención del agente para disminuir su presencia o neutralizar su efecto por medio de organismos vivos. Esto se puede lograr, por ejemplo, mediante las técnicas a continuación:
  - Fitorremediación por medio de plantas.
  - Biorremediación por medio de microorganismos.
  - Introducción de depredadores.

Considerando los tipos de agentes de daño de la etapa anterior se genera una matriz de cruce de medidas de remoción-agente (Tabla 1-2), que identifica los principales tipos de medidas de remoción, según el agente de daño. El listado de medidas presentado en la tabla a continuación no es exhaustivo, por lo cual se debe buscar información adicional acerca de medidas no contenidas en la tabla. La clasificación de los tipos de medidas de remoción sí busca ser completa, es decir, cualquier medida adicional se podrá clasificar dentro de estas.

De la matriz a continuación, se obtienen todas las medidas de **remoción** marcadas para las columnas del **agente**(s) identificado.

Tabla 1-2 Matriz de medidas de Remoción-Agente

Clasificación	Tipo de medida de remoción \ Tipo de agente de daño	Físico				Químico						Biológico		
		Sólidos en suspensión	Residuos sólidos	Infraestructura	Energía	Compuestos orgánicos	Compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles	Compuestos inorgánicos	Compuestos oxigenados	Combustibles	Explosivos	Patógenos	Organismos Exóticos	Biomasa
Físico	Remoción física de residuos y/o infraestructura	x	x	x										
	Dragado de sedimentos contaminados	x	x			x	x	x	x	x	x			x
	Remoción de suelo	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Limpieza/remoción de agentes	x	x			x	x	x	x	x	x			x
	Limpieza y desintoxicación de Organismos	x	x			x	x	x	x	x		x		
	Captura y eliminación de organismos											x	x	x
	Desmalezado, tala selectiva												x	
	Destrucción de nidos o refugios												x	
	Manejo de hábitat												x	
Tratamiento físico-químico	Tratamiento fisicoquímico in situ[a]	x	x			x	x	x	x	x	x	x		x
	Tratamiento fisicoquímico ex situ[b]	x	x			x	x	x	x	x	x	x		x
	Tratamiento térmico in situ	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x		
	Tratamiento térmico ex situ	x	x			x	x	x	x	x	x	x		
	Aplicación de agroquímicos											x	x	
Tratamiento biológico	Fitorremediación	x	x			x	x	x	x	x	x	x		x
	Biorremediación	x	x			x	x	x	x	x	x	x		x
	Introducción de depredadores naturales												x	
	Introducción de patógenos												x	

Fuente: Elaboración propia

[a]Las tecnologías in situ implican un tratamiento del agente en el lugar donde ocurrió el daño

[b]Las tecnologías ex situ implican la extracción y transporte del receptor para su tratamiento fuera del lugar en donde ocurrió el daño, posteriormente se devuelve el receptor a la zona afectada.

1.1.3 Tipos de medidas de restauración/rehabilitación

El tercer tipo de medida corresponde a la restauración/rehabilitación, el cual está orientado a restituir **las propiedades básicas del receptor según NOB,** clasificándose de la siguiente forma:

- ✓ Revegetación

- ✓ Refaunación
- ✓ Recuperación de suelos
- ✓ Recuperación de cuencas
- ✓ Recuperación de paisaje

La finalidad de estas medidas es lograr la reparación del receptor afectado al nivel de organización biológica (NOB) identificado, ya que hay medidas dirigidas a organismos, como también hay medidas dirigidas a la repoblación de comunidades y a la recuperación de suelo, entre otras.

Es importante mencionar que, si bien no se considera directamente la reparación de los servicios ecosistémicos, éstos se encuentran incluidos de manera implícita en el nivel de organización biológica. De esta manera, al restaurar o rehabilitar una propiedad básica del ecosistema (uno de sus componentes) se reparan también los servicios ecosistémicos de soporte. Por ejemplo, dentro de las medidas de restauración/rehabilitación se encuentran:

- ➢ Introducción de fijadores de nitrógeno, que restablece el SSEE del ciclo de nutrientes
- ➢ Estabilización de bancos ribereños y costas con vegetación, que restablece el SSEE de control de erosión
- ➢ Construcción/reconstrucción de corredores biológicos, que restablece el SSEE de provisión de hábitat

La Tabla a continuación presenta una matriz de cruce de medidas de restauración/rehabilitación-receptor, que muestra **algunos de los principales** tipos de medidas de restauración/rehabilitación posibles de acuerdo al tipo de receptor afectado. El listado de medidas presentado no es exhaustivo, por lo cual se debe buscar información adicional acerca de medidas no contenidas. La clasificación de los tipos de medidas de restauración/rehabilitación sí busca ser completa, es decir, cualquier medida adicional se podrá clasificar dentro de estas.

Tabla 1-3 Matriz de medidas de Restauración/Rehabilitación-Receptor

Clasificación intermedia	Tipo de medida de restauración/rehabilitación \ Receptor	Pob.	Comunidades		Ecosistemas				Paisaje	
		Individuos	Flora	Fauna	Ambiente Terrestre: suelo y sedimento	Ambiente marino y costero	Cuerpos y Cursos de agua dulce	Hábitat	Relieve (Geomorfología)	Cuencas (Hidrología)
Revegetación	Recolonización natural (sin intervención, sucesión ecológica)	x	x					x		
	Protección árboles semilleros	x	x					x		
	Tala/Poda selectiva	x	x					x		
	Construcción de perchas artificiales para dispersores	x	x					x		
	Construcción de micro cuencas de captación	x	x					x		
	Construcción de microbarreras	x	x					x		
	Sembrado manual (spp. nativas)	x	x					x		
	Sembrado mecánico (spp. nativas)	x	x					x		
	Plantado desde vivero por nucleación (spp. nativas)	x	x					x		
	Plantado desde vivero in extenso (spp. nativas)	x	x					x		
	Relocalización desde áreas cercanas (spp. nativas)	x	x					x		
	Sembrado (spp. exóticas)	x	x					x		
	Plantado desde vivero (spp. exóticas)	x	x					x		
	Irrigación artificial	x	x					x		
	Control/Manejo de herbívoros	x	x					x		
Refaunación	Recolonización natural (sin intervención, sucesión ecológica)	x		x				x		
	Creación de corredores biológicos	x	x	x	x			x		
	Creación de pasos para peces u otros grupos	x	x	x		x	x	x		x
	Control/Manejo de depredadores	x		x				x		
	Construcción/Reconstrucción de refugios naturales	x		x				x		
	Construcción de refugios artificiales	x		x				x		
	Agregado de estructuras artificiales para organismos sésiles	x		x				x		
	Entrega de alimentación	x		x				x		
	Reintroducción de individuos desde criadero o acuario	x		x				x		
	Relocalización desde/hacia áreas aledañas	x		x				x		
	Inoculación de invertebrados por relocalización de suelo o sedimentos	x		x	x	x	x	x		

	Rehabilitación ex situ de individuos y liberación	x		x						
	Introducción/Reintroducción de especies bioturbadoras/bioingenieras	x	x	x	x	x	x	x		
	Traslocación de organismos superabundantes (spp. nativas)	x	x	x						
	Eliminación de organismos superabundantes (spp. nativas)	x	x	x						
Recuperación de suelos	Restitución/Construcción de perfiles	x	x	x	x				x	
	Estabilización de suelo con vegetación		x		x			x	x	x
	Aplicación de mantillo, humus, abono	x	x	x	x					
	Inoculación de hongos micorríticos y microorganismos	x	x	x	x					
	Introducción fijadores de N	x	x	x	x					
	Agregado de fertilizantes químicos	x	x	x	x					
	Tratamiento químico	x	x	x	x					
	Irrigación	x	x	x	x					
	Labranza	x	x	x	x					
Recuperación de cuencas	Recuperación pasiva (sin intervención)	x	x	x	x	x	x	x		x
	Relleno/Recarga del lecho	x	x	x	x	x	x	x		x
	Estabilización del lecho con vegetación	x	x	x	x	x	x			x
	Canalización	x	x	x	x	x	x			x
	Control de régimen de inundación	x	x	x	x	x	x			x
	Control de caudal con vegetación	x	x	x	x	x	x			x
	Control de caudal con estructuras artificiales	x	x	x	x	x	x			x
	Control de salinidad	x	x	x	x	x	x			x
	Construcción/Reconstrucción de bancos ribereños	x	x	x	x	x	x			x
	Estabilización de bancos ribereños y costas con vegetación	x	x	x	x	x	x			x
	Estabilización de bancos ribereños y costas con estructuras artificiales	x	x	x	x	x	x			x
	Manipulación de trama trófica	x	x	x	x	x	x	x		x
	Oxigenación artificial del agua	x	x	x		x	x			x
Recuperación del paisaje	Reconstrucción/construcción de relieve	x	x	x				x	x	x
	Rellenado de zanjas, depresiones	x	x	x	x			x	x	
	Grandes movimientos de tierra	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Realineamiento/retroceso manejado/despolderización	x	x	x	x	x	x		x	x
	Recreación de hábitats específicos	x	x	x				x		
	Reconstrucción/Construcción de humedales	x	x	x	x	x	x	x		x
	Reconstrucción de drenaje natural	x	x	x				x		x

Fuente: Elaboración propia

1.2 Paso I.b Descartar los *tipos de medidas no aplicables* de acuerdo a las características específicas del evento

Con el listado de tipos de medidas obtenidos del paso anterior y considerando las características específicas del evento de daño (no sólo la tipología como en el paso anterior), se descartan los tipos de medidas no aplicables.

Inicialmente se realiza una revisión a nivel de clasificación de medidas, en algunos casos se podrán descartar grupos completos de clasificación de medidas. En particular esto puede ocurrir en la remoción, cuando el agente sólo pueda ser removido por un tipo de técnica (por ejemplo, la infraestructura sólo podrá ser removida por medios físicos) o en el caso de la restauración a nivel de hábitat, donde potencialmente aplican todas las medidas de revegetación y refaunación pero en un caso específico puede ser requerida sólo la revegetación.

