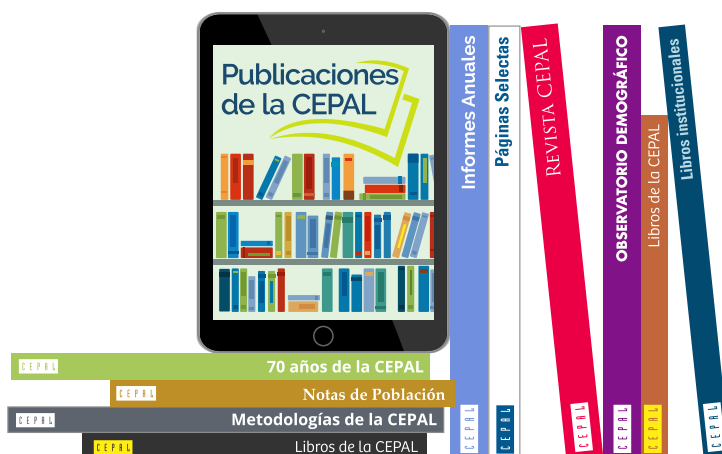


Guía para priorizar y evaluar proyectos de remediación ambiental

Gestión de pasivos mineros



Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

Deseo registrarme



NACIONES UNIDAS

CEPAL



www.cep.al.org/es/publications



www.instagram.com/publicacionesdelacepal



www.facebook.com/publicacionesdelacepal



www.issuu.com/publicacionescep.al/stacks



www.cep.al.org/es/publicaciones/apps

Guía para priorizar y evaluar proyectos de remediación ambiental

Gestión de pasivos mineros



José Manuel Salazar-Xirinachs

Secretario Ejecutivo

Javier Medina Vásquez

Secretario Ejecutivo Adjunto a. i.

Carlos de Miguel

Oficial a Cargo de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos

Sally Shaw

Directora de la División de Documentos y Publicaciones

Esta publicación fue preparada por Carlos de Miguel, Mauricio Pereira y Martin Kohout, de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Rosa María Flores Serrano, Alejandro Gálvez y Stefania de Santis, Consultores de la misma División, y Achim Constantin, del Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) de Alemania. Se agradece a Fredy Guzmán Martínez, Mauricio León, Heloísa Schneider y Valeria Torres por sus insumos y aportes conceptuales en el proceso de realización del estudio.

El documento fue revisado por la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI) y se elaboró en el marco de las actividades del programa de Cooperación regional para la gestión sustentable de los recursos mineros en los países andinos (MINSUS), ejecutado por la CEPAL en conjunto con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) de Alemania, y financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania.

Las Naciones Unidas y los países que representan no son responsables por el contenido de vínculos a sitios web externos incluidos en esta publicación.

No deberá entenderse que existe adhesión de las Naciones Unidas o los países que representan a empresas, productos o servicios comerciales mencionados en esta publicación.

Publicación de las Naciones Unidas
ISBN: 978-92-1-106828-3 (versión pdf)
Número de venta: S.24.II.G.19
LC/PUB.2024/19-P
Distribución: G
Copyright © Naciones Unidas, 2024
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.2400799[S]

Esta publicación debe citarse como: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Guía para priorizar y evaluar proyectos de remediación ambiental: gestión de pasivos mineros*, Metodologías de la CEPAL, N° 6 (LC/PUB.2024/19-P), Santiago, 2024.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Introducción	9
Capítulo I	
Propósito de esta guía	13
A. Definición de pasivo ambiental minero	15
1. Tipos de pasivos ambientales mineros	17
B. Conceptos de riesgo y de daño ambiental	18
C. Remediación de pasivos ambientales mineros	20
D. Hoja de ruta: guía metodológica para la remediación de pasivos ambientales mineros	22
Capítulo II	
Orientaciones para proyectos de remediación sostenible de un pasivo ambiental minero	25
Introducción	25
A. Principios de toma de decisiones sobre la remediación de pasivos ambientales mineros	25
B. Gestión de riesgos para la priorización de pasivos ambientales mineros	28
1. Marcos de gestión de pasivos ambientales mineros basada en riesgos	29
2. Intervención basada en la estimación de riesgos	30
3. Vectores de riesgo	30
4. Principales etapas de la gestión de pasivos ambientales mineros basada en riesgos	33
5. Remediación sostenible, rehabilitación y (re)activación en América Latina y el Caribe	36
6. Construcción de registros en función del riesgo	38
7. Criterios de priorización	39
C. Aspectos legales para la gestión de pasivos ambientales mineros	39
D. Estrategias de financiamiento para la remediación de pasivos ambientales mineros	43
E. Participación de las partes interesadas	46
1. Identificación de las partes interesadas	47
2. Fomento de la participación de las partes interesadas	48
3. Participación de las comunidades locales	50
F. Tecnologías disponibles	54
1. Reprocesamiento	56
2. Estabilización	57
3. Sistemas de cobertura	58
4. Tratamiento de las aguas afectadas por la minería	58
5. Integración de la remediación con la restauración	59
Capítulo III	
Herramientas para la toma de decisiones en la gestión de pasivos ambientales mineros	61
Introducción	61
A. Toma de decisiones para el análisis de un proyecto de remediación	61
B. Principales enfoques metodológicos	63
1. Análisis cualitativo	63
2. Análisis cuantitativo	64

3.	Análisis semicuantitativo	68
4.	Análisis de costo-impacto	71
C.	Descripción general del análisis de la relación costo-beneficio	71
D.	Descripción general del análisis de costo-efectividad	73
E.	Priorización de proyectos a nivel nacional	75
F.	Aplicaciones del análisis de la relación costo-beneficio y del análisis de costo-efectividad en América Latina y el Caribe	76
1.	Países y sectores que utilizan el análisis de la relación costo-beneficio	76
2.	Países y sectores que utilizan el análisis de costo-efectividad.....	82
3.	Características de los marcos nacionales.....	83

Capítulo IV

Pasos previos para realizar una evaluación integral y con enfoque de sostenibilidad en un proyecto de remediación.....

	Introducción	85
A.	Ciclo de un proyecto	86
1.	Preinversión	87
2.	Inversión.....	90
3.	Operación del proyecto de remediación.....	90
B.	Pasos para llevar a cabo un análisis de la relación costo-beneficio con un enfoque de sostenibilidad	92
1.	Análisis y definición del problema del pasivo ambiental minero	93
2.	Diagnóstico de la situación actual (sin remediación).....	96
3.	Análisis de escenarios de riesgo	105
4.	Análisis de posibles impactos de la inacción.....	111
5.	Alternativas de remediación	115
6.	Evaluación integral	123

Capítulo V

El análisis de la relación costo-beneficio para comparar alternativas de remediación.....

	Introducción	125
A.	El enfoque de oferta y demanda en el análisis de la relación costo-beneficio de pasivos ambientales mineros.....	126
B.	Identificación y medición de costos y beneficios.....	127
1.	Precios determinados en el mercado	128
2.	Costos y beneficios sin precios en el mercado.....	129
C.	Evaluación de costos y beneficios.....	131
D.	Evaluación y comparación de los proyectos	132
1.	Uso de ponderadores para consideraciones distributivas	132
2.	Comparabilidad temporal: el horizonte de análisis y la tasa de descuento	133
3.	Riesgo e incertidumbre	134

Capítulo VI

Evaluación integral para una remediación sostenible

	Introducción	137
A.	Dimensiones de una evaluación integral.....	138
B.	Evaluación ambiental	140
C.	Evaluación privada o financiera	142
1.	Costos financieros de cada alternativa de remediación.....	143
2.	Ingresos financieros de la remediación	144

3.	Flujo de caja privado	145
4.	Indicadores financieros	146
D.	Evaluación económica	150
1.	Costos sociales de la remediación	151
2.	Beneficios sociales de la remediación	152
3.	Flujo de caja social e indicadores.....	155
E.	Evaluación social.....	159
1.	Caracterización de las partes afectadas	160
2.	Métodos de análisis social	162
3.	Evaluación de consideraciones de equidad	163
F.	Análisis de sensibilidad	167
G.	Interdependencia con otros proyectos.....	169

Capítulo VII

Retroalimentación en el proceso de seguimiento del proyecto	173
Introducción	173
A. Tipos de retroalimentación	173
B. Selección de indicadores relevantes	176
1. Indicadores de sostenibilidad	179
C. Uso de indicadores en la etapa de seguimiento o monitoreo	183
D. Uso de indicadores en la etapa de evaluación.....	185

Capítulo VIII

Reflexiones finales	189
Bibliografía	191

Cuadros

Cuadro I. 1	Definiciones utilizadas para caracterizar los pasivos ambientales y los pasivos ambientales mineros.....	15
Cuadro II.1	Principios guía para la gestión y la remediación sostenible de los pasivos ambientales mineros	27
Cuadro II.2	Tipos de riesgos físicos asociados con los pasivos ambientales mineros.....	31
Cuadro II.3	Selección de posibles fuentes de contribución a la remediación de pasivos ambientales mineros.....	44
Cuadro II.4	Principales partes interesadas en proyectos de remediación de pasivos ambientales mineros.....	47
Cuadro II.5	Medidas de remediación por elemento o material principal presente en un pasivo ambiental minero	54
Cuadro III.1	Modelos contrastados del análisis de proyectos en la toma de decisiones	62
Cuadro III.2	Resumen de principales herramientas analíticas cualitativas usadas en el análisis de la relación costo-beneficio.....	64
Cuadro III.3	Matriz de ganancias	65
Cuadro III.4	Matriz de la decisión multicriterio	70
Cuadro III.5	Principales diferencias entre el análisis de la relación costo-beneficio y el análisis de costo-efectividad	74
Cuadro III.6	América Latina y el Caribe (12 países): objetivo general del análisis de la relación costo-beneficio según legislaciones, regulaciones o documentos oficiales, 2015.....	77

Cuadro III.7	América Latina y el Caribe (7 países): uso del análisis de la relación costo-beneficio en sectores de medio ambiente y recursos naturales	79
Cuadro III.8	América Latina y el Caribe (6 países): uso del análisis de costo-efectividad en los sectores de medio ambiente y recursos naturales	82
Cuadro IV.1	Clasificación de programas y proyectos de inversión presentes en el análisis de la relación costo-beneficio.....	87
Cuadro IV.2	Categorías de información a recopilar sobre el área de influencia.....	99
Cuadro IV.3	Perú: evaluación cualitativa de riesgo por pasivo ambiental minero	107
Cuadro IV.4	Tipos y niveles de vulnerabilidad por exposición al pasivo ambiental minero	107
Cuadro IV.5	Principales rasgos de los niveles de los marcos de evaluación escalonados.....	109
Cuadro IV.6	Análisis de los impactos de los pasivos ambientales mineros en el área de influencia	114
Cuadro IV.7	Ejemplo de matriz de índice de riesgo por ruta y vía de exposición, y por contaminante para el suelo	118
Cuadro V.1	Chile, Paraguay y Nicaragua: precios sociales	128
Cuadro V.2	Categorías de los tipos de valores de bienes ambientales	129
Cuadro V.3	Métodos de valoración ambiental	130
Cuadro VI.1	Variables financieras relevantes para el análisis de la relación costo-beneficio	142
Cuadro VI.2	Costos de inversión, operación y mantenimiento de la alternativa modelo.....	144
Cuadro VI.3	Flujo de caja financiero para la alternativa de proyecto de remediación A.....	145
Cuadro VI.4	Comparativa de alternativas de proyecto según los criterios de valor presente neto y relación costo-beneficio	150
Cuadro VI.5	Modelo simplificado de flujo de caja social	156
Cuadro VI.6	Ejemplos de indicadores de costo-eficiencia para la aplicación del análisis de costo-efectividad	159
Cuadro VI.7	Mecanismos de clasificación de las partes afectadas.....	160
Cuadro VI.8	Asignación de beneficios y costos sociales a las partes interesadas identificadas	162
Cuadro VI.9	Caracterización de las partes afectadas	163
Cuadro VII.1	Diferencias entre seguimiento o monitoreo y evaluación.....	175
Cuadro VII.2	Ejemplo de matriz de selección de indicadores	179
Cuadro VII.3	Indicadores relevantes para la gestión y la remediación sustentable de pasivos ambientales mineros	180
Cuadro VII.4	Indicadores de pasivos ambientales para actividades mineras	181
Cuadro VII.5	Ejemplos de indicadores presupuestarios de la gestión y la remediación sustentable de un pasivo ambiental minero	182
Cuadro VII.6	Ejemplo de matriz de evaluación de indicadores.....	185

Recuadros

Recuadro II.1 Ejemplos de riesgos físicos en pasivos ambientales mineros: estabilidad de la mina y de los depósitos de relaves y estériles 33

Recuadro II.2 Diferencia entre el cierre de una mina y el cierre de la remediación del pasivo ambiental minero 36

Recuadro II.3 Sistemas de responsabilidad civil extracontractual..... 40

Recuadro II.4 Elaboración del plan de participación de las partes interesadas..... 49

Recuadro II.5 El papel de las mujeres como circuito comunitario y de información..... 53

Recuadro IV.1 Falta de rubros específicos para los pasivos ambientales minero 89

Recuadro IV.2 Visualización gráfica del área de influencia 98

Recuadro IV.3 Muestra de definiciones legales del modelo conceptual 100

Recuadro IV.4 Relación entre cantidad de muestreos, incertidumbre y costos de remediación 104

Recuadro IV.5 Ejemplos de uso de la evaluación escalonada de dos niveles..... 110

Recuadro IV.6 Elementos constitutivos del Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental y a la Salud Humana 112

Recuadro IV.7 Ejemplo ilustrativo de elaboración de escenarios 120

Recuadro IV.8 Ejemplo hipotético de tres escenarios usuales en la remediación de pasivos ambientales mineros con costos..... 122

Recuadro V.1 Análisis por daño evitado 127

Recuadro VI.1 Ejemplos de costos a evitar derivados de impactos identificados y formas de valorar 153

Recuadro VI.2 Progresión de reducción para el beneficio de reducción del costo i (Expresado en valor del impacto totalmente reducido)..... 155

Recuadro VI.3 Ejemplo del uso de los ponderadores..... 161

Recuadro VI.4 Ejemplo del uso de los ponderadores (continuación)..... 164

Recuadro VI.5 Ejemplo de compensación de grupos específicos 165

Recuadro VI.6 Utilización de los ponderadores en el cálculo del valor presente neto 166

Recuadro VI.7 Ejemplos de análisis de sensibilidad 167

Recuadro VI.8 Efectos sinérgicos entre los proyectos de remediación 170

Recuadro VII.1 Utilidad de los indicadores en el seguimiento y la evaluación 176

Recuadro VII.2 Verificación estadística de los resultados de la remediación..... 187

Diagramas

Diagrama I.1 Guía metodológica para la remediación de pasivos ambientales mineros: hoja de ruta 14

Diagrama I.2 Relación entre los conceptos de daño ambiental, sitio contaminado y pasivo ambiental 19

Diagrama I.3 Consideraciones preliminares al diseño y a la implementación de un plan de remediación 22

Diagrama I.4 Recomendaciones para diseñar, implementar y monitorear un proyecto de remediación 23

Diagrama II.1 Etapas de la gestión de pasivos ambientales mineros 34

Diagrama II.2 Glosario de términos básicos relacionados con la remediación 37

Diagrama II.3 Diagrama de flujo con las etapas que deben cumplirse para lograr la identificación, el registro y la priorización de pasivos ambientales mineros..... 38

Diagrama II.4 Etapas de la elaboración de una estrategia de financiamiento 46

Diagrama II.5 Elementos constitutivos del plan de participación de la comunidad 52

Diagrama III.1	Ejemplo de árbol de decisiones con valores estimados	66
Diagrama III.2	Visión general del análisis del ciclo de vida en pasivos ambientales mineros.....	67
Diagrama IV.1	Etapas en la resolución de problemas	86
Diagrama IV.2	Etapas en el ciclo de vida de un proyecto.....	87
Diagrama IV.3	Etapas de preinversión en el ciclo de vida de un proyecto y su relación con la gestión de pasivos ambientales mineros	90
Diagrama IV.4	Documentación para el plan de gestión de remediación	91
Diagrama IV.5	Piezas constituyentes del análisis de la relación costo-beneficio	92
Diagrama IV.6	Pasos del análisis de la relación costo-beneficio para remediar un pasivo ambiental minero	93
Diagrama IV.7	Ejemplo de árbol de problemas de un proyecto de remediación de pasivos ambientales mineros con instalaciones y residuos de operaciones mineras	94
Diagrama IV.8	Ejemplo de árbol de medios y fines de un proyecto de remediación de pasivos ambientales mineros.....	95
Diagrama IV.9	Actividades preparatorias	96
Diagrama IV.10	Tipos de información recopilada después de la visita de campo	97
Diagrama IV.11	Proceso iterativo de elaboración de un modelo conceptual de un pasivo ambiental minero	102
Diagrama IV.12	Factores que afectan la dispersión de los contaminantes	102
Diagrama IV.13	Datos relevantes para el análisis de la relación costo-beneficio obtenidos a partir del modelo conceptual.....	103
Diagrama IV.14	Elementos constitutivos del diagnóstico de la situación actual	103
Diagrama IV.15	Rubros de costos de estudios asociados a un ecosistema posiblemente afectado.....	105
Diagrama IV.16	Actividades de evaluación de riesgos para los receptores potenciales de la exposición a los contaminantes presentes en el sitio de estudio	106
Diagrama IV.17	Acciones de acuerdo con el índice de riesgo.....	108
Diagrama IV.18	Áreas que suelen verse afectadas por pasivos ambientales mineros	114
Diagrama V.1	Objetivos de presentar la interacción entre la oferta y la demanda.....	126
Diagrama V.2	Importancia del análisis de la oferta y la demanda en la remediación de pasivos ambientales mineros.....	127
Diagrama VI.1	Secuencia de las etapas de la evaluación de alternativas de remediación.....	138
Diagrama VI.2	Organización y productos de la evaluación integral.....	139
Diagrama VI.3	Principales categorías consideradas en la evaluación integral con aspectos de sostenibilidad.....	140
Diagrama VI.4	Equivalencias financieras intertemporales.....	147
Diagrama VI.5	Equivalencia de flujos para un proyecto de capital ambiental	157
Diagrama VII.1	Etapas para la instrumentación de una evaluación basada en datos	174
Diagrama VII.2	Dimensiones de elementos a evaluar con algunos ejemplos dentro de los indicadores de remediación sostenible	178
Diagrama VII.3	Etapas de trabajo en la implementación de un sistema de seguimiento de indicadores.....	184

Introducción

Los pasivos ambientales mineros, es decir, las actividades minero-metalúrgicas (minas, tajos e infraestructura, entre otros) que no han recibido un cierre técnico y formal y que representan un riesgo para las personas y el medio ambiente, pueden perjudicar a las comunidades locales, perturbar los ecosistemas y representar un lastre para las generaciones actuales y futuras. Al eliminar o minimizar los riesgos asociados a los pasivos ambientales mineros mediante la remediación, se produce un aumento del bienestar social y se generan oportunidades económicas que le dan una nueva vida al sitio remediado. No obstante, dada la escasez de recursos públicos y los desafíos socioeconómicos que enfrentan los Gobiernos en América Latina y el Caribe, es necesario elegir y ejecutar los proyectos más eficaces.

En la gestión de pasivos ambientales mineros, uno de los aspectos fundamentales es definir quién es el responsable de su generación y, por lo tanto, quién debería financiar y llevar a cabo las acciones de remediación. Muchos pasivos ambientales mineros se entienden como una situación heredada del pasado, que se ha originado con anterioridad a la entrada en vigor de las regulaciones ambientales. Si bien se debe aplicar el principio contaminador-pagador, cuando no es posible encontrar al contaminador, la responsabilidad recae sobre el propietario actual del terreno o sobre el Estado. Con frecuencia, la responsabilidad de la gestión y la remediación de los pasivos ambientales mineros ha recaído sobre los Estados, lo que ha incrementado la presión sobre sus recursos presupuestarios, generalmente limitados.

En este contexto, el objetivo de la presente guía metodológica en relación con la selección de opciones de remediación de pasivos ambientales mineros es conectar el ámbito de los derechos humanos, la protección ambiental, la responsabilidad de la remediación de un daño y el análisis económico y financiero. Para lograr ese propósito, se ofrecen lineamientos de base que contribuyen a evaluar las necesidades, priorizar el financiamiento de la remediación de pasivos ambientales mineros y orientar la labor de las personas encargadas de formular políticas públicas.

La guía está diseñada para facilitar la comparación de alternativas de remediación de un pasivo ambiental minero. En particular, se brindan definiciones comunes y marcos orientadores para homogenizar el análisis económico y financiero relacionado con la gestión de pasivos ambientales mineros, basada en el análisis de riesgos. El punto de partida se alinea con el principio de que todo proyecto de remediación debe evaluarse desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental. Los análisis financiero, económico y social ayudan a determinar los proyectos más adecuados de acuerdo con las condiciones prevalentes. Los conceptos presentados a lo largo de este documento se aplican y se entienden en el marco de la economía del sector público, la economía ambiental, la economía del bienestar y la esfera económico-financiera.

En el primer capítulo se explican, analizan e instrumentalizan el propósito de la guía y las definiciones de los conceptos clave. Se establecen los principales lineamientos metodológicos para evaluar y priorizar el financiamiento de diversos proyectos de remediación de pasivos ambientales mineros. Se hace hincapié en la salvaguarda de los derechos humanos, la protección ambiental, la responsabilidad de la remediación de un daño y el análisis económico y financiero. Asimismo, la guía incluye información, metodologías y lineamientos dirigidos a los encargados de formular o aplicar políticas públicas encaminadas hacia la priorización de inversiones enfocadas en la remediación de pasivos ambientales mineros.

Además, se exploran los conceptos de pasivo ambiental minero y remediación, así como sus aspectos más importantes, teniendo en cuenta la heterogeneidad de las definiciones planteadas en los distintos países de América Latina y el Caribe. Al final del capítulo, se incluye una hoja de ruta que tiene por objeto ayudar a los encargados de tomar decisiones a determinar los pasos principales y su cronología recomendable, mediante la exploración de los capítulos de la presente guía.

En el segundo capítulo se destacan las pautas clave para la toma de decisiones congruentes y el buen gobierno en el marco de la remediación sostenible de un pasivo ambiental minero. Se exponen los principios de referencia que promueven la toma de decisiones eficientes y eficaces, así como las características de los principales enfoques de remediación, haciendo hincapié en el concepto de riesgo. Se resaltan igualmente los aspectos más importantes de los marcos legales nacionales, se esbozan algunas estrategias de financiamiento de la remediación y se subraya la importancia de la participación temprana y significativa de las partes interesadas, incluidas las comunidades locales. Por último, se presentan tecnologías de vanguardia que pueden considerarse en un proyecto de remediación.

En el tercer capítulo se expone un resumen de los instrumentos analíticos más significativos. En primer lugar, se introducen los métodos cualitativos, cuantitativos y semicuantitativos. A continuación, se describen en detalle las características de los análisis de la relación costo-beneficio y costo-efectividad centrados en América Latina y el Caribe, y se explica en qué circunstancias resulta más conveniente usar uno u otro.

En el cuarto capítulo se presentan los pasos metodológicos que deben implementarse, teniendo en cuenta las etapas de preinversión, inversión y ejecución de las obras de remediación, con un enfoque de gestión de riesgos.

En el quinto capítulo se exponen en detalle las bases teóricas de los análisis cuantitativos. Se examinan las nociones de bienestar social, las mediciones y la oferta y la demanda en el contexto del análisis de la relación costo-beneficio aplicado a la remediación, así como los análisis con elementos intertemporales y de igualdad. Asimismo, se destaca la relevancia del riesgo y la incertidumbre.

En el sexto capítulo se describen los pasos para llevar a cabo un análisis integral. Se explican los papeles y las relaciones entre los análisis de sostenibilidad ambiental, financiera, económica y social. Se ofrece una perspectiva práctica del análisis de la relación costo-beneficio mediante la revisión de los conceptos presentados en el capítulo V.

En el séptimo capítulo se tratan las cuestiones relativas a los procesos de seguimiento y evaluación de las inversiones en las actividades de remediación. Estos procesos se llevan a cabo a través de indicadores de desempeño. En la última parte del capítulo se subraya la importancia de elegir indicadores adecuados y relevantes que permitan introducir ajustes durante la etapa de implementación del cierre y poscierre del proyecto. Finalmente, en el octavo capítulo se exponen las reflexiones finales.

En este trabajo no se analiza de manera exhaustiva el aspecto más técnico vinculado con la caracterización de los pasivos ambientales mineros ni la evaluación de riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Este tema se explica ampliamente en la literatura internacional y en las regulaciones nacionales a través de diversas guías técnicas, muchas de las cuales se destacan a lo largo del documento.

La presente guía se enmarca en el trabajo de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), cuyo propósito es elaborar metodologías relevantes para la región que incluyan la gestión medioambiental. En este contexto, se reconoce la continuidad en relación con las guías metodológicas publicadas por la institución en ámbitos similares, como la "Guía de evaluación ambiental estratégica" (Jiliberto Herrera y Bonilla Madriñán, 2009), la "Guía metodológica: diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible" (Schuschny y Soto, 2009), la "Guía metodológica: medición del gasto en protección ambiental del gobierno general" (Collinao y otros, 2015), la "Guía metodológica: instrumentos económicos para la gestión ambiental" (Pantaleón, Pereira y De Miguel, 2015), y el *Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe: guía de implementación* (CEPAL, 2023). Además, se destaca la publicación de la "Guía metodológica de cierre de minas" (Morales y Hantke, 2020), publicada por la CEPAL, que se propone establecer lineamientos para promover un adecuado cierre de faenas mineras y evitar que se generen nuevos pasivos ambientales, así como el complemento a esta misma guía, publicado en 2023 (Morales, 2023).

Capítulo I

Propósito de esta guía

En esta guía se plantean los principales lineamientos para evaluar diversos proyectos de remediación de pasivos ambientales mineros. Se pone énfasis en la salvaguarda de los derechos humanos, la protección ambiental, la responsabilidad de la remediación de un daño y el análisis económico y financiero correspondiente. Además, se describe una propuesta metodológica para evaluar y priorizar el financiamiento de la remediación de un pasivo ambiental minero.

Esta guía está dirigida principalmente a los encargados de formular y aplicar políticas públicas que prioricen inversiones con criterios de sostenibilidad para la remediación de pasivos ambientales mineros. En primer lugar, se detallan los principales conceptos asociados con la definición de pasivo ambiental minero, remediación y riesgo. Además, se ilustran los objetivos y el enfoque de la guía para facilitar la lectura del documento a través de una hoja de ruta.

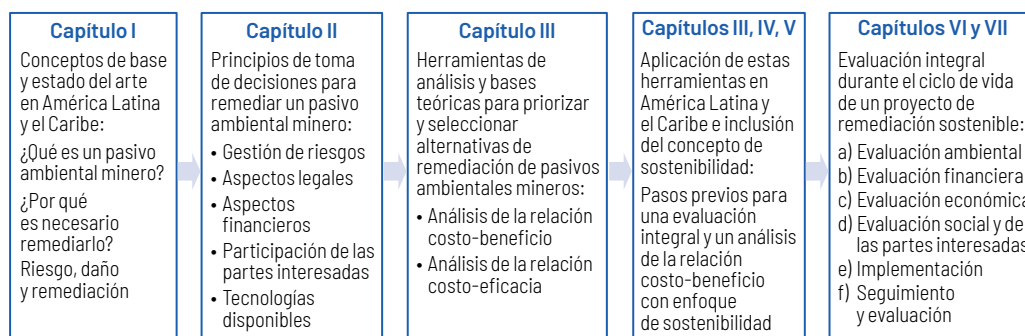
A lo largo de la guía se brindarán definiciones comunes y marcos orientadores para homogenizar el análisis económico y financiero en torno a la gestión de pasivos ambientales mineros para una remediación sostenible. En el documento se destacan los siguientes principios: i) protección de la salud humana y el medio ambiente, ii) toma de decisiones congruentes y iii) buen gobierno y participación de las partes interesadas.

Lo anterior se vincula con los lineamientos tradicionales de un análisis de la relación costo-beneficio, pero con la inclusión de un enfoque de sostenibilidad. Cabe mencionar que las orientaciones de la guía se pueden aplicar a otras actividades económicas que también generen pasivos ambientales.

En el diagrama I.1 se muestra la hoja de ruta de la guía, que ayudará a los lectores a navegar por la guía, familiarizarse con los conceptos y con las herramientas de toma de decisiones y análisis relativos a la selección de opciones de remediación de los pasivos ambientales mineros.

■ Diagrama I.1

Guía metodológica para la remediación de pasivos ambientales mineros: hoja de ruta



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

El primer recuadro (de izquierda a derecha) hace referencia a las nociones que se analizan en el capítulo I, donde se profundizan las definiciones y tipos de pasivos ambientales mineros y su origen. Se presenta el concepto de daño ambiental y de riesgo asociado al pasivo, además de la definición de remediación y la razón por la que es una acción necesaria.

El segundo recuadro se refiere al capítulo II, en el que se especifican varios principios de toma de decisiones sobre la gestión y remediación de pasivos ambientales mineros. Además, se profundiza en los pasos para llevar a cabo un análisis de riesgo que permita priorizar la remediación de dichos pasivos. También se destaca la importancia de los aspectos legales y financieros de gestión y remediación, así como el papel clave de todas las partes interesadas en la etapa de cierre de una operación minera, especialmente de las comunidades aledañas, y se presentan las tecnologías de remediación actualmente disponibles.

El tercer recuadro de la hoja de ruta corresponde al contenido del capítulo III de la guía, en que se presentan las herramientas de análisis existentes y los enfoques metodológicos que podrían utilizarse para evaluar alternativas de financiamiento para la remediación. En particular, se introducen los conceptos de análisis de la relación costo-beneficio y análisis de la relación costo-eficacia.

El cuarto recuadro incluye los contenidos de los capítulos III, IV y V. Se hace referencia a la aplicación de los análisis de la relación costo-beneficio y costo-eficacia en América Latina y el Caribe (capítulo III), se profundiza el concepto de remediación sostenible y se enumeran los pasos preliminares para realizar una evaluación integral y un análisis de la relación costo-beneficio con un enfoque de sostenibilidad (capítulo IV). Aquí se explica cuáles son las bases teóricas que se pueden utilizar para identificar y evaluar las varias alternativas de remediación (capítulo V).

Finalmente, el quinto recuadro destaca la información incluida en los capítulos VI y VII. En particular, se hace mención de la relevancia de llevar a cabo un proceso de evaluación integral a lo largo del ciclo de vida del proyecto de remediación de un pasivo ambiental minero. Una evaluación integral debe incluir aspectos socioambientales, económicos y financieros (capítulo VI). Además, se recalca la importancia de realizar un monitoreo continuo del proyecto y una evaluación de su éxito y de seleccionar indicadores adecuados y relevantes para realizar el análisis (capítulo VII).

A. Definición de pasivo ambiental minero

Los pasivos ambientales mineros, en general, se han originado por una carencia histórica de regulaciones sobre una forma de manejo y gestión que considere e internalice la problemática ambiental en las actividades productivas y extractivas, incluido su cierre técnico. Del mismo modo, se vinculan con el abandono de los proyectos, las malas prácticas ambientales y la falta de titulares a quienes se pueda exigir responsabilidad para su remediación oportuna.

A pesar de la existencia de elementos comunes como el riesgo, el impacto potencial y el daño, hoy en día en los países de América Latina y el Caribe no existe una definición única de pasivo ambiental minero (Oblasser, 2016), y el debate sobre la terminología más apropiada para definirlo sigue abierto. La unificación de definiciones permitiría coordinar diferentes políticas de gestión de pasivos ambientales mineros a nivel regional, además de mejorar la coordinación de los fondos internacionales destinados a las actividades de remediación (De Miguel y Pereira, 2019).

Típicamente, los pasivos ambientales mineros se asocian a faenas o actividades mineras, o a sus componentes, que han sido abandonados (o están inactivos) y que representan una posible fuente de riesgo para las personas y el medio ambiente. En vista de lo anterior, es necesario asociar varios conceptos para establecer la definición de pasivo ambiental minero (véase el cuadro I.1)¹.

■ Cuadro I.1

Definiciones utilizadas para caracterizar los pasivos ambientales y los pasivos ambientales mineros

País	Definición	Regulación
Bolivia (Estado Plurinacional de)	Conjunto de impactos negativos perjudiciales para la salud y/o el medio ambiente, ocasionados por determinadas obras y actividades existentes en un determinado período de tiempo y los problemas ambientales en general no solucionados por determinadas obras o actividades.	Decreto Supremo núm. 24176, de 8 de diciembre de 1995. Artículo 46 del Reglamento General de Gestión Ambiental.
Chile	Faena minera abandonada o paralizada, incluidos sus residuos, que constituyen un riesgo significativo para la vida o la salud de las personas o el medio ambiente. Lugar o terreno impactado ambientalmente por una actividad económica histórica que ha terminado en el tiempo y sobre la cual en la actualidad no se ejerce un control.	Anteproyecto de Ley sobre Remediación de Pasivos Ambientales Mineros de 2005. Política Nacional para la Gestión de Sitios con Presencia de Contaminantes.

¹ Las faenas mineras se definen como “el conjunto de instalaciones y lugares de trabajo de la industria extractiva minera”, inclusive “la totalidad de las labores, instalaciones y servicios de apoyo e infraestructura que existen respecto a una mina o establecimiento de beneficio para asegurar el funcionamiento de las operaciones mineras” (Congreso Nacional de Chile, 2011).

País	Definición	Regulación
Colombia	Afectaciones ambientales originadas por actividades antrópicas directa o indirectamente por la mano del hombre, autorizadas o no, acumulativas o no, susceptibles de ser medibles, ubicables y delimitables geográficamente, que generan un nivel de riesgo no aceptable a la vida, la salud humana o el ambiente, de acuerdo con lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Salud y Protección Social, y para cuyo control no hay un instrumento ambiental o sectorial.	Ley núm. 2327 de 2023.
Ecuador	Aquellos daños ambientales y/o impactos ambientales negativos no reparados o restaurados respectivamente, o aquellos que han sido intervenidos previamente, pero de forma inadecuada o incompleta y continúan estando presentes en el ambiente, constituyendo un riesgo para cualquiera de sus componentes, generados por una actividad minera.	Ley de Minería, Ley núm. 45 de 2009, modificada en 2016, y Reglamento Ambiental para Actividades Mineras, Acuerdo Ministerial núm. 37-2014, modificado en 2016.
México	Aquellos sitios contaminados por la liberación de materiales o residuos peligrosos, que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de contaminantes, pero que implican una obligación de remediación.	Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
Perú	Instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.	Ley núm. 28271 que Regula los Pasivos Ambientales de la Actividad Minera, publicada en 2004.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

En relación con los marcos regulatorios vinculados a la gestión correctiva de pasivos ambientales en los países de América Latina y el Caribe, Colombia, el Ecuador, México y el Perú cuentan con normativas específicas (Congreso de la República de Colombia, 2023; OLACEFS, 2021) (véase el cuadro I.1).

A partir de las definiciones presentadas en el cuadro anterior, es posible identificar un amplio número de pasivos ambientales mineros inventariados en los países andinos (por ejemplo, Colombia con 781 (2015), el Ecuador con 3.710 (2020), el Perú con 6.128 (2023), entre otros). Nótese la gran cantidad de pasivos ambientales mineros o faenas e instalaciones abandonadas o paralizadas que constituyen un riesgo inminente para la sociedad y el medio ambiente (Congreso de la República de Colombia, 2023; Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador, 2024; MINEM, 2023).

Más ampliamente, y para fines de esta guía, se entienden como pasivos ambientales mineros los impactos negativos potenciales en términos socioambientales asociados a las operaciones mineras abandonadas (y los residuos allí depositados), con o sin dueño u operador identificable, y en donde no se haya realizado un cierre regulado y certificado por la autoridad correspondiente (Yupari, 2004). Además, existen riesgos físicos, como la infraestructura abandonada y su posible colapso, y riesgos químicos, como la generación de drenaje ácido que puede escurrir a través de bocaminas abiertas.

Los riesgos físicos de un pasivo ambiental minero pueden desencadenarse, agravarse y convertirse en daños debido a fenómenos naturales o al mal estado de la instalación. Entre los fenómenos naturales se encuentran las condiciones de sismicidad, erosión hídrica, viento, inundaciones, remoción en masa y pluviometría extrema. El estado de la instalación puede estar relacionado con la condición de compactación del muro de la relavera², la forma de operar y mantener la instalación durante su actividad, y el seguimiento correcto (o no) de las medidas de cierre (Morales y Hantke, 2020). Por ejemplo, una falla en el sistema de disposición de los relaves mineros puede dar lugar al colapso de un depósito de relaves (véase el recuadro II.1).

Los pasivos ambientales mineros pueden presentar asimismo riesgos químicos en sitios donde la contaminación involucra de forma primaria residuos o materiales que contienen elementos potencialmente tóxicos. De particular importancia debido a su toxicidad, los elementos potencialmente tóxicos de interés ambiental que se pueden encontrar en estos pasivos son: arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), molibdeno (Mo), níquel (Ni), antimonio (Sb), selenio (Se), plomo (Pb), vanadio (V), y zinc (Zn) (Alberruche y otros, 2014; Arranz-González y otros, 2022; Unión Europea, 2009). Estos elementos pueden estar directamente relacionados con las actividades mineras, ya sea de forma primaria (el valor que se extrae) o secundaria (el residuo que queda, como ocurre en la minería de metales preciosos).

Finalmente, los impactos para las personas (seguridad y salud), el medio ambiente y las actividades económicas pueden clasificarse en las siguientes categorías: i) riesgo sísmico; ii) riesgo hidrogeológico; iii) generación de polvo; iv) contaminación del suelo; v) consumo de agua, y vi) fallas en el sistema de disposición (BGR/SERNAGEOMIN, 2008; SERNAGEOMIN, 2014; López y otros, 2003). (Véanse ejemplos en los capítulos II y IV).

1. Tipos de pasivos ambientales mineros

Es posible distinguir varios tipos de pasivos ambientales mineros en función de: i) los elementos que los componen; ii) las circunstancias que los originan, y iii) el sistema jurídico que los enmarca. Estos factores finalmente repercutirán en la condición de riesgo que emane de ellos (Oblasser, 2016):

- **Pasivos ambientales mineros de actividades mineras extractivas que incluyen o pueden incluir:** mina (subterránea) o tajo a cielo abierto, instalaciones y lugares de trabajo, pilas de lixiviación, depósitos de residuos mineros masivos, depósitos de relaves y de estériles, rípios de lixiviación y, en general, la totalidad de las labores, las instalaciones y los servicios de apoyo e infraestructura que existen respecto a una mina. Dentro de este tipo de pasivo ambiental minero también se incluirían aquellos de la industria petrolera, como los sitios de explotación (pozos), los

² Según Arranz-González y otros (2020a), el término relavera es sinónimo de depósito de relaves. Cada país puede tener una terminología propia para definir estos depósitos: en Chile se utiliza el término "tranque de relaves", en Colombia y el Perú, "presa de relaves (colas)" y en México, "presa de jales".

sitios de depósito de residuos (por ejemplo, lodos de perforación), los sitios de producción de derivados y almacenamiento y los sitios dedicados exclusivamente al almacenamiento y la distribución.

- **Pasivos ambientales mineros de actividades minero-metalúrgicas que incluyen o pueden incluir:** plantas de fundición, depósitos de escorias de fundición, plantas de tratamiento, baterías, equipamiento, maestranzas, talleres, casas de fuerza, bodegas, lugares de acopio, instalaciones y servicios de apoyo e infraestructura relacionados con el establecimiento de beneficio para asegurar el funcionamiento de las operaciones minero-metalúrgicas.
- **Pasivos ambientales mineros originados por accidentes de gran alcance causados por las actividades mineras extractivas que incluyen o pueden incluir:** residuos dispersados por el accidente (como residuos masivos, relaves, estériles, rípios de lixiviación y soluciones ácidas utilizadas en procesos), que contienen elementos potencialmente tóxicos o soluciones ácidas y que se dispersan por toda una cuenca en distintos medios ambientales, como el suelo, los sedimentos, el agua y el aire.

B. Conceptos de riesgo y de daño ambiental

Un pasivo ambiental minero representa un riesgo potencial para la comunidad y el medio ambiente. Un riesgo es “la combinación de la probabilidad de ocurrencia de un evento y su consecuencia” (BGR/SERNAGEOMIN, 2008). De forma complementaria, puede definirse como una “estimación conjunta de la probabilidad y severidad de un efecto adverso para la vida, la salud, la propiedad o el medio ambiente” (Arranz-González y otros, 2020a, pág. 19). Los riesgos que surgen de los pasivos ambientales mineros se asocian generalmente con la seguridad física de las personas y con la contaminación, y pueden tener consecuencias negativas sobre las actividades económicas productivas. Todo esto, a su vez, puede desencadenar conflictos socioambientales con las comunidades aledañas. Por esta razón, el manejo de los riesgos asociados a un pasivo ambiental minero es una herramienta fundamental para analizar y dimensionar su potencial impacto. Es cabal planificar la gestión de los pasivos con vistas a su remediación.

Según la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI), daño ambiental se refiere a una “pérdida, cambio, deterioro, menoscabo, afectación o modificación adversos y mensurables del hábitat, de los ecosistemas, de los elementos y recursos naturales, de sus condiciones químicas, físicas o biológicas, de las relaciones de interacción que se dan entre estos, así como de los servicios ambientales que proporcionan” (Arranz-González y otros, 2020a, pág. 7).

El concepto se refiere también a “toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo de las condiciones preexistentes en el medio ambiente o uno de sus componentes. Afecta al funcionamiento del ecosistema o a la renovabilidad de sus recursos” (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador, 2004, pág. 12). En resumen, un daño es un riesgo que se ha materializado.

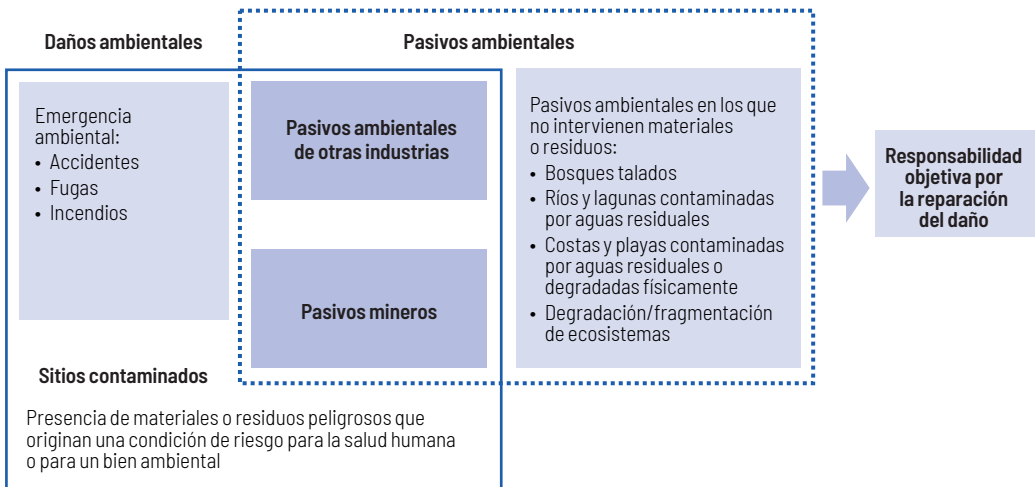
Si bien en algunas circunstancias la noción de daño ambiental se podría asimilar a la de pasivo ambiental (por ejemplo, cuando los residuos de la actividad industrial o minera contaminan gravemente el medio ambiente), estos conceptos no se deben confundir. El pasivo ambiental es, o debería ser, el paso anterior al daño ambiental. Dada esta distinción, se puede afirmar que en el caso del pasivo ambiental hay un *ex ante*, ya que este podría llegar a convertirse en un daño ambiental. Por otro lado, en el daño ambiental hay un *ex post*, del cual se derivan consecuencias jurídicas para el responsable de restaurar e indemnizar algo que ya ocurrió.

En particular, el daño ambiental, que podría originarse en un pasivo ambiental no remediado, está más vinculado con el hecho generador del daño. Este último puede incluir el colapso de una relavera, un derrame de sustancias peligrosas en el suelo o en los cursos de agua, una emanación atmosférica concentrada de contaminantes o la acumulación de residuos contaminados en un sitio específico, entre otros. Para considerarse daño ambiental, estos eventos deben producir una modificación o un menoscabo significativo de las condiciones preexistentes en el medio ambiente o en uno de sus componentes (Arranz-González y otros, 2020a).

En vista de lo anterior, algunos países, además de los conceptos de riesgo y de daño potencial incluidos en la definición de pasivos ambientales mineros, incluyen la acumulación de daños ambientales no compensados producidos por una empresa a lo largo de su historia, tanto en su actividad normal como en caso de accidente (véase el diagrama I.2).