Una vez descartadas las clasificaciones que no apliquen al evento se puede revisar cada tipo de medida de las clasificaciones restantes. Es necesario considerar cada medida y justificar su aplicabilidad al caso específico de manera de plasmar cada decisión tomada y poder detectar errores de manera más rápida.

La justificación del **descarte** se realiza de manera explicativa, en texto (el caso de no aplicabilidad es el más importante de explicar detalladamente, ya que el tipo de medida será descartado para el resto de la metodología). Los tipos de medidas que sí aplican se reúnen en una tabla con la debida justificación, a modo resumen, de porqué aplica al caso.

La tabla a continuación muestra un ejemplo de análisis de aplicabilidad para un caso de derrame de relaves ocasionado por el colapso de un tranque mal construido.

Tabla 1-4 Ejemplo de tabla con justificación de tipos de medidas que sí aplican para caso derrame de relaves por colapso de tranque

Tipo de Medida	Justificación
Aseguramiento de relaves	El daño fue desencadenado por la mala construcción de un relave
Establecimiento de zonas periféricas de protección/amortiguación	Protección para evitar la exposición a otros receptores o que empeore la situación actual
Estabilización de suelo con vegetación	Para estabilizar suelo erosionado o el relave almacenado

Fuente: Elaboración propia

Algunos de los puntos a considerar al analizar la aplicabilidad de los tipos de medidas son los siguientes:

Para tipos de medidas de contención:

- ✓ ¿La acción de daño continúa?
- ✓ ¿Se puede detener? ¿Cómo?
- ✓ ¿Hay algún componente del medio ambiente que no ha sido impactado pero aún puede ser afectado? ¿Cómo se protege?

Para tipos de medidas de remoción:

- ✓ ¿El agente puede ser removido?
- ✓ ¿La remoción puede ser física, fisicoquímica, o por medios biológicos? ¿Cuáles?
- ✓ ¿De dónde se debe remover el agente, de individuos o de ecosistemas? En caso de ser ecosistemas ¿de qué ámbito se trata, terrestre (suelo y sedimentos), agua dulce o marina, u otros?

Para tipos de medidas de restauración/rehabilitación:

- ✓ ¿Cuál fue el receptor específico? (qué planta, especie animal, el hábitat de qué especie, etc.)
- ✓ ¿Qué propiedades básicas se afectaron de cada receptor?
- ✓ ¿En qué medida o hasta qué punto se puede reparar cada propiedad básica?
- ✓ ¿Es necesaria una medida adicional para restituir alguna propiedad básica?

2. Etapa II: Identificación de las medidas específicas aplicables

En esta etapa se proponen medidas específicas de reparación, que corresponden a instancias particulares de cada tipo de medida, aplicadas al caso específico. Al igual que en la etapa anterior, su identificación se realiza en dos pasos, donde primero se identifican todas las medidas posibles y luego se filtran de acuerdo a su aplicabilidad. Este es el paso más desafiante, ya que requiere conocimiento del caso particular, y de la aplicabilidad de los tipos de medidas dirigidas a él.

2.1 Paso II.a Propuesta de medidas específicas de reparación potencialmente aplicables al caso particular

A partir de la lista de ***tipos*** de medidas aplicables, generadas en la etapa I, considerando las características particulares del evento de daño y el criterio experto, se proponen las medidas de reparación específicas que se podrían aplicar al caso particular.

En esta etapa es importante la consulta a unidades técnicas dentro del MMA y/o a organismos externos con competencia ambiental y, en los casos más complejos, a un experto en el tipo de daño ocurrido. Un profesional informado en esta etapa debería estar al tanto de las tecnologías disponibles, su aplicabilidad (incluyendo temas tan triviales como la posibilidad de conseguir los instrumentos, el personal y los materiales necesarios en el país) y de las mejores estrategias para su aplicación, muchas veces a partir de la experiencia previa de su ejecución en terreno.

De manera adicional, las medidas específicas a proponer se pueden obtener de la revisión de la base de datos de medidas desarrolladas en este proyecto, que sistematiza tecnologías y medidas utilizadas en otros casos de daño. Las BBDD contienen información proveniente de:

- Base de Datos CMDB (Control Measures Data Bases) (EPA, 2010)
- An overview and analysis of site remediation technologies (Khan et al., 2004)
- Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Second Edition (EPA, 1994)
- Road Map to Understanding Innovative Technology Options for Brownfields Investigation and Cleanup, Third Edition (EPA, 2001)
- Manual de Tecnologías de Remediación de Sitios Contaminados (Fundación Chile 2012b)
- Tabla de valores 2016 - Ley Bosque Nativo – Conaf (Ministerio de Agricultura, 2015)
- Programas de Cumplimiento presentadas a la SMA
- Plataforma *on line:* Clean up information for contaminated sites EPA (2016)

Para más detalle se puede ir a la sección 3.1.1, 5.1 y 5.2, siguiendo la metodología de búsqueda de medidas pero sin ahondar en los costos ya que no corresponde para este paso.

Se obtendrá como producto de esta etapa una tabla resumen con la propuesta de medidas específicas a aplicar (al menos una para cada tipo de medida identificada en la etapa I). A continuación se presenta un ejemplo de tabla resumen con algunas medidas específicas para el caso de vertido o derrame de relave por colapso de tranque.

Tabla 2-1 Ejemplo de propuesta de medidas específicas para el evento de daño vertido o derrame de relave por colapso de tranque

N°	Tipo de Medida	Medidas específicas	Fuente
1	Aseguramiento de relaves	Malla protectora para inmovilizar el relave	Opinión experta
2		Capa superior de plástico para evitar lixiviación y movimiento	Experiencia nacional (Segundo Tribunal Ambiental, 2014)
3	Infraestructura para restringir acceso, circulación o atraque	Instalación de señalética para restricción de circulación	(SERNAGEOMIN, 2006)
4	Remoción física de residuos y/o infraestructura	Extracción manual con animales de carga	Experiencia
5		Extracción con retroexcavadora y maquinaria pesada	
6	Tratamiento fisicoquímico in situ	Solidificación/vitrificación del relave (impermeabiliza la base)	(GreenLabUC, 2016)
7	Biorremediación	Bioventing	
8	Estabilización de suelo con vegetación	Estabilización/inmovilización del relave con vegetación	Opinión experta
9	Labranza	Descompactación manual de suelo	Experiencia
10		Descompactación de suelo con maquinaria (tractor)	

Fuente: Elaboración propia

2.2 Paso II.b Descartar las medidas específicas de reparación no aplicables

Considerando todos los antecedentes disponibles acerca del evento particular de daño (magnitud del daño, concentraciones, localización geográfica, características específicas del agente, tiempo de acción de la medida, etc.) en este paso se descartan las medidas que, siendo teóricamente aplicables, no lo son en la práctica. Se debe registrar la razón por la cual se descartan.

El resultado de este paso es la lista de medidas específicas aplicables al caso. Esta lista es la que finalmente se busca costear.

Algunos de los principales puntos a considerar al analizar la factibilidad técnica de las medidas específicas son los siguientes:

- ✓ **Receptor específico**: medidas que tienen la misma función pueden ir dirigidas a receptores o agentes específicos. Por ejemplo un cerco de madera como medida de contención de animales en comparación con un cerco de red. El cerco de madera puede retener a animales más grandes mientras que la red, dependiendo del tamaño, podrá atrapar animales más pequeños.
- ✓ **Versatilidad a diferentes condiciones**: dos medidas pueden cumplir el mismo objetivo pero una puede ser más adaptable a diferentes circunstancias climáticas, geográficas, etc. Por ejemplo una cubierta de retención de suelo para prevenir un alud podría ser una malla, pero si es que se utiliza una cubierta sin poros e impermeable se previene la inestabilidad por lluvias que muevan la tierra.
- ✓ **Incompatibilidad**: Puede ocurrir que una medida sea incompatible con otra o haga que se vuelva innecesaria. Por ejemplo una medida de remoción química de un agente contaminante y otra medida de remoción física. También son incompatibles medidas como inmovilización de contaminantes por asfaltado y fitoestabilización del contaminante.
- ✓ **Efectos secundarios no deseados**: se deben considerar los efectos secundarios que podría tener una medida y si estos sobrepasan los beneficios de su aplicación. Por ejemplo colocar una red en un río para retener sedimentos tóxicos, podría generar un bloqueo de la corriente por retener muchos sólidos y podría retener y dañar la fauna ribereña.
- ✓ **Factibilidad por magnitud**: una medida puede no resultar conveniente por la magnitud del impacto, esto en relación al trabajo que conlleva o las economías de escala. Por ejemplo, para remover 100 kg de un contaminante puede resultar factible y conveniente la remoción manual, pero para remover 100 toneladas no se recomendaría la remoción manual, si no que se debería buscar un método que permita un trabajo más expedito y fácil como remoción con maquinaria pesada. De igual manera, al momento de considerar técnicas de remoción de agentes, cuando la magnitud a tratar es muy grande se vuelve infactible el tratamiento exsitu por los costos de transporte que conllevaría.
- ✓ **Disponibilidad de recursos**: el caso específico se encuentra en un contexto geográfico que puede definir la disponibilidad de ciertos materiales o recursos, volviendo unos más accesibles que otros. Por ejemplo si se quiere apagar un incendio en una zona árida, no se implementará una medida de movimiento de grandes volúmenes de agua para apagarlo, sino más bien se utilizará arena o químicos que estén disponibles de manera más fácil, económica e inmediata.