■ Diagrama I.2

Relación entre los conceptos de daño ambiental, sitio contaminado y pasivo ambiental



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Desde una mirada económica, los pasivos ambientales mineros pueden estar relacionados con una externalidad. El riesgo asociado a los pasivos ambientales mineros también puede conllevar daños sociales vinculados con la seguridad y la salud humana,

tanto de los trabajadores como de las comunidades aledañas a los sitios contaminados por la actividad minera. Esto implica que el responsable del daño no es el único que debe preocuparse por la reparación o compensación del pasivo ambiental minero, sino que lo es la sociedad en su conjunto (Martínez-Alier y O'Connor, 1996). Por lo tanto, la subsidiariedad del Estado no siempre se aplica ante la presencia de externalidades negativas o asimetrías de información. En ocasiones, las deudas con las comunidades locales no son reconocidas como tales por la jurisdicción vigente y, en otros casos, las leyes que establecen límites y prohibiciones no se respetan.

C. Remediación de pasivos ambientales mineros

En la etapa de poscierre es fundamental considerar dos elementos: i) cómo mantener las instalaciones a perpetuidad y ii) cómo se utilizará a futuro la tierra donde se encontraba el pasivo ambiental minero. Ambos puntos plantean la necesidad de asegurar la estabilidad física y química del lugar en el tiempo, así como de salvaguardar la vida, la salud y la seguridad de las personas (Morales y Hantke, 2020).

La remediación de un pasivo ambiental minero es clave para controlar su impacto negativo en la sociedad y el medio ambiente. La gestión de un pasivo ambiental minero debe enfocarse primordialmente en reducir los riesgos asociados a su presencia, establecer reglas de responsabilidad y permitir la mejora de las condiciones de vida de las comunidades afectadas, ya sea de forma directa o indirecta, por la existencia del pasivo ambiental minero. La falta de gestión adecuada de un pasivo podría generar costos elevados que, en muchos casos, superarían aquellos de las labores preventivas (Oblasser, 2016; Sánchez, 2019).

Las autoridades competentes deben jerarquizar y priorizar los pasivos ambientales mineros de acuerdo con los distintos niveles de riesgos para evitar los impactos potenciales más inmediatos sobre la sociedad. En este sentido, es importante diseñar un plan de manejo de riesgos y llevar a cabo un análisis de resiliencia comunitario como complemento al enfoque basado en riesgos. El plan de manejo de riesgos es fundamental para gestionar las condiciones técnicas, económicas y sociales que permitan aumentar el grado de adaptación de las comunidades ante los posibles impactos de los pasivos ambientales mineros. A su vez, el análisis de resiliencia comunitario contribuye a generar las condiciones y los conocimientos necesarios para implementar medidas de participación de la comunidad, con el objetivo de fortalecer sus capacidades y ejecutar estrategias sostenibles de manejo de riesgos (De Miguel y Pereira, 2019).

De acuerdo con el Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (BGR/SERNAGEOMIN, 2008), por remediación se entiende el "conjunto de acciones y medidas adecuadas para el control, reducción o eliminación del riesgo, para la vida o salud de las personas o al medio ambiente, de un pasivo ambiental minero, hasta un grado tal que el riesgo se reduce a un nivel aceptable

(no significativo)³. Según la definición propuesta por la Contraloría General del Estado del Ecuador, el concepto hace referencia al “conjunto de medidas y acciones tendentes a restaurar afectaciones ambientales producidas por impactos ambientales negativos o daños ambientales, a consecuencia del desarrollo de actividades, obras o proyectos económicos o productivos” (Arranz-González y otros, 2020a, pág. 18)⁴.

El objetivo principal de la remediación es asegurar que un sitio quede en condiciones aceptables y seguras para las personas y el medio ambiente. Esto implica considerar el uso actual y previsto del sitio, maximizando sus usos futuros mientras se intentan minimizar los impactos negativos del pasivo ambiental minero. Dado su potencial positivo, pero también conflictivo, la gestión preventiva o correctiva del pasivo ambiental minero debe contar con la participación de todas las partes interesadas a lo largo del ciclo de vida de un proyecto minero, incluida la etapa de poscierre (Oblasser, 2016; Sánchez, 2019).

En el ámbito internacional, las regulaciones sobre remediación son escasas. Normalmente, la responsabilidad de remediar un pasivo recaería sobre quien lo ha generado; el responsable podría ser, por ejemplo, una empresa pública o privada. Por otra parte, existen casos en los que no es posible identificar al responsable de la generación del pasivo, o este no está en condiciones de remediar el sitio contaminado. Cuando no se puede atribuir la responsabilidad al contaminador, y en virtud de la legislación de cada país, la responsabilidad debería recaer sobre el propietario actual del terreno o sobre el Estado (OMS, 2021b; véase el apartado II.C.). Considerando que un pasivo ambiental se entiende como una situación heredada del pasado, es decir, anterior a la entrada en vigor de las regulaciones ambientales formuladas deliberadamente para evitar su generación, los Estados no priorizan invertir sus recursos presupuestarios, generalmente limitados, en acciones de remediación.

De acuerdo con Oblasser (2016), la remediación no debería entenderse únicamente como una acción dirigida a disminuir la contaminación o controlar el riesgo, sino también como una oportunidad. Desde una perspectiva positiva, la remediación supone tanto la reactivación de la minería (minería secundaria) como la búsqueda de usos alternativos. De esta forma, la remediación se convierte en una fuente de inversión para la economía local, que se alinea con los principios de la economía circular, ya que podría generar oportunidades laborales y permitir la reutilización de la infraestructura asociada existente.

Esta guía hace referencia al concepto de remediación sostenible, es decir, por medio de los tres pilares de sostenibilidad: económico, ambiental y social. Para que una remediación se considere sostenible debe: i) reintegrar el sitio a su entorno (idealmente restableciendo sus características anteriores a la generación del pasivo ambiental minero); ii) reintegrar el valor económico del sitio (por ejemplo, a través de la reutilización productiva), y iii) otorgar un beneficio a la sociedad, como el reuso recreativo para la comunidad (EPA, 2008 y 2012)⁵. El empleo de

³ La definición se basa en los conceptos enunciados en el *Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas FMA/P* (BGR/SERNAGEOMIN, 2008).

⁴ Se extrapola la definición de la *Guía de Auditoría Ambiental* de la Contraloría General del Estado del Ecuador. (Véanse otras definiciones en el diagrama 6).

⁵ Dentro del concepto de remediación sostenible se incorpora lo que se suele llamar “rehabilitación” del suelo (véanse más detalles sobre los conceptos clave en el capítulo II).

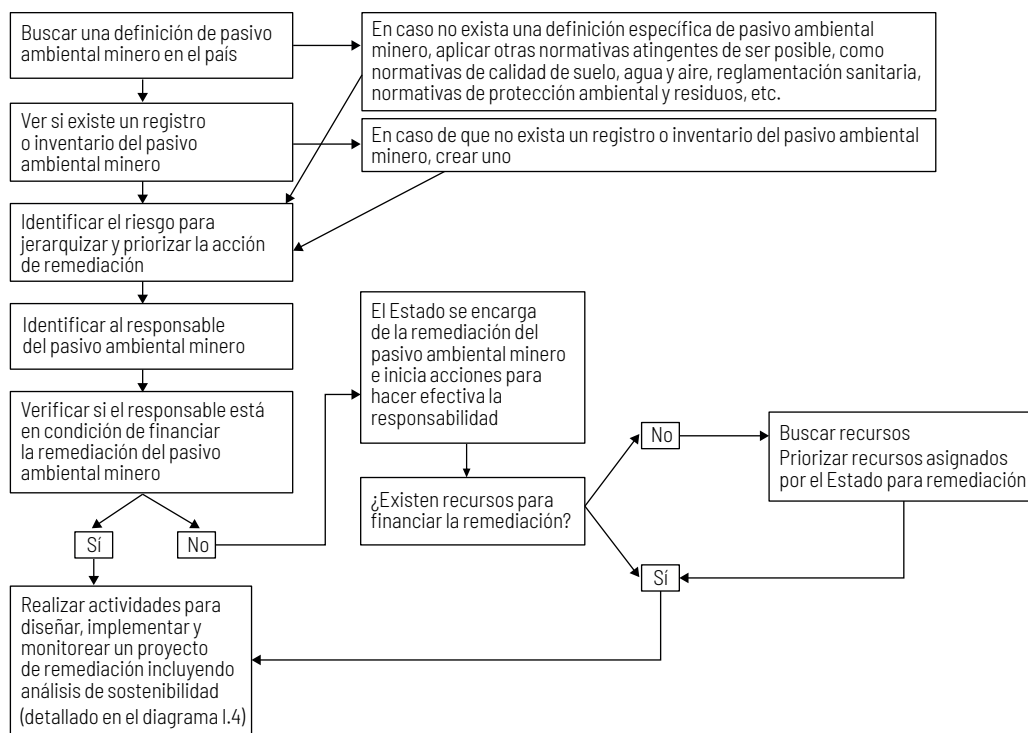
tecnologías idóneas y amigables con el medio ambiente representa una condición *sine qua non*. La remediación sostenible, entre otros beneficios, se refiere a la ejecución de una intervención que permita que: i) la sociedad recupere la inversión realizada por el Estado; ii) se gestionen los riesgos de manera eficaz; iii) se minimice el impacto de las obras de remediación en el medio ambiente y las comunidades aledañas; iv) se genere responsabilidad socioambiental en las empresas, maximizando su relación con las partes interesadas, y v) se maximice el beneficio ambiental neto de las acciones de limpieza (r3 Environmental Technology, 2014; EPA, 2008).

D. Hoja de ruta: guía metodológica para la remediación de pasivos ambientales mineros

En esta sección se propone una representación gráfica del proceso a seguir por parte de los encargados de la formulación de políticas de remediación de los pasivos ambientales mineros. En los diagramas I.3 y I.4 se muestra un flujo de acciones y decisiones para analizar alternativas de remediación, diseñar y comenzar la implementación del proyecto y, finalmente, llevar a cabo su seguimiento.

■ Diagrama I.3

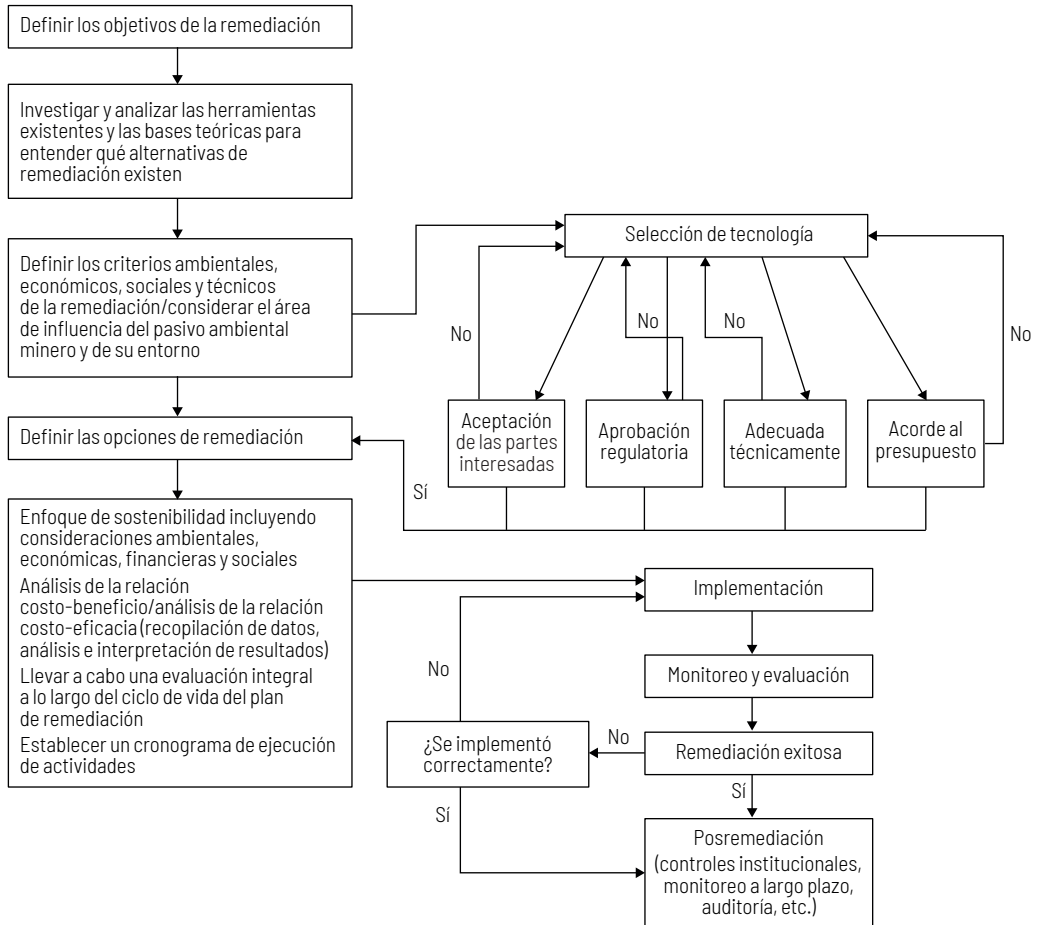
Consideraciones preliminares al diseño y a la implementación de un plan de remediación



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

■ Diagrama I.4

Recomendaciones para diseñar, implementar y monitorear un proyecto de remediación



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Cooperative Research Centre for Contamination Assessment and Remediation of the Environment (crcCARE), *Remediation Action Plan Development: Guideline on Performing Cost-benefit and Sustainability Analysis*, Newcastle, 2019.

Como se explica en el diagrama I.3, se debe dar respuesta a los siguientes interrogantes preliminares: i) ¿existe una definición de pasivo ambiental minero en el país?, ii) ¿el pasivo ambiental minero está inventariado? ¿existe un registro?

En caso de que las consideraciones previas tengan una respuesta afirmativa, quien tome las decisiones deberá: i) considerar el riesgo relacionado con el pasivo ambiental minero a fin de identificar, jerarquizar y priorizar acciones de remediación, y ii) verificar si es posible identificar al titular del pasivo ambiental minero con el objetivo de involucrarlo y responsabilizarlo en el proceso de remediación. Una vez identificado o definido el responsable de la remediación, se verifica su solvencia financiera y, de ser necesario, se asocia al Estado el financiamiento de la remediación del pasivo ambiental minero.

Según el diagrama I.4, y tomando en cuenta las consideraciones anteriores, el encargado de las políticas de remediación puede definir los objetivos de la remediación y profundizar su conocimiento sobre las bases teóricas y las herramientas de análisis existentes que utilizaría para remediar el pasivo ambiental minero. Con esta información podrá: i) definir los criterios ambientales, económicos, sociales y técnicos de la acción de remediación, e ii) identificar una o varias opciones de remediación.

En esta etapa del proceso, se comprueba la viabilidad de las opciones de remediación identificadas. Si son factibles, se definen las tecnologías que se utilizarán para remediar el pasivo ambiental minero, considerando si: i) son adecuadas; ii) cuentan con el acuerdo de todas las partes interesadas; iii) se ajustan al presupuesto establecido para la remediación, y iv) adhieren a la normativa del país. Si se cumplen todos estos aspectos, se podrá llevar a cabo la implementación del plan de remediación. Sin embargo, antes de ejecutarlo, es necesario asegurarse de haberlo preparado con un enfoque sostenible y participativo e incluir los elementos ambientales, sociales y económicos que garantizan la sostenibilidad del proyecto. Asimismo, se ha de corroborar que la ejecución sea secuencial y lógica.

Una vez implementado el proyecto, es fundamental continuar con el monitoreo de la situación para determinar, a través de una evaluación integral, si la remediación ha sido exitosa o si aún quedan espacios de mejora. Si la remediación se considera exitosa, el proyecto pasa a la fase de posremediación; de lo contrario, se evalúan los aspectos que han planteado problemas o han impedido su correcta implementación.

Capítulo II

Orientaciones para proyectos de remediación sostenible de un pasivo ambiental minero

Introducción

En este capítulo se presentan diversas pautas para enmarcar y estandarizar una evaluación de proyectos de inversión que permita gestionar la remediación sostenible de un pasivo ambiental minero. En particular, se detallan las características de los principales enfoques para la remediación de un pasivo ambiental minero, haciendo hincapié en el concepto de riesgo. Del mismo modo, se analizan los principales aspectos asociados a los marcos legales internacionales y se muestran estrategias para su financiamiento. Se resalta la importancia de la participación pública y significativa de las partes interesadas, incluidas las comunidades locales. Finalmente, se dan a conocer algunas tecnologías que pueden considerarse en un proyecto de remediación.

A. Principios de toma de decisiones sobre la remediación de pasivos ambientales mineros

De acuerdo con el estándar internacional para la gestión de los pasivos ambientales mineros elaborado por la Organización Internacional de Normalización (ISO, 2023a), cada proyecto de remediación de pasivos ambientales mineros debería estar alineado con los Objetivos

de Desarrollo Sostenible plasmados en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2015)¹. Además, existen diversas pautas y principios que permiten enmarcar y guiar los procesos de remediación para lograr una gestión sostenible de estos pasivos.

En términos generales, la toma de decisiones respecto a la remediación de sitios contaminados debe cumplir con las siguientes pautas (OIEA, 2009; CL:AIRE, 2010 y 2020; ISO, 2023a)²:

- Protección de la salud humana y el medio ambiente.
- Prácticas laborales seguras.
- Coherencia con las reglas de la lógica.
- Toma de decisiones consistente, clara y reproducible basada en evidencia.
- Mantenimiento de registros e informes transparentes.
- Buen gobierno, empoderamiento y participación de las partes interesadas, teniendo en cuenta la opinión de todas las partes interesadas (véase el apartado “Participación de las comunidades locales” a continuación).
- Aplicación de ciencia y tecnología.
- Análisis de todos los factores que afectan el proceso de toma de decisiones.
- Consideración equilibrada de todas las posibles opciones de acción.
- Economía circular y máximo aprovechamiento de los residuos.

En términos particulares, los ejecutores de proyectos y las autoridades que participan en la revisión de los planes de remediación y proyectos de uso futuro deberían considerar principios guía para lograr resultados sostenibles, económicos y transparentes.

En el cuadro II.1 se sugiere considerar como principios guía la ejecución de estudios estandarizados, la identificación de riesgos, la selección de alternativas de remediación, la participación comunitaria y la ejecución adaptativa de la remediación. Asimismo, se relaciona cada principio guía con su potencial contribución a una mayor transparencia en el acceso a la información, a una participación más amplia y a la disminución de costos y tiempos en la ejecución de la remediación, entre otros.

¹ El manual de la ISO relativo a los legados mineros profundiza en temas vinculados con las gestiones internas de los organismos encargados de la remediación. Se recomienda consultarlo de forma complementaria para asegurar el cumplimiento de las mejores prácticas internacionales (véase ISO, 2023b).

² Colombia, entre otros países, ha incluido estos principios en sus estrategias de remediación de tierras mineras contaminadas (r3 Environmental Technology, 2017).

■ Cuadro II.1

Principios guía para la gestión y la remediación sostenible de los pasivos ambientales mineros

Principios guía:	Contribuyen a:
<p>La ejecución de estudios para determinar si la extensión del daño cumple con los estándares mínimos vigentes y facilitar además la información más completa posible para todas las vías de exposición consideradas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la calidad de la información. - Aumentar la confianza de la población en el proceso. - Mejorar la calidad de la comunicación de los riesgos.
<p>La identificación de los riesgos actuales para la salud humana y el medio ambiente se lleva a cabo de una forma transparente y trazable (con una memoria de cálculo accesible) desde los datos, sus fuentes, la metodología y los supuestos empleados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Minimizar las probabilidades de que durante un proceso judicial la parte técnica y científica formule objeciones. - Permitir una base confiable para monetizar los daños (costos).
<p>La selección de alternativas de remediación se lleva a cabo teniendo en cuenta:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Riesgos aceptables para los grupos poblacionales humanos más vulnerables posiblemente expuestos. - Riesgos aceptables para los bienes ambientales (por ejemplo, agua y suelo), así como para los ecosistemas y sus componentes. - La interrupción eficiente de rutas y vías de exposición. - El mínimo movimiento de materiales durante el proceso de remediación para lograr el menor nivel posible de emisión de gases de efecto invernadero (GEI). - La mayor sostenibilidad futura económica y ambiental posible del sitio (y de su uso). Se debe considerar que los costos de operación y mantenimiento sean equilibrados. - La mayor captura de gases de efecto invernadero posible por su uso futuro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentar la confianza de la población en el proceso. - Mejorar la calidad de la comunicación de los riesgos. - Minimizar las probabilidades de que durante un proceso judicial la parte técnica y científica formule objeciones. - Aumentar los beneficios para la salud y el medio ambiente. - Permitir una base confiable para identificar y, en su caso, monetizar los beneficios. - Disminuir la huella de carbono de la remediación.
<p>En el proceso de evaluación se da a la población afectada la oportunidad de expresar sus preocupaciones y sus expectativas (véase el apartado "Participación de las comunidades locales" en este capítulo).</p> <p>En el proceso de evaluación de los planes de remediación se deben considerar los aspectos de salud, economía y sustentabilidad respecto de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La huella de carbono de las acciones de remediación, las obras civiles a ejecutar y el uso futuro. - El monitoreo de la exposición posremediación. - Los mecanismos para dar por concluida la responsabilidad en relación con las distintas etapas del proyecto de remediación: las acciones de remediación (por ejemplo, obras civiles constructivas) y el monitoreo posremediación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Minimizar las probabilidades de que durante un proceso judicial la parte técnica y científica formule objeciones sobre el aspecto procedimental de la evaluación. - Aumentar la confianza en el proceso de evaluación y en el papel de las autoridades que participan en él.