Los estándares nacionales para la restauración ecológica en Australia (McDonald et al., 2016) establecen los siguientes puntos importantes a considerar al momento de la implementación de un plan de reparación ambiental:

> "Durante la fase de implementación se gestionan los proyectos de restauración de manera tal que:
>
> a. No se causa daño adicional ni duradero por el trabajo de restauración.

b. Los tratamientos se interpretan y realizan de manera responsable, efectiva y eficiente.
c. Todos los tratamientos se enfrentan de manera de ser responsables con los procesos naturales y promover y proteger la recuperación natural.
d. Se generan cambios direccionales correctivos como respuesta ante respuestas inesperadas del ecosistema.
e. Todos los proyectos cumplen de manera completa con toda la legislación de trabajo, seguridad y salud (y cuenta con los permisos requeridos).
f. Todos los operativos del proyecto deben comunicarse regularmente con las partes involucradas clave.

Si bien estos estándares son para un plan completo de reparación del medio ambiente, pueden servir en esta etapa para evaluar la aplicabilidad de cada medida específica.

Nuevamente, la justificación del **descarte** se realiza de manera explicativa, en texto. Las medidas específicas que sí aplican se reúnen en una tabla con la debida justificación, a modo resumen, de porqué aplica al caso. A continuación se muestra un ejemplo de la tabla resumen de medidas específicas aplicables.

Tabla 2-2 Ejemplo de medidas específicas aplicables para el evento de daño vertido o derrame de relave por colapso de tranque

N°	Medida específica	Justificación
1	Capa superior de plástico para evitar lixiviación y movimiento	Cumple doble función, evita generación de lixiviados y el desprendimiento del relave
2	Zona periférica con restricción de uso de agua y suelo	El terreno cubierto por el relave no puede ser utilizado para usos agrícolas, se establece una veda de uso agrícola en un área circundante
3	Canaletas para retener agua lluvia que pueda tener contacto con el relave	La recolección y desvío de aguas lluvias por medio de canaletas evitará la formación de lixiviados
4	Construcción de un bypass en los cursos de agua bloqueados	Evitará la contaminación del agua del curso de agua
5	Muro de contención para el relave	Evitará el colapso del relave restante en el tranque, permitirá volver a construirlo de manera correcta

Fuente: Elaboración propia

3. Etapa III: Creación y Costeo de un portafolio de medidas

En esta etapa se estima el costo de cada una de las medidas aplicables, a partir de la información del caso particular y de la información de costos unitarios obtenida de las tablas de referencia, bases de datos, opinión de expertos, o cotizaciones. El resultado de esta etapa es un **portafolio de medidas.**

3.1 Paso III.a Costeo de las medidas independientes

Cada una de las medidas específicas aplicables (identificadas en la etapa anterior) se debe costear. Esto requiere identificar la unidad funcional de la que depende el costo, y obtener su costo unitario, a partir de las bases de datos disponibles, de opinión experta, o de cotizaciones específicas.

Existen diferentes opciones para la estimación de los costos dependiendo de la disponibilidad de la información, en primera instancia se debe buscar en la base de datos entregada (3.1.1) o fuentes sugeridas (Anexo 5.2), y en segunda instancia revisar la sección 3.1.2 que entrega herramientas para la construcción de una función de costos y estimación del costo de una medida para el caso de que no se encuentren costos unitarios.

3.1.1 Información en Bases de datos de medidas de reparación

Para facilitar la obtención preliminar de una estimación del costo de una medida de reparación en particular, el consultor ha creado una base de datos de diferentes medidas de contención, remoción y restauración/rehabilitación, donde se identificaron una serie de costos según su unidad funcional respectiva. La información de costos se obtuvo de bases de datos nacionales e internacionales y casos reales de aplicación de medidas, entre ellos:

- ✓ Base de Datos CMDB (Control Measures Data Bases) (EPA, 2010)
- ✓ An overview and analysis of site remediation technologies (Khan, Husain, & Hejazi, 2004)
- ✓ Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Second Edition (EPA, 1994) (Peter J. Marks, Walter J. Wujcik, 1994)
- ✓ Road Map to Understanding Innovative Technology Options for Brownfields Investigation and Cleanup, Third Edition (EPA, 2001)
- ✓ Manual de Tecnologías de Remediación de Sitios Contaminados (Fundación Chile 2012b)
- ✓ Tabla de valores 2016 - Concurso Ley Bosque Nativo – Conaf (Ministerio de Agricultura, 2015)
- ✓ Programas de Cumplimiento nacionales presentados a la SMA, disponibles en: http://snifa.sma.gob.cl/v2/Instrumento/Tipo/8.
- ✓ *Remediation Technologies for Cleaning up Contaminated Sites | Technologies for Cleaning Up Contaminated Sites | US EPA. [online] Disponible en: https://www.epa.gov/remedytech/remediation-technologies-cleaning-contaminated-sites [3 Nov. 2016].*

La información recopilada se presenta en una Base de Datos en formato Excel, llamada “VEMREP-BaseDatos”. Dentro de este archivo, la pestaña "bd.costo.medidas" contiene los campos presentados en la Tabla 3-1. Los campos coloreados en verde corresponden a la aplicación específica de las medidas identificadas, mientras que las celdas en amarillo representan resultados genéricos de la propuesta metodológica.

Tabla 3-1 Campos de información contenidos en la Base de Datos

Campo	Descripción
ID medida	Corresponde a un número identificador de la medida, en algunos casos se repite el ID por ser la misma medida pero con distintos componentes de costo
Medida específica	Corresponde a la medida o tecnología específica encontrada en revisión nacional e internacional, no al tipo de medida ofrecido por la metodología genérica
Descripción medida específica	Es la descripción cualitativa y cuantitativa de la medida específica
Clase de Medida según metodología	Corresponde a la clase de la medida según metodología, es decir: contención, remoción y restauración/rehabilitación
Clasificación Intermedia según metodología	Clasificación Intermedia según la metodología, por ejemplo para contención existen dos clasificaciones intermedias: suspender la acción y evitar exposición
Tipo de medida según metodología	Tipo de medida según la metodología, obtenidas a través de las matrices de cruce de: Acción-Contención, Agente-Remoción y Receptor-Restauración/Rehabilitación
Tipo de Acción específica	Acción específica del evento de daño
Tipo de Agente de daño específico	Agente específico del evento de daño
Tipo de Receptor específico	Receptor específico dañado
Actividades	Actividades que se realizan para implementar la medida
Componentes del costo	Los componentes del costo de la actividad o medida
Costo Total (actividad o medida específica)	Corresponde al costo original extraído de los casos revisados. En algunos casos los costos totales fueron calculados a partir de un costo unitario y escalados según la magnitud de aplicabilidad de la medida
Moneda	La unidad funcional en que se expresa el costo unitario de la medida
Magnitud de aplicación	La magnitud de aplicación de la medida, expresada en una unidad funcional
Unidad funcional	Unidad en que se expresa el costo unitario de la medida
Costo unitario	Corresponde al costo o rango de costos unitarios de aplicar la medida
Unidad del costo unitario	Corresponde al tipo de moneda dividido por la unidad en que se expresa la magnitud
Año de estimación	El año en que se estimó el costo
Factores que influyen en el costo	Corresponde a las consideraciones que se deben tener al utilizar el costo presentado para la medida
Ubicacion	La ubicación geográfica donde se estimaron los costos
Observaciones	Observaciones importantes
Ref_DOC	La referencia completa del documento de donde se obtuvieron los costos
Ref_Doc_Especifica	La referencia específica dentro del documento de donde se obtuvo el costo original

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta un extracto de la herramienta.

Tabla 3-2 Extracto de base de datos de costos de medidas de contención, remoción y restauración/rehabilitación

ID medida	Medida específica	Descripción medida específica	Clase de Medida según metodología	Clasificación Intermedia según metodología	Tipo de medida según metodología	Tipo de Acción específica	Actividades	Componentes del costo	Costo Total (actividad o medida específica)	Moneda	Magnitud de aplicación	Unidad funcional	Costo unitario	Unidad del costo unitario	Año de estimación
1	**Aplicación de paños antiderrame para el control de Hidrocarburos**	Compra de kit de emergencia para contener y remediar filtraciones de hidrocarburos	Contención	Suspender acción	Suspensión/ Reducción de descargas	. Vertido o derrame en suelo . Vertido o derrame en agua	Compra de kit de derrames compuesto de 250 paños absorbentes	Cantidad de paños necesarios y requeridos	87,500	CLP	250	paño	$ 350	CLP/paño	2015
2	**Aplicación de producto aglomerante en cubeta y talud del tranque**	Cubrir con aglomerante cubeta y taludes con el objeto de impermeabilizar y minimizar las emisiones de	Contención	Suspender acción	Aseguramiento de relaves, vertederos o fuentes inestables	. Disposición de residuos en suelo . Emisiones al aire	Aplicación de la tecnología	El costo involucra cobertura con Aglosil 21, un área total de 14.357 m2	10,000,000	CLP	14,357	m2	$ 697	CLP/m2	2016
3	**Canal perimetral de evacuación aguas lluvias**	Contrucción de un canal perimetral de evacuación de aguas lluvias desde perímetro adyacente al	Contención	Evitar exposición	Establecimiento de zonas periféricas de protección/ amortiguación	. Disposición de residuos en suelo . Vertido o derrame en suelo	Construcción	El costo contempla la construcción de un canal de 480 m de longitud y	10,000,000	CLP	480	m: metros	$ 20,833	CLP/m	2015
4	**Canalización para recuperar el 100% del residuo industrial líquido derramado y en superficie**	Construir canalización provisoria para conducción de RILes	Contención	Evitar exposición	Establecimiento de zonas periféricas de protección/ amortiguación	. Vertido o derrame en suelo . Vertido o derrame en agua	Construccion de canal	Arriendo de maquinas (camión grúa excavadora torre iluminación)	137,336,810	CLP	3	mes	$ 45,778,937	CLP/mes	2015
4	**Canalización para recuperar el 100% del residuo industrial líquido derramado y en superficie**	Construir canalización provisoria para conducción de RILes	Contención	Evitar exposición	Establecimiento de zonas periféricas de protección/ amortiguación	. Vertido o derrame en suelo . Vertido o derrame en agua	Construccion de canal	Combustible para maquinariade construcción	300,000	CLP	400	L: litro de combustible	$ 750	CLP/L	2015
5	**Disposición y tratamiento de Riles**	Transporte, disposición y tratamiento de Residuos Industriales Líquidos	Contención	Evitar exposición	Establecimiento de zonas periféricas de protección/ amortiguación	. Vertido o derrame en suelo . Vertido o derrame en agua	Tratamientos de Riles	Transporte, disposición y tratamiento de Residuos	105,216,642	CLP	2,211	ton: toneladas de residuos	$ 47,585	CLP/Ton	2015
6	**Cancha de secado de lodos**	Cancha de secado de lodos provenientes de Sanitarias. 2 hectáreas en superficie plana e impermeabilizada	Contención	Evitar exposición	Establecimiento de zonas periféricas de protección/ amortiguación	. Vertido o derrame en suelo . Vertido o derrame en agua	Construcción		31,500,000	CLP	2	Ha: hectárea	$ 15,750,000	CLP/Ha	2016
7	**Cerco de alambre de púa**	Construcción de Cerco nuevo confeccionado con 4 hebras de alambre de pua y postes cada 3 metros, estos ultimos	Contención	Evitar exposición	Suspensión/ Control y monitoreo de circulación, acceso o atraque	. Disposición de residuos en suelo . Introducción de organismos exóticos	Construcción		1,683,370	CLP	1	Km	$ 1,683,370	CLP/Km	2015
8	**Cerco Vivo en torno al perímetro de las áreas productivas para atenuar el impacto visual sobre posibles observadores**	Plantación de cerco vivo en el perímetro de las áreas productivas ya explotadas (3.931 m en total), con una	Contención	Evitar exposición	Infraestructura para restringir acceso, circulación o atraque	. Disposición de residuos en suelo . Alteración de la estructura del paisaje	Plantación	Cotización por 1600 Colliguay a un precio unitario de $2100 por unidad y	6,000,000	CLP	3,931	m: metros	$ 1,526	CLP/m	2015