Principios guía:	Contribuyen a:
<p>En la ejecución de la remediación se prioriza:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Una toma de decisiones flexible que permita adaptar los planes de remediación a los posibles imprevistos, incluida la obligación de documentar esas decisiones. - La modularización o división en etapas de los planes de remediación para adaptarlos a los ciclos presupuestarios anuales, a los ciclos propios de los concursos públicos de obras, a los cambios climáticos estacionales y a la capacidad operativa. - La conclusión de etapas o módulos de remediación, que se debe preservar desde la aprobación de los planes de remediación, con el objeto de dar cumplimiento a las disposiciones jurídicas y, al mismo tiempo, brindar la flexibilidad necesaria a un proyecto. - El acceso de la población al sitio y a la información tanto al inicio como durante de las actividades de remediación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminuir costos de remediación. - Evitar accidentes. - Evitar pérdidas operativas por cuestiones climáticas, como las estaciones de lluvias, que mantienen equipos y maquinaria en espera. - Evitar la ejecución apresurada y bajo presión de tiempo de licitaciones públicas, evaluaciones de propuestas y obras, así como los sobreprecios (por ejemplo, debido a la ejecución prioritaria de análisis de muestras). - Mejorar la calidad de la comunicación y la confianza entre el ejecutor y la comunidad afectada.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Presidencia de la República de México, *Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, Ciudad de México, 2006; Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales/Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (BGR/SERNAGEOMIN), *Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas FMA/P*, Santiago, 2008; Congreso de la República del Perú, *Ley N° 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera*, Lima, 2004; "Ley N° 28611: Ley General del Ambiente", *El Peruano*, Lima, 15 de octubre de 2005; Sustainable Remediation Forum (SURF), "Sustainable remediation white paper—integrating sustainable principles, practices, and metrics into remediation projects", *Remediation*, vol. 19, N° 3, Hoboken, Wiley, 2009; B. Limón y M. Herrejón, "Remediación y revitalización del predio de Peñoles, Compañía Minera, Fundidora y Afinadora Monterrey, S. A. y su conversión en el Paseo de Santa Lucía, 2ª etapa, en Monterrey, Nuevo León", *Remediación y revitalización de sitios contaminados: casos exitosos en México*, W. Schmidt, R. Flores y U. Ruiz (eds.), Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit/Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (GIZ/SEMARNAT), 2013; Oficina de Residuos Sólidos y Respuesta a Emergencias (OSWER), "Green remediation best management practices: mining sites", 2012 [en línea] https://clu-in.org/greenremediation/docs/GR_factsheet_miningsites.pdf; "Guía comunitaria sobre la cobertura", 2012 [en línea] https://clu-in.org/download/citizens/EPA-542-F-12-004S_guia_del_ciudadano_sobre_el_recubrimiento.pdf.

B. Gestión de riesgos para la priorización de pasivos ambientales mineros

La identificación, estimación y gestión de los riesgos socioambientales apoyan la toma de decisiones estratégicas en materia de remediación de pasivos ambientales mineros. La toma de decisiones refleja asimismo la disponibilidad de recursos financieros e insumos tecnológicos, así como el entorno económico y social. En este apartado se incluyen esquemas de gestión de riesgos, mecanismos de intervención, vectores de riesgo, un análisis de las distintas etapas de gestión de pasivos ambientales mineros, alternativas de remediación y criterios de priorización de intervenciones, entre otros.

1. Marcos de gestión de pasivos ambientales mineros basada en riesgos

La evaluación de riesgos se inicia con un enfoque conservador y simple (nivel I), que consiste, por ejemplo, en comparar concentraciones de contaminantes en el suelo con valores referenciales (véanse, por ejemplo: EPA, 2023; Congreso de la República del Perú, 2014; CCME, 2024; Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección de los Consumidores de Alemania, 2002). Si los valores encontrados en el sitio están por debajo del valor referencial, se descarta un riesgo significativo. En caso contrario, se determina que existe un riesgo.

Si se presenta un riesgo, se realiza una evaluación específica del riesgo en el sitio (nivel II) y se tienen en cuenta las particularidades del lugar, a fin de determinar si existe realmente un riesgo inaceptable y, en consecuencia, si es necesario remediar el sitio. Estas evaluaciones de riesgo demandan mucha información sobre las condiciones del sitio, los contaminantes presentes y las metodologías de evaluación, entre otros (MINEM, 2015; EPA, 2022).

Generalmente, la gestión de pasivos ambientales mineros basada en riesgos puede tomar dos formas: una escalonada y otra en dos etapas, como se explica a continuación:

a) Gestión escalonada o paulatina de la estimación de riesgos

Esta gestión se deriva de los modelos que plantean que el nivel de responsabilidad puede darse de forma escalonada según el grado de contaminación del sitio:

- Nivel I: La obligación o responsabilidad de reconocer y registrar un sitio donde pueda haber contaminantes, es decir, un lugar con sospecha de contaminación. Esto ocurre cuando se presume que ciertos contaminantes presentes en el sitio han superado concentraciones específicas debido a las actividades que se llevan a cabo en el lugar. Las concentraciones pueden estar señaladas en listados de contaminantes que figuran en leyes, reglamentos o instrumentos regulativos de menor nivel. Esta etapa está comúnmente asociada a evaluaciones técnicas y de riesgo preliminares del sitio sospechoso que pueden o no incluir muestreos básicos de orientación.
- Nivel II: El responsable puede tener la obligación adicional de investigar el sitio. Si se supera un segundo nivel de concentración de contaminantes o se rebasan ciertos criterios de riesgo (en este caso, la evaluación de riesgo está enfocada en identificar todos los riesgos), podrían surgir obligaciones de tercer nivel. Al sitio o área se lo identifica como contaminado en proceso de evaluación o investigación.
- Nivel III: El responsable se encarga de detallar las investigaciones, entre las que se encuentran muestreos y estudios específicos pormenorizados y evaluaciones de riesgos para la salud humana y el medio ambiente (que toman en consideración las condiciones específicas del sitio). En este nivel, el sitio se clasifica como contaminado en proceso de intervención.

b) Gestión binaria de la estimación de riesgos

En algunos países, como Costa Rica y México, la gestión presenta dos opciones:

- Cuando en una matriz ambiental (suelo, agua o ambos) se superan las concentraciones de referencia, surge una obligación de remediación. Esa responsabilidad atañe al usuario, concesionario, propietario o usufructuario del sitio. El responsable puede remediar el sitio (las matrices contaminadas) hasta que los contaminantes alcancen el nivel de concentraciones de referencia. Una vez que se logra la remediación, la responsabilidad se da por concluida.
- Cuando la responsabilidad se presenta, el responsable, en vez de remediar las concentraciones de referencia, puede optar por efectuar una evaluación de riesgo. Solo hay una forma de llevarla a cabo y se la puede asociar al tercer nivel del modelo previamente descrito (véase el capítulo IV).

2. Intervención basada en la estimación de riesgos

Sin importar el modelo de gestión de riesgos (es decir, el nivel III del modelo escalonado o el rebasamiento de los valores de referencia según el modelo binario), el proceso de intervención sigue la misma senda:

- Se establecen los riesgos específicos para grupos potencialmente vulnerables, ecosistemas o bienes públicos o de terceros que toman en consideración las condiciones socioeconómicas, demográficas y ambientales, así como un escenario futuro concreto.
- En función de los resultados de la evaluación anterior, se planifica la intervención que se va a ejecutar (véase el capítulo IV).
- Con base en lo anterior, se lleva a cabo una intervención para reducir esos riesgos, considerando un proceso de revisión y autorización por parte de las autoridades competentes.

3. Vectores de riesgo

Como se anticipó en el capítulo I, existen diferentes tipos de riesgos asociados a los pasivos ambientales mineros según su ubicación, la población aledaña, los recursos expuestos y las amenazas que se plantean. En el cuadro II.2 se profundizan los riesgos físicos relacionados con la sismología, la hidrogeología y la generación de polvo, entre otros.

■ Cuadro II.2

Tipos de riesgos físicos asociados con los pasivos ambientales mineros

Riesgo	Explicación
Riesgo sísmico	El impacto de este riesgo está directamente relacionado con el tamaño, el diseño y la construcción de la relavera, la situación de abandono o paralización y las características del lugar donde se ubica el depósito, además de la magnitud del sismo. Este riesgo se evalúa mediante la estabilidad de los taludes y el riesgo de licuefacción ^a . Un fenómeno sísmico puede provocar contaminación de los cursos de agua, producir efectos negativos sobre terrenos y zonas agrícolas y, en casos más graves, causar la muerte.
Riesgo hidrogeológico	El impacto de este riesgo se asocia con el arrastre de desechos y residuos producido por lluvias, crecidas de ríos y avalanchas, el riesgo de inundaciones, la acidificación de las aguas, la solubilización de metales, el arrastre de sedimentos y la contaminación de napas subterráneas. Los impactos pueden afectar tanto al agua como al suelo.
Generación de polvo ^b	Este fenómeno tiene, por un lado, un impacto en la salud de las personas, ya que sus partículas pueden ser inhaladas y pasar al sistema respiratorio, y por el otro un impacto en el medio ambiente, pues impide el proceso de fotosíntesis de las plantas (ya sea de forma parcial o total) y reduce la capacidad de fecundación de las flores, así como el rendimiento y la calidad de los árboles frutales y las plantas de cultivo (Farmer, 1993). Al mismo tiempo, este último aspecto podría generar efectos perjudiciales en términos económicos (como pérdida de superficie de cultivos y riesgos para la agricultura y la ganadería), lo que tendría implicancias negativas para la seguridad alimentaria local.
Contaminación del suelo	Cuando las sales y los metales de los relaves comienzan a emerger, es posible que, especialmente en el caso de la revegetación de terrenos, entren en contacto con las raíces de las plantas y les provoquen la muerte. Si las plantas sobreviven, la absorción de metales tóxicos puede generar procesos de bioacumulación, lo que podría causar intoxicación y enfermedades a los animales que las consuman (riesgos para la ganadería), incluso esos metales tóxicos podrían ingresar en la cadena trófica.
Consumo de agua	En la etapa de disposición de relaves se genera una importante pérdida de agua (debido a filtraciones, humedad retenida o evaporación). Esta pérdida es aún más grave cuando se origina en zonas calurosas y con elevadas precipitaciones. Es importante destacar que los relaves abandonados o paralizados pueden convertirse en pasivos ambientales mineros, en especial si se tiene en cuenta su nivel de riesgo.
Fallas en el sistema de disposición	Se refiere a fallas de diseño, de construcción y de operación; riesgos de seguridad, como el contacto directo con productos corrosivos, derrumbes y derrames, y riesgos químicos, entre ellos, la generación de drenaje ácido. Los impactos de estas fallas pueden causar, por un lado, contaminación de las cuencas hidrográficas y de los bordes costeros y, por el otro, daños a la seguridad de las personas (por ejemplo, debido a la presencia de fallas en muros de relaveras o de piques, pozos o taludes abiertos que puedan causar accidentes).

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales/Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (BGR/SERNAGEOMIN), *Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas FMA/P*, Santiago, 2008; Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN), *Guía Metodológica de Evaluación de Riesgos para el Cierre de Faenas Mineras*, Santiago, 2014; P. López y otros, "La minería y su pasivo ambiental", *Análisis de Políticas Públicas*, N° 24, Santiago, Fundación Terram, 2003; M. Silva y G. Suazo, "Metodologías para el uso de factores de emisión: material particulado en depósitos de relaves abandonados", *serie Medio Ambiente y Desarrollo*, N° 170 (LC/TS.2020/92), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020; A. Farmer, "The effects of dust on vegetation - a review", *Environmental Pollution*, vol. 79, N° 1, Ámsterdam, Elsevier, 1993.

^a La licuefacción es la pérdida repentina de la consistencia de un suelo cuando la presión de poro del agua se iguala a la fuerza de cohesión.

^b Este fenómeno se presenta con mayor intensidad en depósitos de relaves abandonados o en proceso de secamiento.

En la gestión de pasivos ambientales mineros basada en riesgos se debe incorporar la evaluación de los muestreos de suelo y agua y los estudios de evaluación de riesgos para la salud humana y el medio ambiente, así como los elementos que se citan a continuación (Presidencia de la República de México, 2006; MINEM, 2015):

- La estabilidad mecánica de la mina y los depósitos de residuos, relaves, estériles y escombreras (véase el recuadro II.1).
- Los residuos (escorias, relaves, estériles y otros residuos peligrosos como cenizas) y la lixiviación de compuestos potencialmente tóxicos.
- Las concentraciones de contaminantes presentes en suelo y subsuelo, aguas subterráneas y áreas no saturadas y saturadas (donde se superan los límites legales), así como en paredes, pisos y estructuras de edificios.
- Las edificaciones e instalaciones, sus volúmenes y la masa de materiales de las edificaciones (posibles residuos de demolición).
- Las vías de propagación de contaminantes:
 - Efluentes, aguas subterráneas y superficiales, lixiviados e infiltraciones líquidas.
 - Emisiones particuladas (polvos) y su posible dispersión.
 - Absorción y adsorción de los contaminantes en las raíces de las plantas.
 - Procesos de bioacumulación.
 - Vapores.
 - Suelo.
- Las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de escorias, relaves y estériles.
- Las características edafológicas, geológicas y geohidrológicas del sitio.
- Las condiciones de los cuerpos de agua y de las escorrentías en la cuenca inmediata donde se encuentre el pasivo (probabilidad de que el pasivo afecte una parte o la totalidad de una cuenca).
- Las concentraciones o los valores de fondo que se presentan de forma natural en la cuenca donde se encuentra el sitio o pasivo ambiental.
- Las actividades productivas: calidad de los alimentos, cosecha, ganado en la zona donde se ubica el pasivo ambiental minero.
- La influencia del pasivo ambiental minero y la exposición en viviendas y personas.

■ Recuadro II.1

Ejemplos de riesgos físicos en pasivos ambientales mineros: estabilidad de la mina y de los depósitos de relaves y estériles

El peligro asociado a la estabilidad física de un muro de relavera está estrechamente relacionado con la posibilidad de que ocurra un evento de licuefacción. El escape de masas de relaves puede recorrer grandes distancias a alta velocidad, arrasando todo a su paso. El comportamiento de los relaves en la estructura que los contiene, ya sea relavera o embalse, difiere según el lugar donde se emplazan.

De este modo, los relaves de zonas secas son relativamente estables y han permanecido así desde su clausura. Con el tiempo, los depósitos de relaves se han secado y del lodo original se ha formado un polvo compactado con características de bloque sólido.

Los relaves acumulados en zonas lluviosas y húmedas representan un gran peligro para poblaciones y ecosistemas cercanos debido a la constante humedad proveniente de la lluvia, que genera inestabilidad en el relave (licuefacción) y la estructura del depósito. Estos lugares de almacenamiento mantienen la humedad interna aun cuando la faena minera se ha clausurado o paralizado. Los mayores desastres en depósitos de relaves mineros se han producido durante eventos de lluvia intensa o fuerte actividad sísmica, que se han cobrado la vida de un gran número de personas (Congreso Nacional de Chile, 2012).

Los escenarios de peligro más probables para las personas, el medio ambiente o las actividades económicas relacionados con la disposición final de los relaves mineros incluyen (BGR/SERNAGEOMIN, 2008):

- Liberación violenta de relaves depositados en relaveras, que podría afectar a las personas, al medio ambiente o a las actividades económicas. En países sísmicos como Chile y el Ecuador, el control de la infraestructura adquiere especial importancia.
- Liberación violenta de relaves depositados en embalses.
- Falla del talud en relaves depositados en torta u otro sistema de acopio, que puede producir desplazamiento del material y cubrir terrenos aledaños. La falla puede deberse a la actividad sísmica o a la erosión por el agua.

De acuerdo con Rico y otros (2008), las causas más frecuentes de fallas en relaves, en orden de importancia, son: lluvias excepcionales, licuefacción sísmica, fallas en el manejo del relave, falla estructural, derrame por sobrellenado, inestabilidad del talud, fallas de cimentación, infiltración y formación de cavidades, y hundimientos.

Fuente: Congreso Nacional de Chile, "Proyecto de ley de la remediación de pasivos ambientales mineros", Santiago, 2012; M. Rico y otros, "Reported tailings dam failures: a review of the European incidents in the worldwide context", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 152, N° 2, Ámsterdam, Elsevier, 2008; Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales/Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (BGR/SERNAGEOMIN), *Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas FMA/IP*, Santiago, 2008; J. Arranz-González y otros, *Glosario técnico en materia de gestión de pasivos ambientales mineros*, Madrid, Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI), 2020.

Nota: Según Arranz-González y otros (2020a), el término relavera se refiere a los depósitos de relaves.

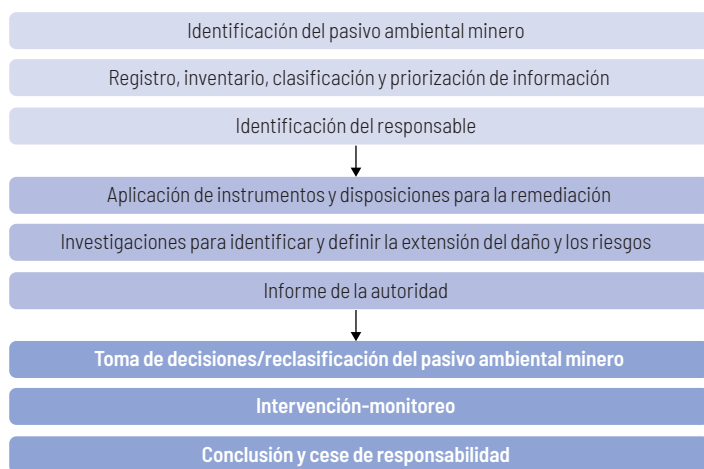
4. Principales etapas de la gestión de pasivos ambientales mineros basada en riesgos

En la gestión de pasivos ambientales mineros se distinguen nueve etapas principales, que van desde su identificación hasta las fases de cierre y poscierre (véanse el diagrama II.1 e ISO, 2023a: apartados 7 y 8)³.

³ Véanse perspectivas detalladas y metodologías sobre el cierre de minas en Morales y Hantke (2020).

■ Diagrama II.1

Etapas de la gestión de pasivos ambientales mineros



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), “Agua y minería en cuencas áridas y semiáridas: guía para la gestión integral”, *Documento Técnico del PHI-LAC*, N° 17, Montevideo, 2009; Presidencia de la República de México, *Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, Ciudad de México, 2006; Congreso de la República del Perú, “Aprueban criterios para la gestión de sitios contaminados: decreto supremo N° 012-2017-MINAM”, *El Peruano*, Lima, 2 de diciembre de 2017.

- i) **Identificación del pasivo ambiental minero.** Se deriva de un instrumento regulatorio como i) la evaluación de impacto ambiental; ii) la compraventa o transferencia de un sitio, o iii) la denuncia o el conflicto social que termina con la implicación de las autoridades competentes (autoridad ambiental o de salud).

En esta etapa del proceso, cabe mencionar que, según el Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe (Acuerdo de Escazú), “cada parte contará con uno o más sistemas de información ambiental actualizados, que podrán incluir, entre otros: (...) el listado de zonas contaminadas, por tipo de contaminante y localización” (CEPAL, 2022a y 2022b)⁴.

- ii) **Registro, inventario, clasificación y priorización de información.** Usualmente se encuentran bajo la responsabilidad de las autoridades competentes. En relación con el registro y el inventario, la autoridad incluye el sitio en una lista y, conforme a los procesos de inventario, se encarga de ir modificando su estatus. Es posible que estas actividades estén sujetas a mecanismos de auditoría, ya que son responsabilidades gubernamentales y deben velar por que se cumplan las obligaciones generales de garantizar los derechos de los ciudadanos (por ejemplo, un ambiente sano y libre de contaminantes; véase Asamblea Constituyente del Ecuador, 2008; Presidencia de la República de México, 2024; Arranz-González y otros, 2020a).

El registro y el inventario pueden ir acompañados de la clasificación y la priorización en esquemas de riesgo preliminares. Por otro lado, los datos incluidos deberían permitir

⁴ A junio de 2024, el Acuerdo de Escazú ha sido ratificado por 16 países: Antigua y Barbuda, Argentina, Belice, Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile, Dominica, Ecuador, Granada, Guyana, México, Nicaragua, Panamá, San Vicente y las Granadinas, Saint Kitts y Nevis, Santa Lucía y Uruguay. Véase más información [en línea] <https://www.cepal.org/es/acuerdodeescazu>.

la evaluación de riesgo de los sitios registrados con el objetivo de priorizar aquellos que necesiten remediación (véanse requerimientos específicos en ISO (2023a)).

Una vez definido el listado de pasivos ambientales mineros, así como su priorización, esta información debe hacerse pública de conformidad con el artículo 6.3 del Acuerdo de Escazú (CEPAL, 2022a y 2022b). El hecho de transparentar el catastro y poner sus datos en una plataforma en línea también puede facilitar la búsqueda de financiamiento para proyectos de remediación (por ejemplo, las empresas pueden identificar faenas que tengan el potencial de convertirse en sitios activos; véase el apartado “Estrategias de financiamiento para la remediación de pasivos ambientales mineros” en este capítulo). La participación de una organización independiente, como una universidad o un centro de investigaciones, en la gestión del inventario puede facilitar a las partes interesadas o al público en general el acceso a datos pertinentes, actualizados y sistematizados (ISO, 2023a).

- iii) **Identificación del responsable** (desde el punto de vista jurídico y de gestión). El responsable puede ser una empresa privada o pública o, en el caso de los pasivos ambientales huérfanos, puede ser el Estado (véase el apartado “Aspectos legales para la gestión de pasivos ambientales mineros” en este capítulo).
- iv) **Aplicación de instrumentos y disposiciones para la remediación.** La autoridad competente exige dicha aplicación al responsable por aquellas acciones ya establecidas en instrumentos ambientales, como las resoluciones relativas a la evaluación de impacto ambiental (por ejemplo, los planes de cierre de las faenas mineras como instrumentos derivados).
- v) **Investigaciones para identificar y definir la extensión del daño y los riesgos.** La autoridad lleva a cabo una evaluación antes de definir el alcance de la intervención debido a su implicación en la sostenibilidad y sustentabilidad de la remediación (véase el capítulo IV). Estas investigaciones abarcan:
 - La determinación de la extensión de la contaminación.
 - La determinación de las condiciones del sitio.
 - La determinación del área de influencia del pasivo ambiental minero.
 - La evaluación de riesgo para la salud humana y el medio ambiente.
- vi) **Informe de la autoridad.** La autoridad evalúa los elementos previamente mencionados antes de definir el alcance de la intervención.
- vii) **Toma de decisiones/reclasificación del pasivo ambiental minero.** Incluye la revisión del resultado de las investigaciones y las consecuencias económicas de dicha intervención. Si existe un responsable, este cubre los costos de las investigaciones y de la remediación, y el proceso de toma de decisiones se enfoca en fiscalizar la intervención que lleva a cabo el particular. En el caso de pasivos ambientales huérfanos, el Estado asume la responsabilidad y la toma de decisiones se centra en dos aspectos:
 - Los riesgos actuales (la situación sin proyecto) y, en función del riesgo aceptable, la intervención que beneficiará a la sociedad (la situación con proyecto).
 - La obtención de recursos suficientes para llevar a cabo la remediación o intervención por motivos de utilidad pública (para lo cual es esencial contar con un análisis de la relación costo-beneficio).