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Estimación de los costos de una medida

En el contexto de este documento se trabajará tomando como supuesto que las medidas tienen costos lineales, definidos por una unidad funcional (toneladas de suelo a tratar, m^3 de contaminante derramado, ha, etc.). La función de costos de una medida de reparación se presenta a continuación:

$$\boldsymbol{C(q) = cu * q} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde *C(q)* corresponde al costo de la medida, *cu* al costo unitario según unidad funcional y *q* a la cantidad requerida de la unidad funcional.

En el caso de que se requiera costear una medida específica que no se encuentra en las bases de datos o las fuentes recomendadas en el Anexo 5.2, se debe construir una función de costos desde cero. Con esta finalidad, se presenta un análisis de cómo se llega a una función de costos, los factores que inciden en estos costos y una metodología de estimación que permite desglosar cualquier medida en sus actividades y componentes para facilitar la estimación a realizar.

Comúnmente cada medida se divide en actividades (etapas secuenciales) que, en conjunto, permiten la correcta implementación de la medida de reparación (ejemplo, planificación, construcción, operación, etc.). Cada actividad tiene un costo asociado, que depende de los componentes requeridos, algunos de estos son listados en la tabla a continuación.

Tabla 3-3 Componentes de la función de costo

Tipo	Componente	Ejemplos
Mano de obra	Calificada	Profesionales, operadores de maquinaria
	No calificada	obreros
Equipos	Maquinaria especializada	Retroexcavadora, filtro UV, cámara magnética
	Insumos de maquinaria	Combustible, energía, filtros
	Ensayo o pruebas de laboratorio	PCR, pruebas genéticas, evaluación de organismos, caracterización de muestras
Insumos	Organismos	Flora o fauna a revegetar
	Herramientas	Palas, chuzo, redes, trampas
	Equipamiento para el personal	Casco, guantes, lentes
	Materiales	Madera, abono, nutrientes, esponjas de absorción de combustible
Transporte	Vehículos	Bus, camión, helicóptero, auto
	Combustible	Petróleo, gas, bencina

Fuente: Elaboración propia

Existen costos referenciales para algunos de estos componentes, asociados principalmente a mano de obra, infraestructura, transporte y equipamiento (para más detalle ver Anexo 5.3)

La función de costos queda como muestra la ecuación a continuación:

$$\boldsymbol{C(q) = \sum_{act} \sum_{comp} \left(cu_{comp} * q_{comp}^{act} \right)} \qquad \text{Ecuación 2}$$

Donde

- *act* corresponde a cada actividad identificada para la correcta implementación de la medida
- *comp* es uno de los componentes del costo (mano de obra, maquinaria, combustible, etc.)
- cu_{comp} *y* q_{comp} son los costos unitarios y cantidad requerida de cada componente, respectivamente

q_{comp} dependerá de la magnitud y alcance del daño, y el costo unitario por componente (cu_{comp}) se obtendrá de bases de datos nacionales e internacionales, estimaciones por opinión experta o cotizaciones.

Entonces, para la estimación de los costos totales de una medida es necesario:

1. Identificar las actividades de implementación de la medida.
2. Identificar los componentes de costo para cada actividad.
3. Estimar los costos unitarios de cada componente, cu_{comp}.
4. Estimar la cantidad requerida de cada componente, $\boldsymbol{q_{comp}^{act}}$ en cada actividad.
5. Calcular el costo total a partir de la ecuación anterior.

Se debe considerar que si los costos se producen en diferentes periodos de tiempo se deben llevar a valor presente.

3.1.4 Consideraciones generales

La consideración que se debe tener en cuenta para aplicar este método son las siguientes:

3.1.4.1 Forma de la función de costos

La función de costos puede ser lineal o no lineal, cuando es lineal se identifica un costo unitario que es constante, cuando no es lineal el costo unitario varía según algún parámetro.

Cuando los costos no son lineales se debe tener precaución en su aplicación. Por ejemplo, si aplicar un tratamiento biológico a un suelo tiene un costo de X $/ton de suelo tratado, no es correcto asumir que tratar un kilo de suelo costará X/1000, o que tratar 1000 ton costará 1000X. En el primer caso, el costo será mucho mayor, y en el segundo probablemente menor. El fenómeno de costos no lineales se refiere generalmente a un caso en que existen “economías de escala”. Cuando la magnitud de una operación es grande, los costos de los insumos disminuyen por compras al por mayor, por transporte de cantidades mayores, etc. Al contrario, cuando se trata de cantidades relativamente pequeñas, los costos unitarios son mayores.

Estas diferentes posibilidades de función de costos presentan problemas para la estimación de costos genéricos, ya que sería necesario conocer con precisión la función de costos de cada medida, lo que es poco frecuente y a menudo requiere una cotización específica para el caso que se está estudiando.

Con el fin de obtener una sola función de costos aplicable para cualquier medida de reparación se utiliza una aproximación lineal, como se menciona en la sección 3.1.2.

3.1.4.2 Costos en el tiempo

Si los costos se producen en diferentes periodos de tiempo se deben llevar a valor presente neto usando la tasa de descuento adecuada, como muestra la ecuación a continuación:

$$\boldsymbol{VP(C) = \sum_{t=0}^{T} \frac{C_t(q)}{(1+r)^t}} \qquad \text{Ecuación 3}$$

En que t define el periodo de tiempo (generalmente un año) y T es el total de años en que se ejecuta la medida.

3.1.4.3 Factores que inciden en los costos

A pesar de la simplificación requerida para generar ecuaciones generalizadas de costos de medidas de reparación, es importante tener en cuenta las limitaciones de dichas simplificaciones. Un tema importante en cuanto a limitaciones son los factores caso específicos que pueden alterar los costos.

En general, el costo unitario de una operación depende de varios factores, estos varían según la operación/insumo de que se trate. Por ejemplo:

- el costo unitario del agua depende de la ubicación y de la estación de año: cu = 500 en Santiago en Invierno; 600 en verano; 400 en Valdivia todo el año
- El transporte, y por ende su costo, depende del acceso que exista a la zona afectada, en algunas zonas sólo se tendrá acceso aéreo, esto aumenta los costos al requerir un helicóptero o similar

Los principales factores que pueden incidir en los costos son:

- Disponibilidad temporal y geográfica del recurso/insumo
- Accesibilidad

Características biológicas del área a tratar: tipo de vegetación y fauna, densidad poblacional, interacciones entre especies, en general depende de las propiedades básicas del medio ambiente dañado.

3.1.4.4 Actualización de los costos según índices económicos

Según la el año de la fuente de la cual se obtengan los costos se podría requerir ajustar el costo valor para poder aplicarlo a un caso actual.

En el caso de que el costo de una medida se encuentre agregado (considera más de un componente de costos como mano de obra, transporte e insumos en uno) se podrá ajustar según la inflación en el período de tiempo. Una manera simple de realizar esta actualización es por medio de la calculadora online elaborada por el Instituto Nacional de Estadísticas (2016).

Para el caso en el que los costos se encuentren desagregados se podrá realizar el ajuste con índices más específicos como por ejemplo los Índices Generales Nominales de Remuneraciones (IR) y Costo de la Mano de Obra (ICMO), el Índice de Costos de Transporte (ICT)[1] o el Índice de Precios de Productor (IPP) para infraestructura.

Tabla 3-4 Factores de actualización para algunos componentes de costo

Componente	Factor de actualización	Fuente de información
Mano de obra	IR - ICMO	http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/mercado_del_trabajo/remuneraciones/series_estadisticas/nuevo_series_estadisticas.php
Transporte	ICT	http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_precios/costo_transporte/series_estadisticas/series_estadisticas.php
Infraestructura	IPP	http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_precios/ipp/nuevo_ipp.php

Fuente: elaboración propia

3.1.5 Fichas de medidas

De manera de sistematizar, ordenar y exponer la búsqueda de información realizada se generan fichas para cada medida específica con los siguientes contenidos:

- Descripción de la medida: aquí se describe en detalle en qué consiste la medida y qué se utilizará para su implementación, además de cualquier especificación que se requiera. Por ejemplo una medida de muro de contención deberá incluir por lo menos el material del muro, el método de construcción (manual, maquinaria) y las dimensiones del muro (alto y grosor). También se debe especificar la vida útil de la medida.
- Estimación de costos: en esta sección se identifican y listan las actividades a realizar para la implementación de la medida y los componentes del costo requeridos para cada actividad. Por ejemplo la construcción del muro contará con al menos 3 actividades, primero la preparación del terreno (nivelación, retiro de rocas u otros), construcción del

[1] Se podrán encontrar los valores de estos y otros índices nacionales en la página web del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/precios.php

muro y monitoreo (para verificar la construcción adecuada y el desempeño de la medida). Además, si es que está disponible, se debe incluir la siguiente información:

- Costo unitario: de dónde se obtuvo y cualquier supuesto realizado para llegar al costo unitario. Se incluye una tabla con el costo unitario y una descripción de todo lo que considera ese costo (el costo obtenido puede no incluir todas las actividades identificadas), además del año de la estimación. Incluir la mayor cantidad de información que se pueda obtener con respecto a qué involucra el costo (componentes del costo)
- Cantidad requerida (Magnitud): aquí se busca toda la información requerida para determinar la cantidad "q" requerida de la medida. Debe incluir todos los cálculos, supuestos, etc. Realizados para la obtención de la cantidad final a utilizar.
- Actualizaciones monetarias: se refiere al detalle para traer todos los costos nacionales e internacionales a valor presente en pesos chilenos, como fue descrito en la sección 3.1.4.4.

- Tabla resumen: contiene los costos totales calculados a partir de toda la información recopilada.

A continuación se presenta un ejemplo de ficha resumen para la medida Fitoestabilización/inmovilización del relave con vegetación (resistente a contaminación), donde se obtuvieron costos de euros del 2004 y costos de medidas nacionales del 2016.

Tabla 3-5 Ficha medida Fitoestabilización/inmovilización del relave con vegetación (resistente a contaminación)

Descripción

Una vez reconstruido el tranque y luego del almacenamiento de todo el relave minero en su interior, se estabilizará la capa superior con plantas resistentes a la composición del relave. La técnica de fitoestabilización puede emplearse para tratar una amplia variedad de contaminantes como metales pesados (cadmio, cobre, plomo, arsénico, selenio, níquel, cobalto, etc.).
Si el contenido de materia orgánica y/o nutrientes es deficitario, se puede estimular el crecimiento de las plantas mediante abonos. En este caso la plantación se debe realizar mediante adición de enmiendas orgánicas y abono, y aplicarse a una superficie de entre 0,5 y 1 m de profundidad del relave, para asegurar el prendimiento de las plantas (Comunidad de Madrid, 2004). Esta capa superior permitirá inmovilizar el tranque, evitar la erosión, el drenaje ácido de minas y disminuir el impacto visual.

Estimación de costos

Actividades
Se identifican 3 actividades principales para la implementación de la medida: acondicionamiento y preparación del suelo, plantación y mantenimiento.

Costos unitarios
Fitorrecuperación de suelo: Guía de Tecnologías de Recuperación de Suelos Contaminados 2001-2006, de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (Comunidad de Madrid, 2004).
Preparación y mantención de la plantación: Programa de Cumplimiento de la Minera Florida S.A. (Compañía Minera Florida S.A., 2016).

Cantidad requerida
Se deberá considerar un área de 5,02 ha, es decir 50.200 m de superficie para preparación y riego, y 25.100 m3 de volumen de relave a tratar (a profundidad de 0,5 m), mediante fitoestabilización.

Actualización de precios
Se utiliza el valor del EUR promedio para el año 2004: 752,54 CLP/EUR
Tasa de variación del Índice de Precios al Consumidor (IPC) entre enero 2004 a diciembre 2016: 56,4 % (Instituto Nacional de Estadísticas, 2016)

Resumen

N°	Descripción de actividad	Costo unitario	Magnitud requerida	Costo Total (año)	Costo Total CLP 2016
1	Fitorrecuperación de suelos con presencia de metales pesados (en este caso relave), a una profundidad de 0,5 m.	30-60 EUR/m3	25.100 m3	1.506.000 EUR[a] (2004)	1.772.520.675 CLP
2	Acondicionamiento, habilitación y preparación del suelo para plantación	2.606.000 CLP/ha	5,02 ha	13.082.120 CLP (2016)	13.082.120 CLP
3	Mantención de plantación (riego, fertilización y mano de obra)	1.749.000 CLP/ha	5,02 ha	8.779.980 CLP (2016)	8.779.980 CLP
Costo Total Medida					**1.794.382.775 CLP**

[a] Costo en EUR calculado en base al costo unitario máximo: 60 EUR/m^3
Fuente: Elaboración propia

3.2 Paso III.b Portafolio de medias

La selección final de qué medidas tomar en conjunto o ensamblaje es parte de la responsabilidad del tomador de decisiones, el que debe además considerar los siguientes puntos:

- Eficiencia de las medidas
- Interacciones de las medidas
- Complementariedad entre medidas
- Economías de escala de aplicación de una u otra medida
- Interacciones del monitoreo entre medidas
- Costos de monitoreo, estudios y administración del Plan de Reparación Integral

3.2.1 Tabla resumen de costos

Una vez seleccionadas las medidas aplicables al caso, finalmente se reúne la información de las fichas en una tabla resumen de las medidas específicas y sus costos totales. Esta tabla debe contener la siguiente información:

- ✓ Clase de medida
- ✓ Nombre de medida específica
- ✓ Detalle
- ✓ Costo total de la medida (actualizado)

A continuación se expone la tabla resumen del caso de estudio, a modo de ejemplo.

Tabla 3-6 Ejemplo: medidas específicas aplicables al caso de estudio

N°	Clase	Medida específica	Detalles	Costo Total 2016 (Miles CLP)
1	Contención	Instalación de capa superior de plástico para evitar lixiviación y movimiento	Geomembrana de HDPE de 1 mm de grosor, se debe recambiar cada 7 años	$ 487.882
2		Zona periférica con restricción de uso de agua y suelo (Cerco vivo)	Adquisición, plantado y riego de arbusto y árboles dispuestos en una barrera perimetral	$ 4.797
3		Sistema de recolección para el agua lluvia que pueda tener contacto con el relave	Usando un sistema de zanjas y pretiles	$ 25.460
4		Muro de contención para el relave	S/I	
5		Franja arbórea para proteger el relave de la erosión por acción del viento	Seto arbustivo de 4 metros de ancho, además de franja arbórea doble de 3 metros de ancho	$ 12.624
6		Instalación de señalética para restricción de circulación	Cartel de advertencia con material metálico y reflectante, resistente a condiciones climáticas extremas	$ 163
7	Remoción	Extracción con retroexcavadora y maquinaria pesada	Los costos incluyen la remoción y el transporte de residuos tanto de relave como de infraestructura restante. El relave debe ser dispuesto en el tranque y los restos de instalaciones en relleno autorizado	$ 49.740.800
8		Solidificación/vitrificación del relave (impermeabiliza la base)	Solidificación de la base de manera de impermeabilizarla y darle estabilidad al tranque	$ 1.260.014
9		Fitoestabilización/inmovilización del relave con vegetación (resistente a contaminación)	Estabilización la capa superior con plantas resistentes a la composición del relave	$ 1.794.383
10	Restauración/ Rehabilitación	Plan de revegetación para restaurar el suelo dañado	plan de revegetación para recuperar el suelo y restaurar la flora existente previo al daño	$ 42.176

Fuente: Elaboración propia

4. Bibliografía

Angermeier, P. L., & Karr, J. R. (1994). Biological integrity versus biological diversity as policy directives: protecting biotic resources. *Ecosystem Management*, 264–275.

Asociación Kauyeken. (2016). *Análisis y recopilación de costos de las acciones de conservación de planes de recuperación, conservación y gestión de especies amenazadas*.

Barrantes, G. (2001). Metodología para la Evaluación Económica de Daños Ambientales en Costa Rica, 53. Retrieved from http://www.ips.or.cr

Compañía Minera Florida S.A. (2016). Programa De Cumplimiento Ambiental RE N°1/Rol F-023-2016.

EPA. (2010). Control Strategy Tool (CoST), Control Measure Database (CMDB) Documentation.

GreenLabUC. (2014). Informe sobre Base de Datos de Tecnologías de Reparación de Daño Ambiental.

GreenLabUC. (2016). VEMREP - Base de datos costeo de medidas.

Haines-Young, R., & Potschin, M. (2013). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES , Version 4 . 3). *Report to the European Environment Agency*, (September), 1–17.

Instituto Nacional de Estadísticas. (2016). Calculadora IPC. Retrieved December 16, 2016, from http://encina.ine.cl/CALCULADORA/

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

Loreau, M. (2010). *From Populations to Ecosystems: Theoretical Foundations for a New Ecological Synthesis*. New Jersey, U.S.A: Princeton University Press.

Maurer, B. A. (1999). *Untangling ecological complexity. The macroscopic perspective.* . (T. U. of C. Press, Ed.). Chicago, USA.

McDonald, T., Jonson, J., & Dixon, K. W. (2016). National standards for the practice of ecological restoration in Australia. *Restoration Ecology*, *24*(S1), S4–S32. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

MEA. (2005). Ecosystems and their services. *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*, 49–70. https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2

Ministerio de Agricultura. (2015). Decreto 26: Tabla de valores para el 2016, que determina monto máximo para las actividades a que se refiere el artículo 22° de la Ley N° 20.283, sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal. Retrieved from http://www.concursolbn.conaf.cl/ayuda/2016/DECRETO_N_26_TABLA_DE_VALORES_2016.pdf

Ministerio Secretaria General de la Presidencia. LEY 19300 - APRUEBA LEY SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE (1994).