- viii) **Intervención-monitoreo.** Se asocia con el control de riesgos o la ejecución del proyecto de remediación.
- ix) **Conclusión y cese de responsabilidad.** Se ejecutan las medidas adoptadas en las etapas anteriores y se da por concluido el caso (véase el recuadro II.2).

■ Recuadro II.2

Diferencia entre el cierre de una mina y el cierre de la remediación del pasivo ambiental minero

El cese de responsabilidad se vincula con el cierre y el poscierre de una mina después de haber pasado por el proceso de evaluación ambiental, de conformidad con la normativa vigente en cada país. Por otro lado, cuando se ha generado un pasivo ambiental minero antes de la entrada en vigor de la legislación ambiental o esta no se ha cumplido, es necesario asignar la responsabilidad de remediar. Una vez remediado el pasivo ambiental minero, ya sea por una entidad privada o por el Estado, se inician las etapas de cierre de la remediación y posremediación.

Cierre de una mina: se refiere a las acciones que se ejecutan al finalizar las operaciones mineras, basadas en los instrumentos ambientales que posibilitaron su explotación.

Cierre de la remediación del pasivo ambiental minero y su monitoreo: hace referencia a la etapa de posremediación, que se define por aquellas actividades que marcan el fin de la responsabilidad. En las obras civiles relacionadas con la remediación de un pasivo ambiental minero se deberá contar con un plan de trabajo que guíe su vigilancia y mantenimiento, y en caso de que aún existan emisiones líquidas, el manejo continuo de esos efluentes incluso después de finalizada la remediación. El plan de trabajo será ejecutado por el responsable y deberá incluirse en el instrumento legal que permita a las autoridades ambientales dar por concluidas las labores de remediación del pasivo ambiental minero. Es posible que el plan de operación, mantenimiento y monitoreo tenga un plazo específico (cinco o diez años, según la situación del pasivo ambiental minero); por lo tanto, la liberación definitiva de la responsabilidad dependerá de la evolución del pasivo ambiental minero durante la etapa de poscierre.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Congreso Nacional de Chile, Ley núm. 20.551. *Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras*, Santiago, 2011; G. Daroni, "Responsabilidad por pasivos ambientales mineros y cierre de minas: breve análisis de los marcos normativos de Bolivia, Chile y Perú", *Anuario del Centro de Investigaciones Jurídicas y Sociales*, N° 12, Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba (UNC), 2015.

Para ahorrar tiempo y recursos, se recomienda que los estudios técnicos y la evaluación de riesgos (que permite explorar distintos escenarios de remediación) se liciten y ejecuten junto con el análisis de costos y precios unitarios. Ambos son fundamentales para el análisis de la relación costo-beneficio. Además, deberían ir acompañados de un análisis de la demanda (véase el capítulo V) y una cuantificación (monetización) de los beneficios (véase el capítulo VI).

5. Remediación sostenible, rehabilitación y (re)activación en América Latina y el Caribe

La intervención en un pasivo ambiental minero, generalmente en presencia de contaminantes, abarca diversas definiciones según su alcance. Esto va desde el control de riesgos y el proceso de rehabilitación del sitio para nuevas actividades productivas hasta remediaciones que buscan maximizar las dinámicas sociales, ambientales y económicas logradas mediante una remediación sostenible (véase el diagrama II.2).

■ Diagrama II.2

Glosario de términos básicos relacionados con la remediación

Remediación

- Conjunto de acciones y medidas adecuadas para el control, la reducción o la eliminación del riesgo para la vida o la salud de las personas o el medio ambiente de un pasivo ambiental minero, hasta que el riesgo se reduzca a un nivel aceptable (no significativo)(Arranz-González y otros, 2020a).
- Conjunto de medidas y acciones tendentes a restaurar afectaciones ambientales producidas por impactos ambientales negativos o daños ambientales, a consecuencia del desarrollo de actividades, obras o proyectos económicos o productivos (Arranz-González y otros, 2020a).
- Medidas tomadas para eliminar o reducir los contaminantes a un nivel seguro para la salud y el medio ambiente y para prevenir su dispersión (véase Ministerio de Salud de Costa Rica/Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica, 2018 [para Costa Rica]; Presidencia de la República de México, 2006 [para México]).
- En el Perú, el término también “comprende las acciones que permitan lograr el uso posterior del sitio o su restablecimiento a un estado similar al presentado antes de ocurrir los impactos ambientales negativos”(Congreso de la República del Perú, 2017).
- En algunos países de la región, se emplean igualmente los términos “descontaminación” o “rehabilitación” para referirse a la remediación (véanse los siguientes términos).

Descontaminación

- Eliminación o reducción de contaminantes a niveles aceptables.
- Por lo general, implica “habilitar” las condiciones del sitio para un determinado uso.

Rehabilitación

- Además de eliminar los elementos contaminantes, se devuelve a los terrenos la totalidad o parte de sus funciones.
- Conjunto de acciones destinadas a devolver a los terrenos degradados la posibilidad de soportar uno o más usos del suelo, al tiempo que llegan a ser ecológicamente estables, de manera que no contribuyan sustancialmente al deterioro ambiental, y se integren en el paisaje circundante (Arranz-González y otros, 2020a).

Revitalización (reutilización)

- Restablecimiento de la calidad del suelo y de las estructuras urbanas (edificios y servicios) funcionales que permiten un uso productivo (en un sentido amplio) en un lugar que antes se encontraba degradado y sin uso productivo.
- Se busca insertar los sitios revitalizados a su entorno para que funcionen como un conjunto de manera integrada con sus alrededores, con la finalidad de mejorar las condiciones de vida y de trabajo (Lindell, 2009; véanse los capítulos V y VI).

Renovación

- Reparación de edificios con el fin de restablecer su funcionalidad y su valor (Lindell, 2009).

Remediación sostenible

- Eliminación o reducción de los contaminantes hasta alcanzar un nivel seguro para la salud y el medio ambiente, o prevención de su dispersión en el ambiente sin modificarlos. Al mismo tiempo, los beneficios que se obtienen en un proceso de remediación, mediante los tres pilares de la sostenibilidad (económicos, ambientales y sociales), superan a cualquier otro tipo de remediación (véase el apartado “Incorporación del concepto de sostenibilidad” en el capítulo IV).
- En la remediación verde se consideran todos los efectos ambientales de la implementación de la remediación y se incorporan opciones para maximizar el beneficio ambiental neto de las acciones de limpieza (EPA, 2008; r3 Environmental Technology, 2014).

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de J. Arranz-González y otros, *Glosario técnico en materia de gestión de pasivos ambientales mineros*, Madrid, Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI), 2020; Congreso de la República del Perú, “Aprueban criterios para la gestión de sitios contaminados: decreto supremo N° 012-2017-MINAM”, *El Peruano*, Lima, 2 de diciembre de 2017; Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), *Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites*, Cincinnati, 2008; r3 Environmental Technology, “Remediación sostenible”, Bogotá, 2014 [en línea] <http://www.r3environmental.com.co/es/servicios/remedacion-sostenible.html>; A. Lindell, *Revitalización urbana de sitios contaminados a través de ejemplos en México*, Ciudad de México, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2009; Ministerio de Salud de Costa Rica/Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica, *Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos*, San José, 2018; Presidencia de la República de México, *Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, Ciudad de México, 2006.

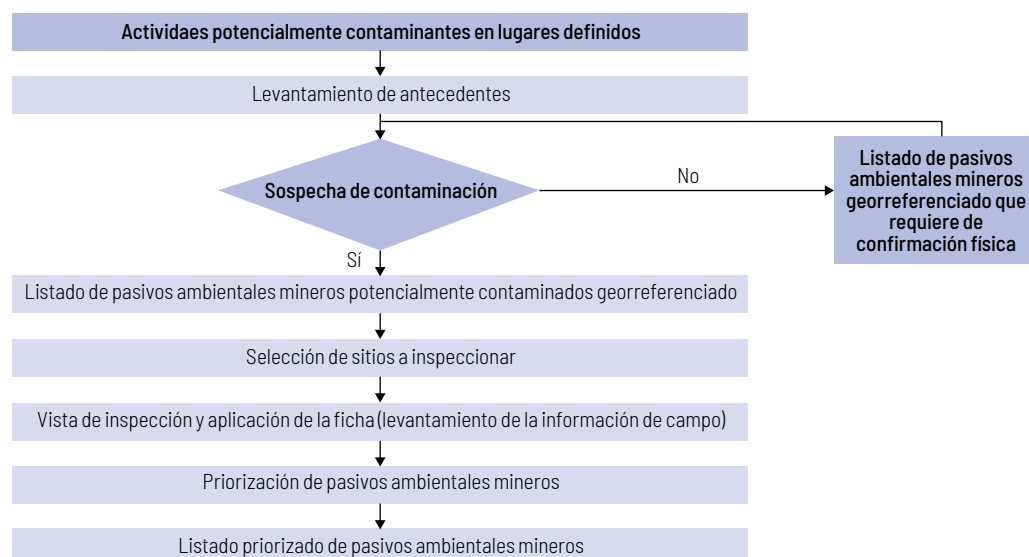
6. Construcción de registros en función del riesgo

La priorización de los pasivos ambientales mineros se ha llevado a la práctica mediante la construcción de registros o catastros de pasivos ambientales mineros en varios países de la región, como Chile (SERNAGEOMIN, 2019), el estado de São Paulo en el Brasil (CETESB, 2023), el Estado Plurinacional de Bolivia (Terán, 2017), México y el Perú (MINEM, 2023). Por lo general, se manejan criterios enfocados al riesgo (en este caso, el riesgo potencial o preliminar; véase el apartado “Marcos de gestión de pasivos ambientales mineros basada en riesgos”).

Si bien el proceso de identificación, registro y priorización de sitios contaminados está sujeto a las particularidades regulatorias de cada país, normalmente sigue los mismos pasos (véase el diagrama II.3).

■ Diagrama II.3

Diagrama de flujo con las etapas que deben cumplirse para lograr la identificación, el registro y la priorización de pasivos ambientales mineros



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM), *Remediación de pasivos ambientales mineros en el Perú*, Lima, 2015; J. Arranz-González y otros, *Glosario técnico en materia de gestión de pasivos ambientales mineros*, Madrid, Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI), 2020; Presidencia de la República de México, *Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, Ciudad de México, 2006; G. Petek, *Improving California's Response to the Environmental and Safety Hazards Caused by Abandoned Mines*, Sacramento, Oficina del Analista Legislativo (LAO), 2020; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), "Procedimiento de identificación y caracterización de sitios contaminados", Ciudad de México, 2017 [en línea] https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/249157/4._Procedimiento_de_caracterizacio_n_de_sitios_contaminados.pdf.

Nota: En la confirmación física se requiere que los profesionales conozcan las condiciones y características fisicoquímicas del entorno donde se ubica la fuente generadora del riesgo. Las visitas al terreno incluyen la observación de indicadores *in situ* y la descripción preliminar de muestras de campo.

7. Criterios de priorización

A partir de la información recopilada en campo, se procede a la evaluación preliminar de riesgos (véase el capítulo IV), en la que se asigna un puntaje según la probabilidad de ocurrencia de una situación o la presencia de una circunstancia con base en el juicio profesional (véanse SERNAGEOMIN, 2007; SEMARNAT, 2008; Arancibia, 2017; MINEM, 2023).

Los principales criterios de riesgo de pasivos ambientales mineros (MINEM, 2015) incluyen:

- Riesgo para la seguridad humana.
- Riesgo para la salud humana y el ambiente físico.
- Riesgo para la fauna silvestre y la conservación.

Debido a sus características físicas y geoquímicas, un pasivo ambiental minero puede convertirse en una fuente de contaminación que afecte a diferentes factores ambientales (agua, calidad del recurso hídrico, suelos y sedimentos, aire, paisaje, flora, fauna y aspectos socioeconómicos). Los criterios de evaluación están relacionados con las características del pasivo y el área de influencia, por lo que también se pueden considerar otros criterios (Arancibia, 2017):

- Vulnerabilidad biótica.
- Vulnerabilidad para el componente de zonificación.
- Vulnerabilidad socioeconómica.

Con base en la información obtenida, se construyen matrices de evaluación para cada aspecto del pasivo ambiental minero. Las matrices consideran los datos y la valoración de riesgo para cada elemento de información y criterio, lo que finalmente conduce a una evaluación global de los riesgos del pasivo ambiental minero. Esta evaluación global del riesgo preliminar permite a la autoridad determinar el orden de prioridad en los proyectos de remediación, lo cual es especialmente importante en contextos de recursos limitados. Asimismo, permite transparentar la información relativa a la ubicación y los riesgos de los pasivos, y fomentar la participación de las comunidades afectadas.

C. Aspectos legales para la gestión de pasivos ambientales mineros

La forma que adopta la gestión de pasivos ambientales mineros basada en riesgos depende de la estructura del marco jurídico y del diseño institucional que deriva de ella. En América Latina y el Caribe se distinguen dos principales diseños de gestión ambiental⁵:

⁵ Se entenderá por "gestión" a los trámites y procedimientos administrativos mediante los cuales se autorizan los diversos instrumentos ambientales, como la aprobación de estudios y planes de remediación de pasivos ambientales mineros que lleva a cabo la autoridad competente.

- i) **Sectorializados:** como en Colombia o el Perú, la autoridad ambiental nacional o federal formula las políticas y las normas, mientras que el ministerio nacional o federal de cada sector se encarga de la gestión ambiental de los pasivos ambientales mineros (por ejemplo, los trámites relacionados con la evaluación de estudios técnicos), solamente en las áreas industriales y comerciales a su cargo.
- ii) **Centralizados:** la gestión de los pasivos se encuentra centralizada, ya sea a nivel federal (México) o estatal (el Brasil), en una institución ambiental que se ocupa de la gestión ambiental en todas las áreas o sectores industriales y comerciales en los que se presenten pasivos ambientales.

La determinación de quién debe asumir las obligaciones de remediación de los pasivos ambientales es un tema clave y sensible. La práctica tradicional más común está relacionada con el sistema de responsabilidad por culpa o negligencia, es decir, la responsabilidad subjetiva. Además, es posible optar por la modalidad de responsabilidad estricta, por riesgo u objetiva. En este caso, no será necesario probar la actuación dolosa del generador del pasivo ambiental, sino solo su titularidad con respecto a la actividad que originó el riesgo y, por consiguiente, el daño producido (véase el recuadro II.3).

Existen otras alternativas incluidas en normas especiales que obligan al propietario del inmueble que genera el riesgo a adoptar las medidas correspondientes para evitarlo. A nivel internacional, se ha favorecido la opción de responsabilidad por riesgo para asignar responsabilidades en la remediación de los pasivos ambientales.

■ Recuadro II.3

Sistemas de responsabilidad civil extracontractual

En la **responsabilidad subjetiva**, también conocida como responsabilidad por culpa o negligencia, se considera responsable a quien causa el daño, siempre y cuando haya actuado con culpa o dolo.

A partir de la conceptualización moral de la culpa según la doctrina y jurisprudencia medieval, la obligación de reparación se justifica en el actuar reprochable del causante del daño. Sin embargo, en el siglo XIX los primeros códigos civiles europeos, influenciados por la filosofía liberal y económica, consignan lo que será un principio de carácter general: “no debería haber responsabilidad sin culpa”. De este modo, el Código Civil francés, desde 1804, estableció el principio de la culpa para la imputación de responsabilidad, principio que fue seguido por la codificación civil del siglo XIX. Además, el criterio informante de la culpa fue adoptado en 1865 por el Código italiano, en 1889 por el Código español y, en el caso de Iberoamérica, en 1852 por el Código peruano, en 1855 por el Código chileno y en 1869 por el Código argentino.

Resulta interesante observar que, a fines del mismo siglo XIX, la jurisprudencia francesa en materia de responsabilidad extracontractual dio un notable giro al introducir una variante de la responsabilidad subjetiva o basada en la culpa. Esta nueva perspectiva se centró en la responsabilidad fundada en el riesgo del uso de artefactos peligrosos, que establecía, bajo ese criterio, la obligación indemnizatoria basada en el hecho objetivo del daño causado. En la misma línea, en el Código Civil alemán se atenuó el criterio de la culpa, se dio preponderancia al daño y se adoptó un conjunto de disposiciones generales para su resarcimiento, lo que condujo a la elaboración del criterio objetivo de responsabilidad basado en el daño a partir de un nexo causal.

En la **responsabilidad objetiva**, también conocida como responsabilidad por riesgo o estricta, se establece la obligación de reparar todos los daños que se produzcan en el ejercicio de una actividad, cualquiera sea la diligencia empleada, es decir, sin importar los cuidados que haya seguido quien la lleva a cabo, porque su responsabilidad se fundamenta en el ejercicio de dicha actividad.

Este tipo de responsabilidad se diferencia técnicamente de la responsabilidad subjetiva en que no exige negligencia del autor del daño. Además, esta nueva versión de la responsabilidad queda configurada por la relación causal entre el hecho cometido por el demandado y el daño sufrido por el demandante, y su fundamento es el riesgo que genera quien ejerce una determinada actividad, no la omisión de los deberes de cuidado. Por lo tanto, para atribuir responsabilidades no es necesario hacer un juicio de valor con respecto a la conducta del autor del daño, basta con que el daño se produzca como consecuencia de una actividad cuyo riesgo está regulado por la ley, sometido a un estatuto de responsabilidad sin negligencia.

La idea básica de esta variante de la responsabilidad civil es que toda actividad que genere un riesgo para un tercero convierte a su autor en responsable del perjuicio que dicha actividad pueda causar, sin necesidad de demostrar culpa como origen del daño. Como expresión de un principio elemental de justicia, se espera que, desde el momento en que una persona puede obtener un beneficio para sí misma, también repare los daños que cause.

Es bien sabido que, a diferencia de la responsabilidad por culpa que puede formularse como un principio de carácter general, la responsabilidad estricta u objetiva tiene un carácter restrictivo en los casos expresamente autorizados por la legislación, que siempre responden a situaciones de anormalidad o de exposición a grandes riesgos o peligros.

La responsabilidad estricta no se aplica de manera absoluta y definitiva a la objetivación de la responsabilidad de ningún derecho, sino que se limita a determinados sectores del daño. Uno de esos sectores se relaciona con la actividad de fabricación industrial, como ocurre con los accidentes laborales, que deben regirse por reglas objetivas, y los daños causados a terceros durante la explotación de los medios de producción empresarial (explosiones, descargas eléctricas, entre otros). Asimismo, en la empresa, la producción misma es fuente de responsabilidad objetiva en caso de daños causados por defectos en los productos. Otro sector del daño en el que se aplica este tipo de responsabilidad se centra en actividades relacionadas con elementos particularmente peligrosos, o típicamente peligrosos, como armas de fuego o automóviles.

En cualquier caso, los civilistas coinciden en que, si bien la responsabilidad estricta asumió un campo de aplicación más amplio, sobre todo gracias a la creación jurisprudencial relativa al hecho de las cosas, el régimen general de responsabilidad aún hoy sigue fundado en la negligencia. Incluso décadas después del inicio de una revolución considerada inevitable, la responsabilidad por negligencia sigue siendo el régimen general y supletorio de responsabilidad en los más diversos sistemas jurídicos.

Fuente: E. Barros, *Tratado de responsabilidad extracontractual*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 2010; H. Corral, *Lecciones de responsabilidad civil extracontractual*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile, 2011; A. Cabanillas, *La reparación de los daños al medio ambiente*, Pamplona, Editorial Aranzadi, 1996; P. Le Tourneau, *La responsabilidad civil*, Bogotá, Legis Editores, 2004; F. Vidal, "La responsabilidad civil", *Derecho PUCP*, N° 54, Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), 2001.

Para evitar que se establezca esta responsabilidad, el responsable de un pasivo ambiental puede recurrir a las alternativas que le ofrece el marco jurídico procesal. En los marcos jurídicos en los que prevalece la responsabilidad objetiva, la responsabilidad de la remediación surge de la contaminación, y la autoridad competente se encarga de fiscalizar los sectores con alto potencial de contaminación para garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales. Las empresas llevan delante este proceso de manera implícita con la autoridad, de conformidad con las disposiciones de los instrumentos ambientales.

En función del desarrollo de los marcos jurídicos nacionales, se pueden encontrar en los países de América Latina y el Caribe regulaciones y esquemas de responsabilidad ambiental que complementan las normas civiles sobre daños a terceros (daños no contractuales o

extracontractuales). En materia ambiental, se suele aplicar la doctrina de la responsabilidad objetiva (o de riesgo), según la cual los daños deben ser asumidos por quienes han obtenido provecho de la actividad causante⁶. La gestión de ciertos componentes de la faena minera, como los residuos o las instalaciones (edificios) que, en algunos casos, también están contaminados, se puede complementar con otras regulaciones ambientales (por ejemplo, las regulaciones sobre residuos peligrosos o industriales). Esto es independiente de que dichos elementos se ajusten a las definiciones y, en caso de existir, den lugar a una obligación (responsabilidad objetiva) de reparación.

En la práctica, la capacidad de los Estados de reclamar la reparación por los daños ambientales se ve limitada por varios factores:

- **Determinación de los pasivos ambientales (mineros):** la formulación de las leyes ambientales relacionadas con el daño ambiental es relativamente reciente y, en algunos países, los marcos regulatorios están incompletos, lo que dificulta la comprensión de lo que se entiende por pasivos ambientales mineros en situaciones concretas.
- **Asignación de la responsabilidad:** la carga de la prueba del daño ambiental recae en casi toda la región, ya sea en los afectados o en el Estado. Sin embargo, la asimetría de información genera situaciones en las que es relativamente más sencillo para el demandado demostrar la inocuidad de sus actividades que para el demandante probar un nexo de causalidad entre estas actividades y el daño ambiental. No obstante, según los conceptos de inversión de la carga de la prueba y carga dinámica de la prueba, en los procedimientos ordinarios se aplica la regla general que consiste en imponer a la parte que alega un hecho o acto la responsabilidad de probarlo. Cuando se invierte la carga de la prueba, la obligación de probar la existencia o inexistencia del daño ambiental pasa del demandante al demandado. Por otro lado, al aplicar la carga dinámica, la responsabilidad recae en la parte que se encuentra mejor posicionada para probarla o refutarla, teniendo en cuenta su situación, sus conocimientos o sus capacidades especiales en el caso en cuestión. Por ejemplo, en el Ecuador se ha invertido el esquema de carga de la prueba y son los responsables de las actividades que causan daño ambiental quienes deben demostrar que su actividad no ha causado el daño (véase el artículo 397 de la Constitución de la República del Ecuador; Asamblea Constituyente del Ecuador, 2008). A medida que pasa el tiempo después del cierre del sitio, se vuelve cada vez más improbable que los contaminadores sean legalmente responsables de la contaminación y del costo de remediación relacionado (OMS, 2021b). En algunas ocasiones, incluso es posible que no quede claro quién fue el responsable de la generación del pasivo ambiental minero (véase el punto siguiente).