MINVU. (2016). RE 80/2016: Fija valores unitarios de construcción para aplicar en cálculos de derechos de permisos municipales.

Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, *4*(4), 355–364.

Odum, E. P., & Barrett, G. W. (1971). *Fundamentals of ecology (Vol. 3)*. Philadelphia: Saunders.

Peplow, D., & Edmonds, R. (2005). The effects of mine waste contamination at multiple levels of biological organization. *Ecological Engineering*, *24*(1), 101–119.

Peter J. Marks, Walter J. Wujcik, A. F. L. (1994). *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide*.

PNUD. (2014). Escala Salarial Sugerida Para Service Contracts (SC) 2015. Retrieved from http://www.pnud.cl/operaciones.pnud.cl/Documentos/SC/Escala SCs 2015.pdf

Segundo Tribunal Ambiental. (2014). D-14-2014-24-08-2016-Sentencia.pdf. Santiago, Chile.

SERNAGEOMIN. (2006). Manual de Remediacion de Pasivos Ambientales Mineros (PAM).pdf.

Soberón, J., Rodríguez, P., & Vázquez-Domínguez, E. (2000). Implications of the hierarchical structure of biodiversity for the development of ecological indicators of sustainable use. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, *29*(3), 136–142.

Society for Ecological Restoration International, & Science & Policy Working Group. (2004). The SER International primer on ecological restoration. *Ecological Restoration*, *2*. https://doi.org/S34

Superintendencia de Medio Ambiente. Decreto N° 30/2013: Reglamento sobre Programas de Cumplimiento, Autodenuncia y Planes de Reparación de la Superintendencia del Medio Ambiente (2013).

5. Anexos

5.1 Medidas de contención, remoción y restauración/rehabilitación

Tabla 5-1 Ejemplos y/o descripciones para cada tipo de medida de contención, remoción o restauración/rehabilitación

Clasificación		Tipo de Medida	Ejemplos/Descripción
Contención	Suspender acción	Suspensión/Reducción de ingreso de nutrientes externos	Suspensión de descarga de desechos orgánicos, suspensión de fertilización artificial de suelo agrícola
		Suspensión/Reducción de descargas	Reducción de alimentación a salmones, reducción/suspensión de fuga de petróleo
		Suspensión/Reducción de ingreso de organismos	Cierre de criadero de especie exótica, instalación de mallas para restricción de acceso de organismos a zona protegida
		Suspensión de faenas productivas	Vedas a Pesca, tala, caza o suspensión de actividades en faenas mineras o productivas en general
		Suspensión/Reducción de construcción de infraestructura	Suspensión de permiso de construcción, revocación de permiso de construcción
		Control fuente de emisión	Extinción de incendios, instalación de filtros de MP en buses de transporte interurbano, manejo de olores y ruido
		Aseguramiento de relaves, vertederos o fuentes inestables	Aseguramiento de relaves mediante muros de contención para contener el relave, mallas para asegurar los residuos en un vertedero (evitar que se vuelen)
	Evitar exposición	Suspensión/Control y monitoreo de circulación, acceso o atraque	Registro de ingreso de residuos en un vertedero, suspensión de permiso de acceso de embarcación transportadora de petróleo en un puerto
		Monitoreo y alerta temprana	Monitoreo de población introducida de chinitas para control de pulgones en cultivos agrícolas, detección de cambios en la línea base por registro fotográfico en zonas protegidas
		Establecimiento de zonas periféricas de protección/amortiguación	Generación de canaletas para retención de lixiviados de relave minero, piscinas de decantación para lixiviados de vertedero
		Infraestructura para restringir acceso, circulación o atraque	Barreras flotantes para contención de derrame de petróleo en agua, cercado perimetral para restringir acceso a terreno inestable por extracción de áridos
		Cinturones de vacunación	Consiste en la generación de un área afectada y la posterior vacunación de la zona perimetral de esa área para contener el patógeno indeseado dentro del área afectada
		Vacunación in extenso	Consiste en la vacunación de la mayor cantidad de individuos posibles para evitar el contagio y propagación de un patógeno indeseado
		Remoción combustibles de superficie	Remover materia vegetal seca para que no se queme

Clasificación		Tipo de Medida	Ejemplos/Descripción
		Reducción combustibles escalera (dosel inferior)	Poda de arbustos y/o plantas para evitar propagación de fuego (de abajo hacia arriba)
		Apertura/Raleo de dosel	Poda de árboles para evitar propagación de fuego (poda de las ramas superiores)
		Tala selectiva de árboles pequeños y sotobosque	Tala selectiva para crear zonas de amortiguación de incendio (detiene la propagación)
		Quema controlada	Fuego prescrito, intensidad baja, alta o mixta para detener la propagación de un incendio forestal
		Protección árboles grandes (resistentes)	Dosificación de sustancia retardante de fuego en árboles grandes
Remoción	Físico	Remoción física de residuos y/o infraestructura	Remoción manual (con palas) de suelo contaminado con vertidos químicos, remoción de restos de infraestructura con maquinaria pesada
		Dragado de sedimentos contaminados	Remoción de contaminantes en sedimentos por medio de dragado del lecho marino
		Remoción de suelo	Extracción del suelo contaminado con maquinaria pesada
		Limpieza/ remoción de agentes	Limpieza de combustibles por medio de esponjas absorbentes, aspirado de suelo con contaminación
		Limpieza y desintoxicación de Organismos	Limpieza de aves con hidrocarburos
		Captura y eliminación de organismos	Caza de organismos exóticos, instalación de trampas para controlar plagas de insectos
		Desmalezado, tala selectiva	Desmalezado y tala selectiva para evitar la propagación de organismos exóticos
		Destrucción de nidos o refugios	Destrucción de nidos y refugios de especies exóticas (introducidas)
		Manejo de hábitat	Consiste en la alteración del hábitat (algún aspecto de este) para evitar la proliferación de un organismo no deseado
	Tratamiento físico químico	Tratamiento fisicoquímico in situ	Soil vapor extraction, solidificación/estabilización mediante asfaltado batch, extracción de contaminantes por inyección de aire
		Tratamiento fisicoquímico ex situ	Filtración, pump and treat, oxidación/reducción química, oxidación UV, intercambio iónico, precipitación, extracción por solventes, deshalogenación
		Tratamiento térmico in situ	Thermally enhanced SVE, incineración
		Tratamiento térmico ex situ	Desorción térmica (alta T), desorción térmica (baja T), pirólisis, vitrificación
		Aplicación de agroquímicos	Control de plagas con pesticidas o herbicidas
	Tratamiento	Fitorremediación	Fitoestabilización, fitoextracción (remoción de cobre del suelo con Oenothera affinis)
		Biorremediación	Bioreactores, bio ventilación, bio degradación
		Introducción de depredadores naturales	Introducción de chinitas para controlar plaga de pulgones en cultivos

Clasificación		Tipo de Medida	Ejemplos/Descripción
		Introducción de patógenos	Detección o generación de bacteria que afecte sólo a organismos introducidos para disminuir su población
Restauración/Rehabilitación	Revegetación	Recolonización natural (sin intervención, sucesión ecológica)	Monitoreo para comprobar la recolonización natural
		Protección árboles semilleros	Consiste en la protección de especies vegetales mediante la protección de los árboles semilleros de dicha especie. Puede ser por medio de mallas protectoras, retardantes de fuego, etc.
		Tala/poda selectiva	Corta sanitaria, corta selectiva
		Construcción de perchas artificiales para dispersores	Construcción de perchas artificiales para favorecer la dispersión de semillas
		Construcción de micro cuencas de captación	Consiste en la construcción de microcuencas de agua con el propósito de aumentar la filtración del agua en el suelo y recargar las fuentes subterráneas (favorece la irrigación)
		Construcción de microbarreras	Construcción de montículos de detritos o escombros
		Sembrado manual (spp. nativas)	Consiste en la siembra de especies nativas de manera manual
		Sembrado mecánico (spp. nativas)	Consiste en la siembra de especies nativas con el uso de maquinaria especializada
		Plantado desde vivero por nucleación (spp. nativas)	Consiste en la plantación de especies vegetales nativas por medio de nucleación. En este proceso, la vegetación se establece de manera espacialmente heterogénea con parches de vegetación distanciados unos de otros. A medida que pasa el tiempo, los parches van coalesciendo hasta cubrir completamente el área siguiendo un proceso de sucesión natural
		Plantado desde vivero in extenso (spp. nativas)	Consiste en la plantación masiva de especies vegetales nativas de manera de cubrir el área afectada
		Relocalización desde áreas cercanas (spp. nativas)	Consiste en la plantación de especies vegetales nativas por relocalización desde áreas cercanas a la zona afectada
		Sembrado (spp. exóticas)	Consiste a la siembra de especies exóticas
		Plantado desde vivero (spp. exóticas)	Consiste en la plantación de especies vegetales exóticas obtenidas de viveros
		Irrigación artificial	Regado manual, instalación de sistema de regado automático
		Control/Manejo de herbívoros	Consiste en el control de herbívoros (puede ser mediante captura, caza, relocalización, etc.) para proteger una especie vegetal de la cual se alimenta o utiliza
	Refaunación	Recolonización natural (sin intervención, sucesión ecológica)	Monitoreo para comprobar la recolonización natural
		Creación de corredores biológicos	Creación de corredores biológicos en zonas fragmentadas por construcciones

Clasificación	Tipo de Medida	Ejemplos/Descripción
	Creación de pasos para peces	Creación de corredorespara peces en zonas fragmentadas por construcciones
	Control/Manejo de depredadores	Identificación y favorecimiento del depredador natural de un organismo exótico, caza de depredadores naturales para proteger una especie en peligro
	Construcción/Reconstrucción de refugios naturales	Construcción de nidos, madrigueras
	Construcción de refugios artificiales	Construcción de cajas nideras
	Agregado de estructuras artificiales para organismos sésiles	Introducción de arrecifes artificiales
	Entrega de alimentos	Entrega de forraje, alimento en general
	Reintroducción de individuos desde establecimientos de cría ex situ	Repoblación de pez carpa desde criadero a la zona del Humedal El Sol de la comuna de Quilpué
	Relocalización desde/hacia áreas aledañas	Repoblación de pez carpa por relocalización desde área cercana
	Inoculación de invertebrados por relocalización de suelo o sedimentos	Consiste en la introducción de invertebrados por medio de la relocalización de suelo o sedimentos que contengan dichos organismos
	Rehabilitación ex situ de individuos y liberación	Desintoxicación y liberación de animales dañados por derrame químico
	Introducción/Reintroducción de especies bioturbadoras/bioingenieras	Introducción de organismos bioturbadores para recuperación del lecho marino, introducción de organismos sésiles bioingenieros (corales), es decir capaces de crear estructuras tridimensionales vivas en las cuales otras especies basan su existencia
	Translocación de organismos superabundantes (spp. nativas)	Captura de organismos superabundantes y liberación en un ecosistema diferente
	Eliminación de organismos superabundantes (spp. nativas)	Esterilización de organismos superabundantes, caza de organismos superabuntandes
Recuperación de suelos	Restitución/Construcción de perfiles	Consiste en la restitución o construcción de perfiles del suelo, estos consisten de una sucesión de estratos más o menos diferenciados.
	Estabilización de suelo con vegetación	Estabilización de talud con plantas
	Aplicación de mantillo, humus, abono	Aplicación de humus a suelo erosionado
	Inoculación de hongos micorríticos y microorganismos	Inoculación de hongos micorríticos para favorecer el crecimiento de plantas frente a escasez de nutrientes
	Introducción fijadores de N	Introducción de plantas o microorganismos fijadores de nitrógeno para aumentar el nitrógeno en el suelo

Clasificación	Tipo de Medida	Ejemplos/Descripción
	Agregado de fertilizantes químicos	Introducción de fuentes artificiales de nitrógeno o fósforo
	Tratamiento químico	Aplicación de cal, formación de sales
	Irrigación	Lavado de sales
	Labranza	Preparación mecánica, descompactación de suelo
Recuperación de cuencas	Recuperación pasiva (sin intervención)	Monitoreo para comprobar la recuperación natural
	Relleno/Recarga del lecho	Consiste en el relleno o recarga del lecho de una cuenca de la cual se extrajo o modificó el lecho
	Estabilización del lecho con vegetación	Estabilización del lecho marino con vegetación acuática
	Canalización	Generación de canales para favorecer la irrigación
	Control de régimen de inundación	Generación de barreras para evitar la irrigación de un área, creación de surcos para favorecer la inundación de un área
	Control de caudal con vegetación	Planta de especies acuáticas en lecho ribereño para disminuir el caudal de un río
	Control de caudal con estructuras artificiales	Construcción de diques, rocas para controlar el caudal de un río
	Control de salinidad	Manejo de descargas de agua dulce (dilución, límite máximo)
	Construcción/Reconstrucción de bancos ribereños	Consiste en la construcción de bancos ribereños, lo cual es la tierra que rodea los cuerpos o cursos de agua
	Estabilización de bancos ribereños y costas con vegetación	Estabilización del lecho ribereño con vegetación acuática
	Estabilización de bancos ribereños y costas con estructuras artificiales	Incorporación de rocas, mallas, ramas para estabilizar bancos ribereños
	Manipulación de trama trófica	control de depredadores para asegurar la proliferación de una especie
	Oxigenación artificial del agua	Inyección de aire al agua para aumentar la concentración de oxígeno
Recuperación del paisaje	Reconstrucción/construcción de relieve	Consiste en movimientos de tierra con la finalidad de construcción de relieve
	Rellenado de zanjas, depresiones	Consiste en el rellenado de zanjas o depresiones artificiales generadas por el evento de daño
	Grandes movimientos de tierra	Consiste en el movimiento de grandes cantidades de suelo para diversas funciones
	Realineamiento/retroceso manejado/despolderización	Consiste en acciones de realineamiento, retroceso manejado o despolderización con la finalidad de restablecer el paisaje de un cuerpo o curso de agua
	Recreación de hábitats específicos	Consiste en la construcción o reconstrucción de estructuras, junto a la recreación de formaciones vegetales que dan origen a un hábitat
	Reconstrucción/Construcción de humedales	Consiste en la construcción de un humedal con la finalidad de devolver un hábitat destruido o generar uno nuevo para restaurar el daño

Clasificación	Tipo de Medida	Ejemplos/Descripción
	Reconstrucción de drenaje natural	Consiste en la reconstrucción del drenaje natural de los cursos de agua por medio de movimiento de tierras, instalación de tuberías, desvío de ríos, etc.

Fuente: Elaboración propia

5.2 Sugerencias de documentos e información adicional para costear medidas de reparación de forma rápida y preliminar

Existen otras fuentes de información que pueden entregar información de costos de implementación de medidas de reparación ambiental y que el usuario de este documento puede consultar:

- Base de datos de tecnologías de reparación (GreenLabUC, 2014)
- Programas de Cumplimiento presentados a la SMA
- *Remediation Technologies for Cleaning up Contaminated Sites*

A continuación se describen con más detalle

5.2.1 Base de datos del proyecto PLAREP (GreenLabUC, 2014)

La base de datos de tecnologías de reparación desarrollada por (GreenLabUC, 2014) está disponible en la página web de la Superintendencia del Medio Ambiente (proyecto Corfo Innova "Desarrollo de Bases Metodológicas para el proceso de toma de decisiones de los actores públicos y privados involucrados en la Reparación del Daño Ambiental causado" (de ahora en adelante PLAREP). Esta base de datos contiene costos de medidas de abatimiento de emisiones al aire las cuales no se incorporaron en la base de datos construida en el contexto del presente documento.

El estudio desarrollado por GreenLabUC tiene por objetivo estandarizar los procedimientos técnicos y administrativos en metodologías para la elaboración, verificación, aprobación y seguimiento de los Planes de Reparación del daño ambiental causado y entregar producto correspondiente a una base de datos con tecnologías de reparación.

La base de datos se desarrolló a partir de la búsqueda exhaustiva y recopilación de otras BBDD y fuentes de información:

- ✓ Base de Datos CMDB (Control Measures Data Bases) (EPA, 2010)

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

- ✓ An overview and analysis of site remediation technologies (Khan et al., 2004)

Este *paper* analiza distintas tecnologías de remediación que pueden ser usadas en distintos programas de limpieza. Hace un resumen de parámetros, características y costos de las distintas tecnologías estudiadas.

- ✓ Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Second Edition (EPA, 1994) (Peter J. Marks, Walter J. Wujcik, 1994)

Guía que describe diversas tecnologías de remediación con el fin de dar al lector una recomendación adecuada sobre la tecnología que debe usar en el sitio a remediar identificado. Describe los parámetros, características, limitaciones y costos de cada tecnología.

- ✓ Road Map to Understanding Innovative Technology Options for Brownfields Investigation and Cleanup, Third Edition (EPA, 2001)

El Road Map es un documento que resumen las distintas fases generales de la caracterización y remediación de sitios potencialmente contaminados: evaluación e investigación sitio, evaluación de opciones de limpieza, y diseño e implementación de la remediación. Se presentan guías regulatorias para el proceso, y se discuten y caracterizan tecnologías de remediación innovadoras.

- ✓ Manual de Tecnologías de Remediación de Sitios Contaminados (Fundación Chile 2012b)

La Fundación Chile ha trabajado ampliamente en temas de Sitios Contaminados y tecnologías de Remediación, motivo por el cual se revisó el Manual de Tecnologías de Remediación de Sitios Contaminados, teniendo en cuenta que profundiza en Tecnologías de Tratamiento para Suelos y para Aguas Subterráneas. De esta fuente se utilizó principalmente la descripción de ciertas tecnologías complementando dicha información con la obtenida de otras fuentes, además de adicionar ciertas tecnologías que otras fuentes no mencionaban. No ofrece información de costos.

La Base de Datos final tiene filtros para seleccionar: componente ambiental afectado, sub-clasificación del componente ambiental afectado, contaminantes presentes, sub-clasificación de contaminantes presentes, tecnologías disponibles para el tratamiento, tipo de tratamiento, lugar de aplicación del tratamiento, funcionamiento del tratamiento,

Los componentes ambientales afectados pueden ser:

- Agua
- Aire
- Suelo

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

- aguas subterráneas
- aguas superficiales

- lixiviados
- aire
- suelos
- sedimentos
- lodos

Los contaminantes presentes se clasifican en:

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

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

- halogenados
- no halogenados
- PAH
- Metales
- Pesticidas
- Radionucleidos
- NOx
- SO_2
- PM 10
- PM 2,5

El lugar de tratamiento puede ser:

- in situ
- ex situ
- otro

El tipo de tratamiento puede ser:

- biológico
- físico/químico
- térmico
- otro

El funcionamiento del tratamiento puede ser[2]:

- extractivo
- destructivo
- inmovilizante

El resultado que se entrega de la base de datos a partir de los diferentes criterios de búsqueda contiene una lista de tecnologías disponibles para el tratamiento de los componentes Agua, Suelo y Aire, la descripción de las tecnologías, en la mayoría de los casos entrega también los costos de aplicación de las tecnologías (o rangos de ellos) y la fuente de información utilizada.

5.2.2 Metodología de búsqueda - Programas de Cumplimiento presentados a la SMA

Los Programas de Cumplimientos (PdC) presentados a la Superintendencia del Medio Ambiente están disponibles en su página web, mediante el link: http://snifa.sma.gob.cl/v2/Instrumento/Tipo/8. A partir del Registro ahí ofrecido se pueden descargar los PdC y los Anexos del proceso sancionatorio.