⁶ En lo referido a la prestación de servicios públicos, se ha determinado en distintos litigios la existencia de la responsabilidad objetiva del Estado por los daños derivados de sus actividades (por ejemplo, fallas en los servicios eléctricos; Crespo, 2008; Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2017).

- **Responsabilidad por sitios huérfanos:** si una empresa privada generó el pasivo ambiental minero antes de la entrada en vigor de las leyes pertinentes, si esta empresa no existe más como persona jurídica o si el sitio ha pasado a ser propiedad de terceros, el Estado puede, en algunos casos, convenir o litigar con las empresas que los causaron. Si se agotan las instancias procesales necesarias para determinar que un sitio está efectivamente abandonado o es huérfano y no se puede establecer una responsabilidad ni siquiera en el marco de la responsabilidad solidaria⁷, el Estado tendrá que asumir la responsabilidad debido a una causa de interés público. Una ley “del buen samaritano” que limite la responsabilidad asumida voluntariamente puede incentivar a terceros a encargarse de la remediación del sitio (ISO, 2023a).
- **Minería ilegal:** aún no se ha tratado de manera completa la prevención de actividades mineras ilegales, con todas las consecuencias ambientales y sociales que acarrearán. El Estado también debe hacerse cargo de los sitios abandonados.

D. Estrategias de financiamiento para la remediación de pasivos ambientales mineros

Existen pocos mecanismos financieros disponibles para los programas de remediación (De Las Casas, 2019; véase el cuadro II.3). Los distintos puntos de vista al respecto y la falta de marcos conceptuales impiden alcanzar una definición y medición del problema y, por consiguiente, una cuantificación de los recursos que se necesitan para llevar a cabo las actividades de reparación. En algunos países de la región, ciertos factores como inseguridad, ineficiencia institucional, poco espacio fiscal y escasa voluntad para comprometer recursos financieros propios también desaniman a los donantes e inversionistas extranjeros. Aún no se dispone de suficientes fondos internacionales que cubran las fases de cierre y poscierre (ACNUDH, 2022), y es preciso generar más interés en la percepción internacional (Banco Mundial, 2005).

Los Gobiernos de la región han aportado la mayor parte de los recursos destinados a la remediación de pasivos ambientales mineros. La escasez de incentivos de inversión para el sector privado hace que los costos de remediación recaigan sobre los presupuestos públicos como única alternativa para remediar el sitio (OMS, 2021b)⁸.

En este contexto surge el concepto financiero de pasivos contingentes implícitos, que se refiere a los desembolsos del gobierno que no son reconocidos oficialmente hasta que el riesgo existente se materializa. Por lo expuesto anteriormente, si no se lleva a cabo una remediación, se sumaría un componente de incertidumbre al monto que el gobierno debería desembolsar por los daños causados por el pasivo ambiental minero. Esto podría dar lugar a un apoyo financiero que supere ampliamente la obligación legal del gobierno (véase Polackova, 2000).

⁷ De conformidad con lo que se establece en la responsabilidad solidaria, un ente que comparta la responsabilidad por la existencia de un pasivo ambiental minero asumirá la plena responsabilidad en ausencia de los demás entes corresponsables.

⁸ Es aún más difícil movilizar recursos para remediar áreas contaminadas situadas en zonas de bajo valor económico.

■ Cuadro II.3

Selección de posibles fuentes de contribución a la remediación de pasivos ambientales mineros

Forma de financiamiento	Instrumento	Comentario
Pública	Presupuesto general	<p>El centro administrativo financia las obras de remediación cuando las autoridades regionales o locales no disponen de los recursos suficientes.</p> <p>Los recursos destinados a la remediación dependen de las actuales prioridades políticas y de la coyuntura macroeconómica. Se externalizan los costos de la remediación al conjunto de la sociedad.</p>
	Fondos asignados a la remediación de pasivos ambientales mineros	<p>Las consignaciones de recursos basadas en marcos multianuales proporcionan más seguridad a corto plazo frente a las circunstancias políticas y económicas. Los fondos se pueden manejar a nivel del Estado federal (por ejemplo, la Ley de Responsabilidad, Indemnización y Respuesta Ecológica Global de los Estados Unidos o el Plan de Acción de Sitios Federales Contaminados del Canadá), estatal o provincial (por ejemplo, el Fondo de Rehabilitación Minera en Australia Occidental).</p> <p>El gravamen sobre la industria (como en Australia Occidental) adopta la forma de regalías mineras, impuestos sobre las ventas futuras y multas incautadas por órganos regulatorios, y supone una vía de ingresos alternativa o complementaria a los fondos públicos.</p>
Mixta o privada	Financiamiento internacional	<p>Los gobiernos nacionales pueden solicitar préstamos reembolsables y no reembolsables, así como cooperación técnica ante instituciones internacionales y agencias de desarrollo extranjeras (por ejemplo, el Fondo Nórdico de Desarrollo).</p> <p>Los objetivos y el diseño de los programas manejados por agentes externos determinan la disponibilidad de los recursos. Se pueden buscar líneas de financiamiento para proyectos de remediación (por ejemplo, el préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo a la Argentina en 2015 y el préstamo del Banco Mundial a Zambia en 2017) y de capacitación de las autoridades responsables (por ejemplo, el préstamo del Banco Mundial al Perú en 2010; la contribución del Gobierno de la República de Corea al Perú para los años 2021-2025).</p> <p>La oferta de financiamiento internacional sigue siendo escasa y suele orientarse hacia países de ingreso bajo. El establecimiento de un nexo entre los pasivos ambientales mineros y la adaptación al cambio climático, así como su mitigación, liberaría más recursos (por ejemplo, el Fondo Verde para el Clima, el Fondo de Adaptación).</p>
	Fondos de inversión	<p>Los réditos de los fondos pueden cubrir los desembolsos para la remediación. Sin embargo, se requiere una buena gestión de los fondos a largo plazo. Es importante considerar el riesgo financiero.</p>
	Mercados financieros	<p>Los bonos verdes soberanos se pueden direccionar como créditos blandos, subsidios y financiamiento para proyectos de remediación (Banco Mundial, 2015). Los dueños reconocidos y los inversionistas externos también pueden emitirlos directamente para estos fines, pero pueden verse limitados por su capacidad crediticia.</p>

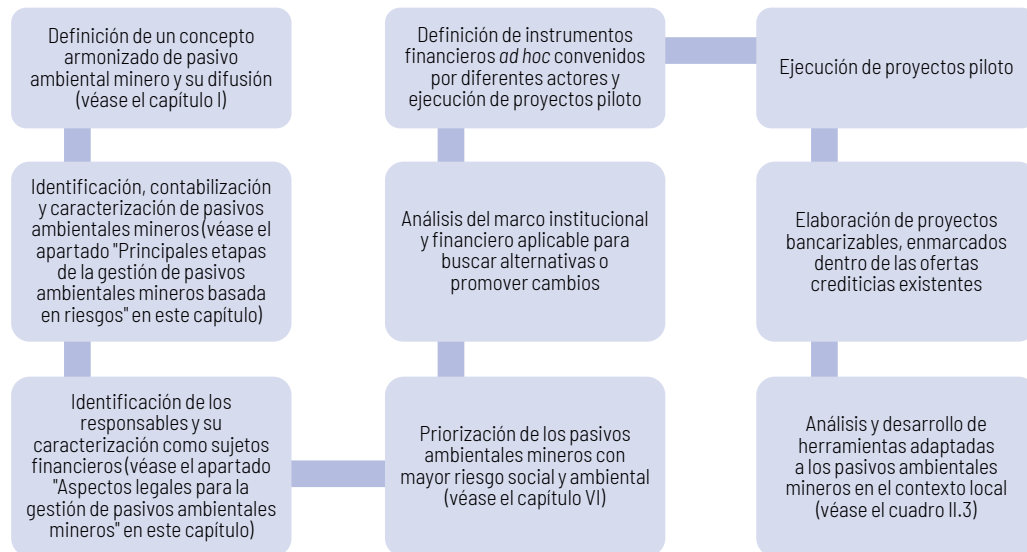
Forma de financiamiento	Instrumento	Comentario
Mixta o privada	Capital propio	<p>El capital privado permite financiar iniciativas que presenten oportunidades de negocio (por ejemplo, agregado de valor inmobiliario), planes de remediación que generen espacio para la minería secundaria (por ejemplo, mediante lixiviación de cobre en Lo Aguirre; Bongaerts, Casals y Domsch, 2018) y actividades deportivas y culturales, entre otros. Estos proyectos pueden considerarse bancables y elaborarse junto a los eventuales inversionistas (véase el apartado "Identificación de las partes interesadas" más abajo en este capítulo).</p> <p>Las garantías para el cierre y poscierre (como las que se aplican en Chile, el Ecuador o incluso mediante grupos (<i>pools</i>) de garantía que unen empresas de diferentes tamaños, suscritos o no por el Estado en el Perú) comparten riesgos vinculados con la implementación del proyecto (por ejemplo, en el Estado Plurinacional de Bolivia y los Estados Unidos). Además, las provisiones contables pueden despertar el interés de los inversionistas (por ejemplo, el incentivo fiscal para la amortización de terrenos contaminados (<i>Brownfields Expensing Tax Incentive</i>) en los Estados Unidos). Los pasivos ambientales mineros de alta complejidad o incluso ciertas zonas geográficas quedan fuera del interés de los inversionistas privados.</p>
	Contribución voluntaria	<p>Las empresas no solo pueden aportar recursos financieros, sino también servicios, mano de obra, equipo, alojamiento y transporte aéreo y marítimo (como el fondo creado para contribuir a la restauración de sitios de exploración minera abandonados (<i>Fonds Restor-Action-Nunavik</i>) en el Canadá).</p>

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de *Minería Chilena, "PAM: ideando mecanismos de financiamiento"*, Santiago, 2013; C. De Miguel y M. Pereira, "Pasivos ambientales mineros: retos para la sostenibilidad", *La bonanza de los recursos naturales para el desarrollo: dilemas de gobernanza*, Libros de la CEPAL, N° 157 (LC/PUB.2019/13-P), R. Sánchez (ed.), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2019; Gobierno del Perú, "Corea apoyará a Perú en proyecto de remediación de pasivos ambientales mineros", Lima, 2 de julio de 2021 [en línea] <https://www.gob.pe/institucion/apci/noticias/503960-corea-apoyara-a-peru-en-proyecto-de-remediacion-de-pasivos-ambientales-mineros>; J. Clerc, "Mecanismos de financiamiento para la remediación de PAMs", Santiago, E2BIZ/Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022 [en línea] https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/jacques_clerc.pdf; Organización Internacional de Normalización (ISO), *Mine closure and reclamation - Managing mining legacies - Part 1: requirements and recommendations*, Ginebra, 2023.

La participación del sector privado ofrece varios beneficios: i) reducir los costos; ii) fomentar la innovación, y iii) incrementar la efectividad. Al mismo tiempo, conlleva riesgos de contratos incompletos o incumplidos. No obstante, cada vez más empresas mineras de la región asumen compromisos ambientales que se extienden hasta las fases de cierre y poscierre (Grupo de Trabajo "Acceso a la información de certificaciones mineras", 2022; Dufey y Zamorano, 2023). La elaboración de estrategias nacionales para la remediación depende fundamentalmente de los marcos normativos vigentes (véase el diagrama II.4). Es preciso que los Estados fomenten la transparencia y faciliten datos pertinentes. Los proyectos respaldados por datos y proyecciones sólidas, que se apoyan en el análisis de la relación costo-beneficio, así como en formas de financiamiento escogidas de acuerdo con la naturaleza del proyecto, tienen mayores probabilidades de atraer capital privado. Además, pueden estimular contribuciones en especie por parte de los inversores (como mano de obra, equipo y transporte) y convencer a donantes internacionales.

■ Diagrama II.4

Etapas de la elaboración de una estrategia de financiamiento



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Es imprescindible que los países eviten generar nuevos pasivos ambientales mineros, y para lograrlo, es necesario establecer leyes y normas específicas relacionadas con el cierre de faenas mineras. En línea con las buenas prácticas internacionales, se puede responsabilizar a las empresas operadoras por las fases de cierre y poscierre otorgándoles la licencia o autorización ambiental antes de que comience la producción, con la condición de que dispongan de un plan de cierre aprobado. Las empresas pueden depositar una garantía en un fondo fiduciario (establecido por el Estado o por el mismo sector minero) para mantener los fondos de remediación separados contablemente del resto de sus recursos financieros. También pueden aportar un bono al Estado, que luego cubrirá los reembolsos necesarios. Las estimaciones de costos deberían actualizarse periódicamente para garantizar que sigan siendo realistas.

E. Participación de las partes interesadas

La identificación y el análisis de las partes interesadas es sumamente importante porque estas influirán en gran medida en los objetivos incorporados al proyecto de remediación. Entre los beneficios de la participación comunitaria se incluye, desde el punto de vista de la gestión del proyecto de remediación, un mejor acceso a la información local e histórica, que puede conducir a una caracterización más precisa de las vías de exposición debidas al comportamiento humano. Las partes interesadas también aportan datos valiosos sobre las poblaciones y los grupos de interés que se verán directamente afectados por el proyecto.

Además, la aceptación del proyecto de remediación y la participación en él responden a la consideración de las necesidades e inquietudes de los miembros de la comunidad, con lo cual se generan oportunidades para aumentar la participación comunitaria en el uso futuro del sitio y se minimizan posibles conflictos, ahorrando tiempo y recursos financieros (Velásquez, 2012; Chappuis, 2020; véase el apartado “Participación de las comunidades locales” a continuación). Finalmente, cuando se determinen los impactos que podrían tener en la comunidad las alternativas de los proyectos de remediación, se debe tener en cuenta que algunos sectores de la población pueden soportar diferentes cargas de exposición, así como distintos efectos en la salud ambiental, causados por la liberación real o potencial de sustancias peligrosas (EPA, 2020; véase el capítulo VI).

1. Identificación de las partes interesadas

En el contexto de los proyectos de remediación de pasivos ambientales mineros, las partes interesadas son los agentes económicos diferenciados que se relacionan de alguna manera con esos proyectos, ya sea a través de los problemas que generan los pasivos ambientales mineros originados por el proyecto o a través de las alternativas de proyectos que se configuren para la remediación. Es otras palabras, las partes interesadas son todos aquellos agentes que afectan o se ven afectados por pasivos ambientales mineros o sus alternativas de remediación, y que pueden influir en las actividades asociadas exitosas o fallidas (véase el cuadro II.4 y Bourne, 2016).

■ Cuadro II.4

Principales partes interesadas en proyectos de remediación de pasivos ambientales mineros

Grupo de partes interesadas	Relación o importancia de la inclusión
Estado (gobierno)	Define y promueve sus intereses económicos y ecológicos nacionales. Se establecen objetivos encaminados a la remediación del sitio, la protección de las aguas subterráneas y la adopción de medidas para asegurar el orden, así como a la reducción de la afectación de áreas verdes.
Propietario del sitio	Busca comercializar la superficie en óptimas condiciones y, por lo tanto, lo hace al precio más elevado posible. Sus intereses no están necesariamente ligados a la reutilización sostenible del sitio.
Organismo estatal sectorial minero (Ministerio de Minería o dependencia fiscalizadora)	Aporta antecedentes del pasivo ambiental minero, su emisor inicial, estudios realizados y normativas atinentes.
Organismo estatal de sectores de actividad en la zona (como el Ministerio de Agricultura)	Aporta información sobre daños y riesgos para la producción sectorial respectiva.
Entidades reguladoras	Velan por el cumplimiento de las normativas vigentes.
Empresa responsable del origen del pasivo ambiental minero (si se conoce y existe)	Aporta antecedentes del pasivo ambiental minero e información que posiblemente no esté registrada.

Grupo de partes interesadas	Relación o importancia de la inclusión
Empresa con concesión minera en la zona	Puede asumir el papel de potencial remediador voluntario.
Inversionistas	Tratan de aumentar la rentabilidad (productividad) del sitio, pero en general, no desean asumir ningún riesgo adicional imprevisto respecto a su uso anterior.
Municipios	Buscan proyectos de reutilización o revitalización de superficies con intereses económicos prioritarios, que favorezcan la creación de asentamientos humanos operativos, generen empleo y tengan la perspectiva de aumentar ingresos a sus arcas.
Ministerio de Salud	Brinda información sobre daños y riesgos para la salud de la población.
Comunidades locales	Aportan información sobre daños y riesgos para la producción sectorial respectiva. Sufren asimismo los efectos económicos, sociales y ambientales negativos de los pasivos ambientales mineros y se ven directamente afectadas por la remediación.
Población en riesgo	Constituyen grupos afectados y vulnerables (diferenciados).
Organizaciones ambientales	Aportan información relacionada con las alternativas de remediación y recopilan datos específicos en la zona.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de A. Bezama y otros, "Application of a balanced scorecard system for supporting decision-making in contaminated sites remediation", *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 181, Berlín, Springer, 2007.

2. Fomento de la participación de las partes interesadas

Una vez identificadas, se alienta a las partes interesadas a comunicarse y conocerse para compartir y comprender mejor sus intereses, con el fin de determinar los objetivos que desean cumplir y los plazos para su consecución, su nivel de compromiso y los planes y las acciones que repercutirán en sus objetivos. Además, pueden repensar sus estrategias y actividades, lo que les generaría beneficios a largo plazo (Taylor y otros, 2019).

En el proceso de participación de las partes interesadas se incluye la elaboración de algunos instrumentos que permitirán gestionar dicha participación:

- Un **plan de participación de las partes interesadas** es una estrategia formal de comunicación con los actores o las partes interesadas del proyecto que busca lograr su apoyo al proyecto y especificar la frecuencia y el tipo de las comunicaciones, los medios, las personas de contacto y las ubicaciones de los eventos de comunicación (véase el recuadro II.4). El plan se prepara al comienzo del proyecto y se actualiza con frecuencia a medida que cambian las necesidades de comunicación de las partes interesadas (Roseke, 2019). Este documento permite que el ejecutor de la remediación y las autoridades tomen conciencia de las actividades que se llevarán a cabo (o no), de los riesgos que se deben reducir y de la forma de interactuar con las demás partes.

■ Recuadro II.4

Elaboración del plan de participación de las partes interesadas

El plan de participación de las partes interesadas puede contener los siguientes elementos:

Lista de partes interesadas o integrantes. El primer paso es clasificar a las partes interesadas en grupos definidos como partidarios u opositores al proyecto, o dividirlos en:

- Hacia arriba (por ejemplo, los responsables del pasivo ambiental minero).
- Hacia los lados (por ejemplo, los reguladores y las comunidades).
- Hacia afuera (por ejemplo, otros proyectos que compiten por recursos limitados).
- Hacia abajo (por ejemplo, el equipo del proyecto, los proveedores y los contratistas).

Es crucial no pasar por alto a ningún actor. Todos pueden tener la capacidad de ralentizar el proyecto si no se los incluye o si se aplica una mala estrategia de comunicación con ellos.

Fase del proyecto. Algunas partes interesadas participarán solo en una determinada fase del proyecto.

Nombres de contacto de las partes interesadas. Es importante mantener contacto con las personas adecuadas. En una comunidad, pueden ser los representantes o las personas de mayor influencia. En el caso de oficinas gubernamentales, son los principales tomadores de decisiones.

Áreas de influencia. Se analizan las motivaciones y los intereses de los actores, y se evalúa de qué manera estos intereses se superponen o interfieren en el proyecto. Es fundamental describir claramente las necesidades y los deseos de las partes interesadas.

Poder. Un análisis del poder de las partes interesadas complementa la evaluación previa de sus áreas de influencia. Cada actor tiene una capacidad única para detener o cambiar el proyecto. Es imprescindible describir el alcance y el origen de la influencia de las partes interesadas y, en ciertas ocasiones, de qué manera el poder de un actor puede eliminarse o modificarse. El éxito del proyecto depende en gran medida de mantenerlos informados de forma permanente.

Enfoque de compromiso. La estrategia de participación de los actores interesados se debe describir en detalle. Esto implica registrar el tipo y la frecuencia de las comunicaciones (como correos electrónicos semanales, llamadas telefónicas mensuales o reuniones semanales cara a cara) y dar a conocer su contenido (por ejemplo, mediante informes semanales que incluyan el progreso del proyecto, la información de diseño y los planes de puertas abiertas).

Participación de las partes interesadas. Las necesidades de comunicación de las partes interesadas se detallan en función del análisis de poder e influencia, especificando el tipo de comunicación y su frecuencia.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de A. Taylor y otros, "Five-step approach to stakeholder engagement", *Reports*, San Francisco, Business for Social Responsibility (BSR), 29 de abril de 2019; Youmatter, "Stakeholder engagement - meaning, definition & strategies", París, 1 de octubre de 2018 [en línea] <https://youmatter.world/en/definition/stakeholder-engagement-meaning-definition-and-strategies/>.

- Un **concepto de propiedad o usufructo del sitio** para que la comunidad lo utilice. El concepto incluye:
 - La identidad del propietario del sitio.
 - El listado de los predios que conforman todo el sitio afectado por el pasivo ambiental minero.

- Los trámites y las condiciones para transferir el sitio a los usuarios finales o a las autoridades locales.
- Las condiciones de uso del sitio.
- Las obligaciones que recaerán sobre ese usuario en relación con el sitio (por ejemplo, la solución jurídica al problema de la propiedad o el usufructo de los predios que componen el pasivo ambiental minero). El concepto abarca la futura propiedad del sitio, la entidad que lo explotará y de qué manera, así como las obligaciones que podría asumir la comunidad al convertirse en propietaria o usufructuaria.

Este concepto se materializa al identificar los datos de los predios y sus propietarios en el registro público de la propiedad, determinando la forma más adecuada para la transmisión de la propiedad o el uso del sitio. Para ello, se requiere de la participación de expertos en asuntos jurídicos y civiles. Asimismo, es posible que sea necesario consultar con las autoridades locales para verificar el estado de pago de las contribuciones al municipio o al gobierno competente del lugar donde se encuentre el sitio. También se debe identificar si el sitio está al corriente en el pago de otro tipo de obligaciones federales o nacionales.