El listado presente en el portal contiene 194 PdC de diversos sujetos regulados y rubros de la economía, ya sean En ejecución o Satisfactoriamente terminados a la fecha (diciembre de 2016). Este instrumento de incentivo al cumplimiento comenzó a regir el año 2013 mediante el Reglamento sobre Programas de cumplimiento, Autodenuncia y Planes de reparación (Superintendencia de Medio Ambiente, 2013), por lo que la información que contiene es reciente. A la fecha no existen programas que no se hayan ejecutado satisfactoriamente, o al menos esa información no está disponible, por lo que se deduce que la información presentada es robusta y efectiva.

La información de costos que ofrecen los PdC viene dada en función de los costos totales de las medidas destinadas a volver al estado de cumplimiento de los compromisos ambientales. Si bien no son medidas de un Plan de Reparación propiamente tal como lo expresa el reglamento SMA, sí se pueden usar principalmente para la contención de la acción, y en algunos casos para la remoción de agentes y restauración/rehabilitación.

Al presionar la opción “detalle” se descarga inmediatamente la última versión y más completa del PdC, al presionar “proceso sancionatorio” se despliega todo el detalle de la causa con antecedentes, anexos, etc.

[2] El funcionamiento de la tecnología puede ser también una combinación de los funcionamientos mencionados.

El consultor realizó búsqueda selectiva por sector económico, con palabras claves. Por ejemplo para el tipo de daño: "derrame de relave en suelo", se filtraron las palabras: minería, mina, minera, minero. De esta búsqueda se identificaron 16 PdC entre el año 2013 y el 2016. De los 16 proyectos con PdC, solo 10 presentaban relación con este caso de estudio.

En algunos casos no aparecen costos unitarios o la información necesaria para obtener la unidad funcional de los costos a partir de un costo total. Se recomienda de todas maneras estar en constante revisión de PdC en la búsqueda de medidas de reparación aplicables al caso a analizar.

Con respecto a otros costos considerados en los Programas de Cumplimiento, se pueden encontrar en algunos casos:

- ✓ Costos de Monitoreo
- ✓ Costos de Estudios
- ✓ Costos de Mantención
- ✓ Costos de Seguimiento

5.2.1 Ejemplo de búsqueda - Plataforma *on line:* Clean up information for contaminated sites EPA (2016)

La *Remediation Technologies for Cleaning up Contaminated Sites | Technologies for Cleaning Up Contaminated Sites | US EPA* [3] es una plataforma web desarrollada por la US EPA, que recopila bases de datos de tecnologías emergentes y sistematiza casos reales de reparación ambiental.

En la página web se actualiza continuamente la información de tecnologías y los casos de reales o pilotos. Esta página contiene varias fuentes de información de técnicas de remediación seguidas de una pequeña de descripción de la información que se puede encontrar en cada una.

- ✓ Selected Sites Using or Testing Nanoparticles for Remediation
- ✓ Perfil de Proyectos:
  - Phytotechnology Project Profiles
  - Chemical Oxidation Site Profiles
  - In Situ Flushing Site Profiles
  - Alternative Landfill Cover Project Profiles
  - Nanotechnology Project Profiles
  - MtBE Treatment Profiles
- Federal Remediation Technologies Roundtable Case Studies

[3] *[online]* Disponible en: *https://www.epa.gov/remedytech/remediation-technologies-cleaning-contaminated-sites [3 Nov. 2016]*

Para encontrar casos reales se ingresa a la sección Perfiles de proyectos (*Search Project Profile Databases*, disponible en el siguiente link: https://clu-in.org/databases/search/ [10 nov. 2016]). El input que se introduce al formulario puede ser:

a) Contaminante

Ejemplo: Corrosivo, explosivos, combustibles y destilados, metales y metaloides, etc.

a) Medio afectado

Ejemplo: Suelo, sedimentos, agua, agua subterránea, etc.

b) Tecnología a aplicar

Ejemplo: biorremediación in-situ o ex -situ, oxidación química, etc.

Cada uno de estos inputs se debe seleccionar desde una lista desplegable. Se puede ingresar un input, dos o tres. Según el input ingresado, la herramienta arroja un listado de los proyectos de remediación bajo esos criterios. Mientras menos criterios se seleccionen, más casos reales aparecerán.

En el caso que no se haya introducido una tecnología específica, la herramienta entregará un listado de todos los proyectos de remediación sitio específico, separados según las distintas tecnologías aplicables.

Cada uno de estos casos puede encontrar información del sitio, del proyecto y contacto:

- Información del Sitio:
  - Nombre
  - Ubicación
  - Tipo
- Información del Proyecto:
  - Tipo de proyecto llevado a cabo
  - Historia del sitio
  - Escala del proyecto (piloto o implementación completa)
  - Medios tratados
  - Contaminantes presentes
  - Mecanismo y descripción de la tecnología aplicada
  - Área tratada
  - Resultados de la implementación (eficiencia)
  - Costos del proyecto
  - Lecciones aprendidas
  - Comentarios
- Información de contacto

A continuación se presenta un ejemplo de cómo puede utilizarse la información entregada por la US EPA, para un caso de sitio contaminado por combustible que se limpia por medio de Fitoremediación.

Se ingresan parámetros de *input* y la herramienta desplegará casos reales de remediación de sitios contaminados como *output*

- *Inputs* del ejemplo
  - Opción de búsqueda por contaminante: <Combustibles y destilados>
  - Opción de búsqueda por medio objetivo: <Suelo y agua subterránea>
  - Tecnología de remediación aplicada: <fitorremediación>

- *Outputs* del ejemplo
  - Casos de fitoremediación para los siguientes sitios:

Tabla 5-2 Lista de casos de fitoremediación para sitios contaminados con combustible USA

Sitio	Ciudad	Estado	País
Phytoremediation at AOC-539, Grand Forks Air Force Base in North Dakota	Grand Forks	ND	United States
Phytoremediation at Annette Island in Alaska	Metlakatla	AK	United States
Phytoremediation at Ashland Inc. in Wisconsin	Milwaukee	WI	United States
Phytoremediation at Casper Wetland in Wyoming	Casper	WY	United States
Phytoremediation at Fort Wainwright in Alaska	Fairbanks	AK	United States
Phytoremediation at Galena/Campion Site (former Air Force station) in Alaska	Galena	AK	United States
Phytoremediation at Indiana Harbors Canal in Indiana	Near Gary	IN	United States
Phytoremediation at Jones Island Confined Disposal Facility in Wisconsin - Project 1	Milwaukee	WI	United States
Phytoremediation at Naples Truck Stop in Utah	Naples	UT	United States
Phytoremediation at RTDF Site A in California	Central	CA	United States
Phytoremediation at RTDF Site B in Ohio	Southwestern	OH	United States
Phytoremediation at RTDF Site C in Arkansas	Barrow	AK	United States
Phytoremediation at RTDF Site D in Alaska	Galena	AK	United States
Phytoremediation at RTDF Site F in New York	Utica	NY	United States
Phytoremediation at RTDF Site G in Kansas	Fort Riley	KS	United States
Phytoremediation at RTDF Site H in Rhode Island	Providence	RI	United States
Phytoremediation at RTDF Site I in Illinois	Southern	IL	United States
Phytoremediation at RTDF Site J in Arkansas	El Dorado	AR	United States
Phytoremediation at a Hydrocarbon Burn Facility at NASA Kennedy Space Center in Florida	Cape Canaveral	FL	United States

Fuente: Elaboración propia

Seleccionando el caso “Phytoremediation at Ashland Inc. in Wisconsin”, algunos de los datos relevantes que se obtienen son:

Descripción tecnología: Fitorremediación, 485 árboles plantados
Efectividad: 99% de supervivencia de plantas
Costo: 80,000 USD (incluye poda, desmalezado, compostaje, insecticidas, y las plantas)

Así, revisando cada uno de los casos listados en la tabla, se pueden identificar las características de cada uno.

5.3 Rango de valores para algunos componentes de costo

A continuación se presentan algunos valores promedio o rangos de valores para algunos componentes de costo, asociados principalmente a mano de obra, infraestructura, transporte y equipamiento

Tabla 5-3 Promedios o rangos de valores en CLP para el 2016 para algunos componentes de costo

Tipo	Componente	Promedio de costos		Fuente
Mano de obra	Capital Humano nivel Senior (hh)	$5.670.822 - $7.372.068	CLP/mes	(PNUD, 2014)
		$35.442 - $46.075	CLP/hora	
	Capital Humano nivel Profesional (hh)	$3.355.515 - $5.670.821	CLP/mes	
		$20.971 - $35.442	CLP/hora	
	Capital Humano nivel técnico (hh)	$1.174.857 - $3.355.514	CLP/mes	
		$7.342 - $20.970	CLP/hora	
	Jornal	$411.348 - $1.174.856	CLP/mes	
		$2.571 - $7.343	CLP/hora	
Infraestructura	Construcción (promedio para calificación F, categoría 5 y calificación B, categoría 1)	$196,170	CLP/m2 construido	(MINVU, 2016)
	Senderos (inversión anual)	$947,736	CLP/año	
Transporte	Vehículo (promedio)	$74,067	CLP/día	Cotización con proveedores
	Traslado a terreno (vuelo ida y vuelta)	$208,503	CLP/pasaje	
	Viático (alojamiento y alimentación, por persona)	$55,229	CLP/día	
	Combustible	$520.7	CLP/litro	
Equipamiento de implementación, seguimiento y análisis	Adquisición de imágenes	$3,470	CLP/imagen	Cotización con proveedores
	Vehículos (camioneta 4x4 2016)	$26,454,550	CLP/camioneta	
	Equipamiento terreno (equipo y material de terreno, GPS, cámara, binocular, trampa cámara, material control letal y captura)	$3,280,879	CLP/pack	

Fuente: extracto de Anexo 6, proyecto "Análisis y recopilación de costos de las acciones de conservación de planes de recuperación, conservación y gestión de especies amenazadas" (Asociación Kauyeken, 2016)