- Un **concepto de gestión del uso futuro del sitio** que describe los derechos y las obligaciones de las partes interesadas que operarán en el sitio (por ejemplo, pequeña central fotovoltaica, uso agrícola o ganadero). Una definición clara de las obligaciones (como el mantenimiento menor de terraplenes, taludes, cubiertas y caminos) de la comunidad a cambio del usufructo del sitio proporciona un esquema de costos reducidos y contribuye a mejorar la tasa de retorno del proyecto y aumentar su sustentabilidad a largo plazo.

La celebración de un contrato entre el propietario del sitio (por ejemplo, el gobierno) y los beneficiarios (como la comunidad) es una manera adecuada de definir las obligaciones de mantenimiento de los beneficiarios y del propietario. Además, puede incluir las contraprestaciones por los servicios que brinde el proyecto de uso futuro (SENER/FSUE/FIDE, 2017; por ejemplo, la comunidad se convertirá en usuaria del sitio, con sus correspondientes derechos y obligaciones, y se beneficiará de una contribución económica del Estado destinada a cubrir los costos de mantenimiento).

3. Participación de las comunidades locales

Las comunidades locales participan cada vez más en la toma de decisiones sobre los asuntos ambientales que las puedan afectar, aunque todavía no lo hacen de forma consistente y suficiente. En el plano internacional, el Acuerdo de Escazú establece las disposiciones que deben regir en los países que lo han ratificado el acceso a la información ambiental y el proceso de participación pública en la toma de decisiones sobre asuntos ambientales (véase CEPAL, 2022a; en particular, los artículos 5.2, 6.3 y 7.2). A su vez, la guía de implementación del Acuerdo expone los antecedentes de su proceso de adopción y destaca los temas transversales que lo caracterizan (la conexión con los derechos humanos, la atención a personas

y grupos en situación de vulnerabilidad y el vínculo con los derechos de acceso en asuntos ambientales, entre otros)(CEPAL, 2022b). El acuerdo contribuye a lograr la licencia social. Por su parte, el Convenio sobre Pueblos Indígenas y Tribales, 1989 (núm. 169) de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) busca obtener un consentimiento libre, previo e informado.

Al mismo tiempo, y en relación con lo anterior, los marcos jurídicos y las sentencias en América Latina hacen cada vez más hincapié en los derechos de las comunidades afectadas y en la obligación de las autoridades de atenderlas. Por ejemplo, en el Perú existen reglamentos vinculados con la elaboración de proyectos de inversión pública enfocados en la remediación de pasivos ambientales mineros, que buscan empoderar a las comunidades en el proceso de toma de decisiones y en las labores de mitigación y monitoreo a largo plazo, fomentar la transparencia en las comunicaciones y promover la participación ciudadana en el área de influencia del pasivo ambiental minero (artículo 13 del decreto supremo núm. 059-2005-EM) (Chappuis, 2020). Finalmente, la participación representa una salvaguarda jurídica con respecto a los derechos humanos de los integrantes de una comunidad afectada^{9 10}.

El proceso de participación se rige por el plan de participación de la comunidad, que debería utilizar un enfoque que se “adapte a las necesidades específicas y únicas de la comunidad en particular donde se están implementando las actividades” (EPA, 2020, pág. 16; véase el diagrama II.5). El plan de participación de la comunidad se elabora mediante entrevistas con la comunidad. Estas permiten identificar las necesidades, preocupaciones y expectativas de los miembros y grupos que conforman la comunidad local relacionada con el sitio, así como los medios a través de los cuales la comunidad obtiene información relativa al sitio y la forma en que prefiere recibirla. En estas entrevistas, la comunidad puede ayudar a determinar los usos pasados, las prácticas u otro historial del sitio, como los insumos necesarios para la investigación del sitio y la evaluación de riesgos. Se debería prestar especial atención a la mejora de las relaciones con los grupos indígenas (OIT, 1989; ISO, 2023a).

Debido a razones geográficas, socioeconómicas y socioculturales, es posible que existan barreras que impiden la participación efectiva de algunos grupos de la comunidad local. Las barreras más típicas incluyen: i) falta de disponibilidad de recursos y de acceso a ellos

⁹ En la sentencia del amparo en revisión 640/2019 de la Segunda Sala de la Suprema Corte de Justicia de la Nación en México (SCJN, 2020, págs. 48 y 49), se señala en el numeral 103 que: “si bien es cierto que, conforme a la normativa aplicable, en el desarrollo del procedimiento administrativo de inspección y vigilancia no se da intervención a las personas físicas habitantes de la comunidad adyacente al daño ocasionado al ambiente o a aquellas directamente afectadas, también lo es que de conformidad con lo dispuesto en los artículos 1, 4, quinto párrafo, 6 y 35, fracción III, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; 11 del Protocolo Adicional a la Convención Americana sobre Derechos Humanos en Materia de Derechos Económicos, Sociales y Culturales “Protocolo de San Salvador”; 25, inciso a), del Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos; 13, numeral 1 y 23, numeral 1, inciso a), de la Convención Americana Sobre Derechos Humanos, debió consultarse y darse participación a los quejosos no solo en los convenios administrativos previstos en el artículo 168 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, sino también en aquellos actos emitidos por la autoridad administrativa que tuvieran por objeto la reparación y compensación de los daños ocasionados al ambiente, específicamente los relacionados con el cumplimiento de las medidas correctivas impuestas en la resolución con que concluyó el mencionado procedimiento administrativo”.

¹⁰ Se destacan el curso “Minería con las personas” elaborado por la Federación Iberoamericana del Ombudsman (FIO), la CEPAL y la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y el documento titulado “Recomendaciones para la incorporación del enfoque de derechos humanos en la evaluación de impacto ambiental de proyectos mineros” (FIO/CEPAL/GIZ, 2020). Véase Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), “Curso ‘Minería con las personas’” [en línea] <https://observatoriop10.cepal.org/es/capacitacion/curso-mineria-personas>.

(específicamente, financiamiento y personal) para llevar a cabo las actividades necesarias a largo plazo; ii) mala o poca coordinación entre las instituciones gubernamentales a varios niveles y las instituciones de representación de la comunidad (indígena o no); iii) diferencias lingüísticas y culturales; iv) identificación y formación de coaliciones entre los líderes locales; v) falta de reconocimiento entre las comunidades y las personas de su condición de parte interesada, y vi) falta de confianza entre los miembros de la comunidad, las instituciones reguladoras y las industrias reguladas (EPA, 2020).

■ Diagrama II.5

Elementos constitutivos del plan de participación de la comunidad

Descripción del sitio
Se resume la historia pertinente, el tipo y el alcance de la contaminación, los riesgos para la salud humana, las exposiciones y las preocupaciones ambientales.
Descripción de la comunidad
Se recoge información sobre la población y la estructura del gobierno local, y datos sobre los subgrupos con preocupaciones de justicia ambiental, así como sobre las prácticas y las características étnicas y culturales.
Estrategia de comunicación
Se definen los objetivos y las metas de comunicación, las partes interesadas y sus preocupaciones, los mensajes a transmitir y la información a recopilar, así como los posibles métodos de comunicación (medios tradicionales y nuevos) y de retroalimentación. Se recomienda mantener una coordinación con otros actores gubernamentales. La estrategia debería fomentar la confianza y el diálogo constructivo, y modelar un trabajo en equipo excepcional.
Necesidades, preguntas y preocupaciones de la comunidad
Se detallan las expectativas y las necesidades clave propias de la comunidad (como servicios de traducción y discapacidad) o los comportamientos, las costumbres y los valores culturales únicos. El riesgo se ha de comunicar de manera eficaz e inteligible. Se explica a los miembros de la comunidad la recopilación y la posible divulgación de información de identificación personal.
Asistencia técnica
Se refiere a los programas y servicios que brindan asistencia técnica a las comunidades con el objetivo de promover las capacidades necesarias para formar parte del proceso de participación.
Plan de acción
Se describe el objetivo y la intención de cada actividad y la secuencia prevista de hitos del proyecto (con plazos estimados, si es posible) en un cronograma con actividades de divulgación y mecanismos de participación. Se toman en cuenta los recursos disponibles, el conocimiento del sitio y las necesidades de la comunidad afectada.
Servicios y enfoques especiales para atender necesidades únicas
Se identifican y ponen en marcha instrumentos adicionales según las necesidades locales, como un grupo asesor comunitario (un grupo de trabajo compuesto por miembros de la comunidad y otras partes interesadas afectadas por el sitio), mecanismos de facilitación y documentos informativos.
Mecanismos para procesar comentarios
Las sugerencias o los comentarios se reciben en foros públicos formales o informales y en reuniones comunitarias, y se tienen en cuenta antes de emitir el plan final de remediación. Se evalúan y atienden las preocupaciones relacionadas con la justicia ambiental, así como las opiniones expresadas sobre futuras posibilidades de uso de la tierra que se anticipan de manera razonable.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), *Superfund Community Involvement Handbook*, Washington, D.C., 2020.

Cuando sea oportuno, el plan de participación de la comunidad deberá reconocer esta realidad y aportar soluciones. Al contar con la participación de la comunidad afectada, es esencial lograr los siguientes hitos:

- **Consulta y participación de la comunidad afectada.** Es necesario que se lleven a cabo desde el principio del proyecto para identificar sus preocupaciones con respecto a la salud y los posibles daños a sus bienes y a los servicios públicos (agua potable o restricciones en el uso del sitio contaminado; véase el recuadro II.4). La comunidad puede reclamar la eliminación completa de los contaminantes, pero no siempre es una solución económicamente viable. Es esencial mantener la comunicación durante la fase de preparación del proyecto, ya que permite establecer una asociación entre las soluciones y los beneficios esperados en la comunidad, y determinar las soluciones que corresponden en mayor medida a esos beneficios, teniendo en cuenta las limitaciones técnicas y económicas.
- **La comunidad acepta el proyecto.** Entiende plenamente los beneficios del proyecto y sus consecuencias para su calidad de vida. Esto significa que los antecedentes del proyecto se han comunicado adecuadamente y que la autoridad lo gestiona de forma transparente, minimizando los riesgos para la comunidad.
- **La comunidad se apropia del proyecto.** Observa de qué manera el sitio remediado podrá integrarse en su vida cotidiana, las funciones y los servicios que brindará y la forma en que la comunidad podrá utilizarlo (o no).
- **La comunidad acepta gestionar el sitio.** Una vez concluida la remediación, la comunidad contribuye al mantenimiento del sitio y, si corresponde, a su operación, en especial si el sitio le presta un servicio. En un esquema contractual, el ejecutor de la remediación (ya sea el gobierno o un particular responsable) puede acordar con la comunidad el uso del sitio remediado, junto con el proyecto de reúso, a través de un comité de gestión (compuesto por representantes de la comunidad). Además, los promotores comunitarios se encargan del mantenimiento menor e informan las fallas mayores al ejecutor.

■ Recuadro II.5

El papel de las mujeres como circuito comunitario y de información

Al fomentar la participación intencional de las mujeres desde las primeras etapas de un proyecto se logra mejorar el prospecto de sostenibilidad de un proyecto futuro. Esto se debe a que suelen tener más claridad con respecto a los antecedentes y el estado de salud de los integrantes de la familia, mantienen una red social más amplia y asumen mayores responsabilidades frente a las obligaciones derivadas de las actividades productivas que se inician a raíz de un proyecto. Las mujeres proporcionan información más precisa acerca de los temores, las expectativas, las enfermedades que se presentan y las dificultades económicas que acarrea o acarreará el pasivo ambiental minero después de la remediación. Asimismo, facilitan mejor información sobre la forma en la que cambiaron las condiciones familiares. Por consiguiente, se logrará una comunidad mejor organizada en relación con el uso futuro del sitio y las obligaciones de mantenimiento y operación.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Global Environment Facility (GEF), "Celebrating women's contribution to global environmental sustainability", Washington, D.C., 8 de marzo de 2019 [en línea] <https://www.thegef.org/blog/celebrating-womens-contribution-global-environmental-sustainability>.

F. Tecnologías disponibles

La remediación de pasivos ambientales mineros representa un desafío considerable debido a i) las grandes extensiones de terreno que suelen ocupar las faenas mineras; ii) el alto volumen de materiales y residuos que pueden contener elementos potencialmente tóxicos; iii) la combinación de diferentes tipos de sitios, y iv) los variados elementos del ecosistema que pueden sufrir daños. Dada su propia naturaleza, existen diversas alternativas para la remediación de pasivos ambientales mineros. Estas se vinculan con múltiples materiales y elementos que componen el pasivo ambiental minero, y sus riesgos asociados (véase el cuadro II.5)¹¹.

■ Cuadro II.5

Medidas de remediación por elemento o material principal presente en un pasivo ambiental minero

Elemento o material del pasivo ambiental minero	Medida		Tipo
Terrenos y relaves	Estabilización mecánica y sistemas de:	Cobertura de baja seguridad	Dentro del sitio
		Revegetación o fitorremediación	
		Cobertura con biosólidos y revegetación	
		Cobertura con materiales de préstamo del propio sitio	
		Reprocesamiento, transporte a presa de jales nueva y sistemas de cobertura (solo relaves)	Fuera del sitio
Suelos superficiales con baja a media contaminación	Excavación, acopio, aplicación de estabilización mecánica y sistemas de:	Cobertura de baja seguridad	Dentro del sitio
		Revegetación	
		Cobertura con biosólidos y revegetación	
		Cobertura con materiales de préstamo del propio sitio	
		Tratamiento del suelo por estabilización con cemento Portland (dependiendo del contaminante)	
Suelos superficiales con alta a muy alta contaminación	Tratamiento con fosfatos o estabilizantes (como cemento Portland) y:	Cobertura de seguridad	Fuera del sitio
		Revegetación	
		Cobertura con biosólidos y revegetación	
		Cobertura con materiales de préstamo del propio sitio	
		Celda de seguridad	
		Envío a confinamiento de seguridad fuera del sitio	

¹¹ Algunos documentos sobre tecnologías de remediación en América Latina y el Caribe incluyen: MINEM (2006), Palma y otros (2007), Fundación Chile (2015) y Arranz-González y otros (2019).

Elemento o material del pasivo ambiental minero	Medida	Tipo	
Edificaciones e instalaciones con baja a media contaminación	Demolición, segregación de materiales y aplicación de estabilización mecánica y sistemas de:	Cobertura de baja seguridad	Dentro del sitio
		Revegetación	
		Cobertura con biosólidos y revegetación	
		Cobertura con materiales de préstamo del propio sitio	
Edificaciones e instalaciones con alta y muy alta contaminación		Celda de seguridad	Fuera del sitio
		Envío a confinamiento de seguridad fuera del sitio	
Drenaje ácido	Estabilización mecánica de materiales, construcción de drenaje pluvial superficial y de sistemas de captación y tratamiento pasivo con calizas ^a	Dentro del sitio	
Agua subterránea somera contaminada	El agua tratada tendrá un uso posterior:	Instalación de red de pozos de extracción de calibre adecuado a la productividad del cuerpo de agua, planta de tratamiento de aguas, aplicación de insumos para la separación de los contaminantes, disposición final de lodos de tratamiento como residuos peligrosos ^{a,b}	
	El agua tratada no tendrá un uso posterior:	Instalación de barreras permeables transversales al flujo para el tratamiento pasivo del agua subterránea ^a	
Agua subterránea profunda contaminada	El agua tratada tendrá un uso posterior:	Instalación de red de pozos de extracción de calibre adecuado a la productividad del cuerpo de agua, planta de tratamiento de aguas, aplicación de insumos para la separación de los contaminantes, disposición final de lodos de tratamiento como residuos peligrosos ^{a,b}	
Cuerpo de agua superficial	El agua tratada tendrá un uso posterior agrícola o ganadero (no humano)	Instalación de sistemas de tratamiento permeables transversales al flujo para el tratamiento pasivo del agua	
Escorias	Estabilización mecánica y sistemas de:	Cobertura de baja seguridad	
		Cobertura con biosólidos y revegetación	
		Cobertura con materiales de préstamo del propio sitio	
		Drenaje pluvial y captura de lodos de arrastre hídrico ^c	

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Oficina de Residuos Sólidos y Respuesta a Emergencias (OSWER), "Green remediation best management practices: mining sites", 2012 [en línea] https://clu-in.org/greenremediation/docs/GR_factsheet_miningsites.pdf; "Guía comunitaria sobre la cobertura", 2012 [en línea] https://clu-in.org/download/citizens/EPA-542-F-12-004S_guia_del_ciudadano_sobre_el_recubrimiento.pdf.

Nota: Las tecnologías de remediación se clasifican como "dentro del sitio" (*on-site*) cuando se aplican dentro del sitio contaminado y "fuera del sitio" (*off-site*) cuando el material se debe transportar fuera de los límites del sitio contaminado. Además, pueden clasificarse como "*in situ*" cuando no es necesario excavar el suelo o material para aplicar la tecnología y "*ex situ*" cuando sí se debe excavar para aplicarla.

^a Se requiere monitoreo y remplazo periódico de insumos.

^b Se requiere desalajo de residuos.

^c Medida adicional en caso de que existan escorias más finas (no vidriadas o masivas).

Las acciones de remediación, cuyo objetivo es reducir la toxicidad de un contaminante en un medio específico (por ejemplo, suelo y agua), se llevan a cabo a través de tecnologías que pueden agruparse en función de sus características de operación o finalidad según los siguientes criterios: i) objetivo de la remediación; ii) lugar donde se aplica el proceso de remediación, y iii) tipo de tratamiento utilizado. En relación con el objetivo de la remediación, se distinguen las técnicas de contención, confinamiento y descontaminación. En cuanto al lugar de aplicación del proceso de remediación, existen tratamientos *in situ* o *ex situ*. Por último, los tratamientos utilizados pueden ser de tipo químico, físico o biológico (Oblasser, 2016).

Se recomienda optar por tecnologías que minimicen el uso de energía (y fomenten el uso de energías renovables) y de agua, disminuyan los impactos negativos en los recursos hídricos, reduzcan los contaminantes atmosféricos y las emisiones de gases de efecto invernadero, promuevan la gestión de materiales y la reducción de residuos, y favorezcan la protección de los servicios ecosistémicos (EPA, 2012). Para dar prioridad a la reducción de la huella ecológica de la remediación de residuos y medios afectados, entre los enfoques tecnológicos disponibles en la actualidad se destacan las siguientes áreas:

1. Reprocesamiento

El reprocesamiento (también denominado reuso o minería secundaria) se refiere a la extracción o recuperación de minerales o elementos con valor económico que se encuentran en los residuos mineros abandonados. Se relaciona con los procesos mecánicos, físicos, biológicos, térmicos o químicos que se aplican a los residuos mineros para extraer de ellos materiales con valor económico (Arranz-González y otros, 2020a; DEQ, 2020). A diferencia del tratamiento, la reducción de toxicidad, movilidad o volumen de un material contaminado se considera un objetivo secundario (ITRC, 2010).

Cuando se emplean los métodos de separación por gravedad, flotación o lixiviación, el material de desecho es adecuado para otro uso o para su eliminación ambientalmente segura en el sitio de la mina (EPA, 2000). El reuso consiste en aprovechar de manera directa los residuos mineros problemáticos, una vez sometidos a reprocesamiento u otro tratamiento para convertirlos en productos seguros desde el punto de vista ambiental (ITRC, 2010).

Lo ideal sería que la implementación de tecnologías de minería secundaria generara ingresos. Antes de seleccionar las tecnologías convenientes para la remediación del sitio de la mina, es necesario tener en cuenta las condiciones del mercado, la efectividad y la seguridad de la tecnología y la confiabilidad del proveedor, además de evaluar las condiciones de percepción del riesgo de los miembros de la comunidad, que podrían no estar de acuerdo con la reapertura del sitio aunque se reduzca la toxicidad de los desechos durante el proceso.

Es posible que las tecnologías utilizadas en las nuevas instalaciones sean superiores a las originales (EPA, 2000). Aun así, se puede generar menor cantidad de desechos contaminantes, que deben gestionarse y controlarse. Frecuentemente, la recuperación no elimina todos los contaminantes y puede requerir remediación o manejo a largo plazo, lo cual también implica un costo (ITRC, 2010).

2. Estabilización

En la estabilización, se mejora el suelo para alcanzar los requisitos establecidos, se evita la dispersión de partículas finas y el riesgo de derrumbe de los relaves y se permite una modificación del propio material. A continuación, se presentan los principales métodos de estabilización (EPA, 2012; Palma y otros, 2007; Fundación Chile, 2015)¹²:

- **Estabilización química:** Se utilizan ciertas sustancias químicas (emulsiones asfálticas, cemento, cloruro de sodio y otros) para sustituir iones metálicos y cambiar la constitución de los suelos relacionados con el proceso. Debido al uso de sustancias químicas, esta tecnología no se considera una solución verde.
- **Estabilización fisicoquímica (solidificación):** Esta no destruye, sino que atrapa o inmoviliza los contaminantes dentro de su medio. Típicamente, se usa el cemento Portland que impide la restauración del terreno e implica una alta huella de carbono. Existen también agentes orgánicos (Jouini y otros, 2020) y aglutinantes con menor huella de carbono (Wang y otros, 2019).
- **Estabilización mecánica:** Se utiliza en los apilamientos y da una forma específica a las pendientes o taludes, lo que minimiza la posibilidad de deslaves debido a, entre otras cosas, eventos hidrometeorológicos o sísmicos. Puede incluir la construcción de drenajes, el emplazamiento de barreras en taludes y terrazas, y recubrimientos protectores.
- **Estabilización de biorremediación:**
 - **Estabilización microbiana:** Se emplean organismos vivos (plantas, algas, hongos y microorganismos) para absorber, degradar o transformar los contaminantes y retirarlos, inactivarlos o atenuar su efecto en suelo, agua y aire (véase Niroshika y otros, 2020).
 - **Fitoestabilización:** Se busca cubrir y proteger la superficie de los terrenos amenazados o afectados por la acción del viento utilizando plantas, semillas o trozos de plantas (véase, por ejemplo, Karaca, Cameselle y Reddy, 2018). Puede ir acompañada de fitoextracción (en la que, mediante traslocación, los contaminantes pasan del suelo a la raíz, y de ahí a las partes aéreas de la planta que se van a cosechar y se recuperan los contaminantes acumulados en ellas). Esta tecnología ofrece una solución sencilla y menos costosa que las modalidades tradicionales. Asimismo, reduce el impacto ecológico de la maquinaria y el transporte de sustancias peligrosas, que además se deben almacenar.

¹² Véase una discusión detallada en Garbarino y otros, (2018).

3. Sistemas de cobertura

Los sistemas de cobertura se usan para cubrir áreas contaminadas o celdas de residuos y prevenir la infiltración de precipitaciones, los lixiviados, la erosión del material contaminado o el contacto del material contaminado con los seres humanos o la fauna. En ocasiones, la tecnología se clasifica como “de restauración” porque puede restituir las funciones ecosistémicas del sitio. Hay cuatro tipos de base de los sistemas de cobertura:

- i) **Sellado superficial:** Se utilizan materiales con el objetivo de reducir la permeabilidad (aglomerados asfálticos, hormigones o láminas sintéticas).
- ii) **Cubierta con suelo/arcilla:** Se aplican múltiples capas de suelo y arcilla compactadas.
- iii) **Revegetación:** De las tecnologías de cobertura, se considera la más verde.
- iv) **Tecnosuelos:** Se generan a partir de desechos, pavimentos con sus materiales subyacentes no consolidados, suelos con geomembranas y suelos construidos con materiales hechos por el hombre. Reducen el uso de suelo productivo, la cantidad de residuos llevados a rellenos sanitarios y, si provienen del mismo pasivo ambiental minero, la huella de carbono por el transporte.

4. Tratamiento de las aguas afectadas por la minería

Existen dos tipos de tratamiento de las aguas afectadas por la minería, incluidos los drenajes. Tradicionalmente, se aprovechaban soluciones de ingeniería que requerían fuentes de energía artificiales o reactivos (bio)químicos (Younger, Banwart y Hedin, 2002; UNESCO, 2009). En la actualidad, se prefieren tratamientos pasivos en los que se utilizan únicamente fuentes energéticas derivadas de procesos naturales (por ejemplo, fuerzas gravitacionales, energía metabólica microbiana, fotosíntesis y luz solar), que precisan un mantenimiento esporádico (Younger, Banwart y Hedin, 2002; PIRAMID Consortium, 2003; UNESCO, 2009). Entre las principales tecnologías de tratamiento de las aguas afectadas por la minería se destacan:

- **Humedales:** Son sistemas de ingeniería que aprovechan recursos de la naturaleza para limpiar residuos del agua. Básicamente, consisten en un terreno en el que se coloca un material impermeable para evitar que el líquido se filtre en el subsuelo. Se aplica encima una mezcla de sustrato formada por arena, grava, piedra y otros componentes. Por último, se colocan plantas acuáticas que flotan sobre el agua. Tanto el sustrato como la flora absorben las partículas contaminantes, que utilizan como nutrientes.
- **Sistemas pasivos de medio inorgánico:** Eliminan los contaminantes mediante la precipitación o disolución de metales o metaloides disueltos (más comúnmente de caliza).
- **Canales anóxicos de caliza** (*anoxic limestone drains* (ALD)): Son canales anóxicos rellenos de fragmentos de caliza por los cuales se hace pasar la solución a tratar (PIRAMID Consortium, 2003; Watzlaf y otros, 2004).

- **Sustratos alcalinos dispersos:** Se basan en la disolución de arena caliza (DAS-calizo) para eliminar metales trivalentes (Fe y Al) y en la disolución de óxido magnésico de tamaño polvo (DAS-magnésico) para retener metales divalentes (Zn, Mn, Cd, Co y Ni) (Liñán y Rötting, 2013).

5. Integración de la remediación con la restauración

De acuerdo con EPA (2012), la remediación verde puede contribuir a la restauración ecológica de los pasivos ambientales mineros, por lo cual se recomienda:

- Plantar árboles, preferentemente autóctonos, que complementen los planes de reforestación en terrenos adyacentes de propiedad gubernamental.
- Promover corredores de agua superficial que repliquen las condiciones ribereñas originales y complementen los planes regionales de la cuenca hidrológica.
- Incorporar las preferencias de organizaciones vecinas en relación con el reuso del terreno a fin de expandir los servicios recreativos o de educación ambiental dirigidos a la comunidad (véase el apartado "Participación de las partes interesadas" arriba en este capítulo).
- Mantener una coordinación con los desarrolladores de energías renovables para producir energía a partir de recursos renovables en el sitio.

Capítulo III

Herramientas para la toma de decisiones en la gestión de pasivos ambientales mineros

Introducción

En este capítulo se presentan los marcos generales de aplicación de herramientas que permiten evaluar las inversiones para remediar un pasivo ambiental minero. En particular, se señalan diversos enfoques metodológicos cualitativos y cuantitativos recogidos de la literatura internacional. En el capítulo II se plantearon las principales consideraciones para elaborar estrategias de remediación a partir de un análisis de riesgos, teniendo en cuenta los aspectos legales imperantes, el financiamiento disponible y la participación de las partes interesadas. Además, se expusieron diversas tecnologías de remediación.

A continuación, se introducen las bases para comenzar la evaluación económica de las diversas alternativas de remediación. Para ello, se profundiza en los análisis de la relación costo-beneficio y en los análisis de costo-efectividad desde un enfoque de sostenibilidad, atendiendo a la regulación ambiental. Se esbozan sus principales características y se brindan ejemplos de su aplicación en la región.

A. Toma de decisiones para el análisis de un proyecto de remediación

El papel del análisis de proyectos en la toma de decisiones varía de acuerdo con las preferencias de los encargados de tomar decisiones. Existen múltiples enfoques de análisis de proyectos, pero en general, se destacan dos: i) aquellos que buscan una clasificación definitiva desde

el punto de vista de la deseabilidad para la sociedad y ii) aquellos que producen información pertinente para la toma de decisiones. En este último punto, se debe tener en cuenta que las consideraciones económicas no son las únicas relevantes al seleccionar una alternativa (véase el cuadro III.1).

El análisis de la relación costo-beneficio, a diferencia de otros enfoques, permite ordenar los proyectos en términos monetarios según el criterio de eficiencia o en combinación con el de equidad. Esto se logra mediante simplificaciones, supuestos normativos y decisiones conceptuales y metodológicas (Brent, 2008; Stiglitz y Rosengard, 2015; Boardman y otros, 2018; véase el apartado “Descripción general del análisis de la relación costo-beneficio” a continuación).

■ Cuadro III.1

Modelos contrastados del análisis de proyectos en la toma de decisiones

	Clasificación de proyectos	Elaboración de antecedentes para la toma de decisiones democrática e informada
Identificación	Todos los costos y beneficios	
Medición de costos y beneficios	Todos los costos y beneficios se miden en términos monetarios.	Algunos costos y beneficios se miden en términos no pecuniarios (como calidad del aire o mejoras en la salud pública).
Comparación de resultados	Todos los costos y beneficios se comparan en términos monetarios mediante la tasa de descuento social adecuada.	Algunos costos y beneficios se miden de acuerdo con otras métricas, pero es necesario utilizar una metodología uniforme para todas las alternativas.
Selección de la alternativa apropiada	Se ofrece una clasificación y se identifica la opción que más aumente el bienestar social.	En un debate democrático y participativo, el análisis de la relación costo-beneficio proporciona información a los encargados de tomar decisiones para que escojan una opción según su propio juicio de valor (función del bienestar).
Presentación de información	Se plantea el cambio esperado en el bienestar social.	Se presenta el cambio esperado en el bienestar social complementado con otros indicadores.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de K. Nyborg y I. Spangen (2000), “Cost-benefit analysis and the democratic ideal”, *Nordic Journal of Political Economy*, vol. 26, Cambridge, Cambridge University Press, 2000; K. Nyborg, *The Ethics and Politics of Environmental Cost-Benefit Analysis*, Nueva York, Routledge, 2012; T. Nas, *Cost-Benefit Analysis: Theory and Application*, Lanham, Lexington Books, 2016.

Dadas sus múltiples simplificaciones, el análisis de la relación costo-beneficio no fomenta una toma de decisiones basada en un amplio conjunto de visiones, experiencias y capacidades (Sen, 2000). A menos que los encargados de tomar decisiones compartan los supuestos subyacentes en el análisis (por ejemplo, monetización de los aspectos pertinentes, formas de medir el bienestar social, valor antropocéntrico de la naturaleza, falta o uso de ponderaciones por grupos sociales), el análisis de la relación costo-beneficio tendrá una utilidad limitada (Nyborg, 2012). Cabe señalar que los sistemas regionales están incorporando cada vez más variables y criterios de equidad junto con el enfoque de eficiencia (véanse los capítulos II y VI).

Es necesario tener presente en cada evaluación de proyecto las limitaciones y los supuestos normativos explícitos e implícitos. Se recomienda establecer un sistema de evaluación nacional que empodere a las partes interesadas y permita medir los efectos para el conjunto de la sociedad. Si es posible, los supuestos en los que se basa el análisis deben hacerse explícitos y estandarizarse a nivel nacional (por ejemplo, la forma de expresar los efectos de un proyecto en términos pecuniarios o las ponderaciones por grupos socioeconómicos o condiciones de vulnerabilidad). A su vez, debe señalarse, explicarse y justificarse la aplicación de supuestos que se desvíen de la metodología estandarizada.

B. Principales enfoques metodológicos

En este apartado se presentan los principales enfoques metodológicos del ámbito de la investigación y el análisis aplicados, como la selección de alternativas de remediación, a saber, los análisis cualitativos, cuantitativos y semicuantitativos. El análisis cualitativo se basa fundamentalmente en un método inductivo, mientras que el análisis cuantitativo se apoya estrictamente en un método deductivo. Por su parte, el análisis semicuantitativo representa una combinación de los dos enfoques previos.

1. Análisis cualitativo

El análisis cualitativo está basado en un enfoque empírico que construye sus premisas a partir de un razonamiento inductivo y se fundamenta principalmente en observaciones e inferencias. Se escoge este método para llevar a cabo análisis basados en datos e información disponibles en forma de texto o narrativa.

A diferencia del método cuantitativo, como se muestra a continuación, el cualitativo se caracteriza por una fuerte correlación entre el observador y la información que se va a analizar. Este método se prefiere cuando el análisis tiene como objetivo explicar fenómenos pertinentes para las ciencias sociales (Williams, 2007) y busca comprender la manera de experimentar o percibir las cosas (Biddix, 2018).

Las metodologías basadas en evaluaciones cualitativas pueden complementar las fases de desarrollo de alternativas sujetas al análisis de la relación costo-beneficio (véase el cuadro III.2).

■ Cuadro III.2

Resumen de principales herramientas analíticas cualitativas usadas en el análisis de la relación costo-beneficio

Herramienta/técnica	Ejemplo/explicación
Lluvia de ideas	Se refiere a una técnica grupal que se utiliza para generar nuevas ideas rápidamente o identificar y considerar diferentes soluciones a un problema específico a través del trabajo en equipo.
Análisis DAFO	La identificación de una lista de DAFO (debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades) facilita el intercambio de ideas. Se deben combinar los beneficios de la lluvia de ideas con un enfoque que defina las relaciones entre los factores DAFO identificados. Luego se deben usar esas relaciones para guiar las decisiones sobre los pasos a seguir.
Pecera	Esta técnica propicia, en grupos medianos y grandes, una discusión efectiva y ordenada sobre un tema. Es un modelo de discusión en el que algunos participantes forman un círculo de debate, mientras el resto se queda afuera, formando un círculo alrededor de ellos, y los escucha y toma notas para proporcionar retroalimentación. Se usa también para desarrollar habilidades de comunicación y argumentación, además de respeto y tolerancia.
Técnica de grupo nominal (decisión por consenso y clasificación)	Se utiliza en grupos con múltiples opiniones para priorizar las ideas y clasificarlas en un formato inclusivo y consensuado. Se busca priorizar y clasificar los temas o problemas.
Metodología “Café del Mundo”	En grupos formados por participantes con perspectivas divergentes, este método permite discutir un tema específico en pequeños grupos que van rotando durante la reunión o conversación. De esta manera, diferentes perspectivas contribuyen a enriquecer la discusión sobre la temática de interés, al tiempo que fomentan la creación de redes entre las partes interesadas y las distintas propuestas o soluciones.
Método Delphi	Se utiliza para solicitar información a expertos de forma estructurada. Se divide en cuatro pasos: i) planificación, ii) creación del panel de expertos, iii) administración de cuestionarios e iv) interpretación de los datos finales para la toma de decisiones. Esta técnica busca alcanzar un consenso entre los expertos para definir escenarios, identificar resultados deseados, priorizar las causas o recomendar soluciones.
Metodología ZOPP	Esta metodología hace referencia a un conjunto de instrumentos y procedimientos que guían la planificación en el proceso de gestión de un proyecto de desarrollo a lo largo de su ciclo de vida. Abarca tanto el análisis como la planificación de proyectos y consiste en la celebración de una serie de talleres facilitados por un moderador, con la participación de representantes de todos los grupos interesados y eslabones de la jerarquía.
Espina de pescado	Se trata de un diagrama de causa potencial (o real) y efecto que permite apreciar visualmente las relaciones entre un tema y un problema. En debates grupales, resulta útil para analizar en profundidad las causas de un problema de rendimiento.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Banco Mundial, “Interactive community planning. ZOPP: Goal Oriented Project Planning”, Washington, D.C., 2001 [en línea] <http://web.mit.edu/urbanupgrading/upgrading/issues-tools/tools/ZOPP.html>; T. Kendrick, *Project Management Tool Kit: 100 Tips and Techniques for Getting the Job Done Right*, Nashville, AMACOM, 2010; R. Watkins, M. Meiers y Y. Visser, *A Guide to Assessing Needs: Essential Tools for Collecting Information, Making Decisions, and Achieving Development Results*, Washington, D.C., Banco Mundial, 2012.

2. Análisis cuantitativo

En este método se emplea un enfoque numérico o estadístico para diseñar la investigación, y su objetivo es cuantificar los datos. El razonamiento es deductivo y se apoya en modelos matemáticos. Es útil para cuantificar directamente los resultados a través de medidas

exactas. La investigación en sí misma es independiente del observador o investigador, y por este motivo, la información recopilada se utiliza para medir la realidad de manera objetiva (Williams, 2007).

La matriz de ganancias combina las posibles acciones que los responsables pueden tomar con factores externos, es decir, aquellos que están fuera de su control, y arroja las ganancias esperadas. Las ganancias esperadas de cada estrategia se obtienen de la siguiente manera (adaptada de Schuyler, 1994; Stefanovic y Stefanovic, 2005):

$$VME_i = \sum VP_x * p_x$$

Donde:

VME_i = valor monetario esperado del escenario i

x = posible resultado

VP_x = valor presente del resultado x

p_x = probabilidad del resultado x

La suma de las probabilidades de los resultados individuales debe ser 100%.

La matriz de ganancias ayuda a clasificar las alternativas de acuerdo con un criterio objetivo (véase el cuadro III.3). Cabe destacar que no siempre se conocen en cada escenario las probabilidades asociadas, todos los resultados viables o el valor monetario de todas las variables. Se debe tener en cuenta la importancia de las probabilidades, ya que señalan el nivel de aversión al riesgo de los encargados de tomar decisiones.

■ Cuadro III.3
Matriz de ganancias

		Escenario 1 (20%)	Escenario 2 (40%)	Escenario 3 (25%)	Escenario 4 (15%)	Valor monetario esperado	Clasificación
Estrategia	A	165	40	120	140	100	2
	B	80	80	80	80	80	4
	C	-30	15	210	250	90	3
	D	105	110	20	0	70	5
	E	10	160	200	-40	110	1

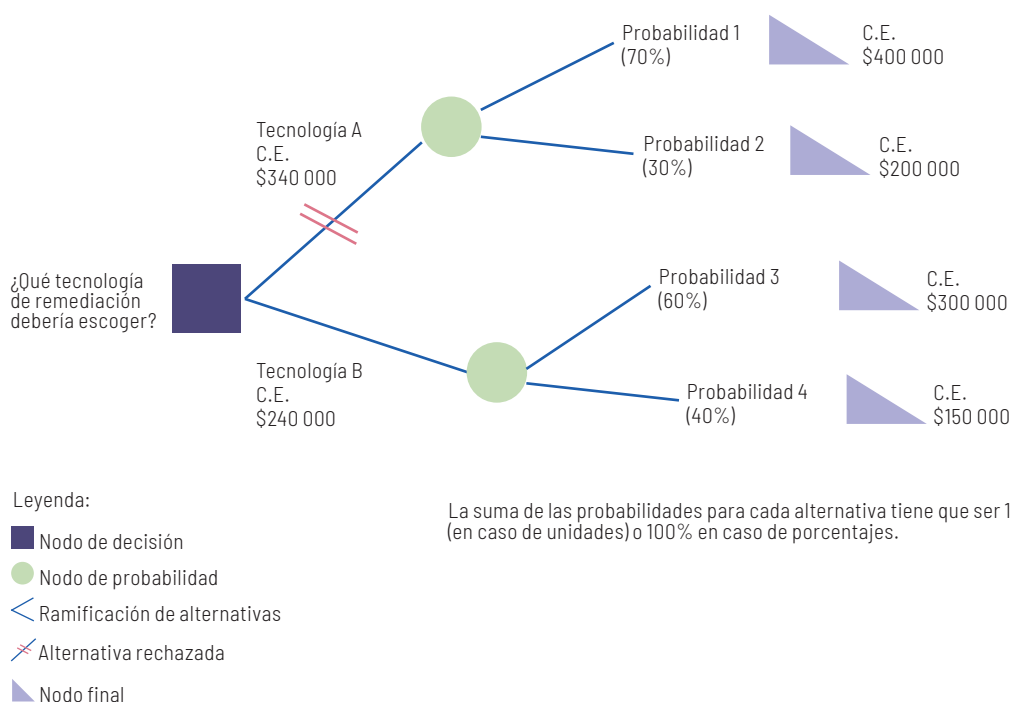
Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de M. Stefanovic y I. Stefanovic, "Decisions, decisions", Pensilvania, Project Management Institute (PMI), 2005 [en línea] <https://www.pmi.org/learning/library/decisions-quantitative-making-process-7466>.

Del mismo modo, **los árboles de decisiones** ofrecen una representación esquemática de las alternativas disponibles y facilitan una mejor toma de decisiones al plasmar los riesgos, los costos y los beneficios de múltiples opciones. En este método se emplean funciones lógicas consecuenciales relacionadas con la decisión tomada (Zuniga y Abgar, 2011). Cada decisión depende de una o más probabilidades, y para cada decisión se debe estimar un posible costo. Una vez estimados los costos de cada alternativa, se podrá escoger la mejor opción utilizando el criterio del valor esperado. Este corresponde a la suma ponderada de los valores estimados multiplicados por la probabilidad de la alternativa de decisión (Berger, 2007).

Los árboles de decisiones ayudan a tomar decisiones más informadas sobre la base de la información disponible y las mejores suposiciones, pues contribuyen a plasmar, analizar y cuantificar el costo y la probabilidad de cada resultado (Castellanos, 2015).

En el diagrama III.1 se muestra de qué manera se utiliza un árbol de decisiones para decidir entre dos tipos de tecnologías de remediación. Para cada tecnología existe una probabilidad relacionada con su uso. La suma de las probabilidades por alternativa tiene que ser 100%. En cada opción, se establece un valor estimado ponderando el valor del nodo final por la probabilidad de su realización. Una vez calculados los valores estimados de cada alternativa, el tomador de decisiones podrá definir la alternativa que ofrece mayores beneficios. En este diagrama, se optaría por la tecnología A, puesto que su valor estimado es mayor que el de la tecnología B.

■ Diagrama III.1
Ejemplo de árbol de decisiones con valores estimados



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de A. Berger, "Árboles de decisión", Buenos Aires, Universidad del CEMA (UCEMA), 2007 [en línea] <https://ucema.edu.ar/~aberger/Arboles/Arboles.pdf>; R. Sánchez-Pedraza, O. Gamboa y J. Díaz, "Modelos empleados para la toma de decisiones en el cuidado de la salud", *Revista de Salud Pública*, vol. 10, N° 1, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 2008.

Los árboles de decisiones pueden ser difíciles de construir de manera precisa, y se recomienda emplearlos cuando existe un número limitado de acciones posibles. Los árboles de decisiones se basan en expectativas que no necesariamente se cumplen, y las reglas de asignación son sensibles a pequeñas perturbaciones en los datos, que a veces no están disponibles. Por último, se pierde la representación debido a la ausencia de una función global de las variables.

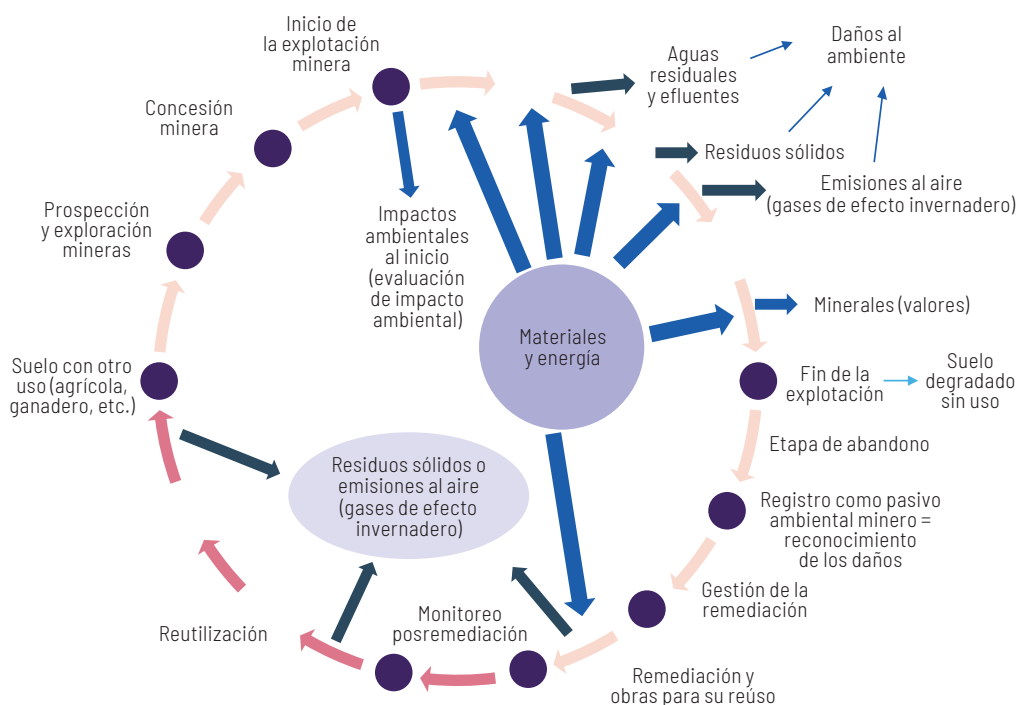
El **análisis del ciclo de vida** se utiliza como método integral para identificar, cuantificar, interpretar y evaluar los impactos medioambientales, directos o indirectos, de un producto, una función o un servicio de manera ordenada a lo largo de su vida y hacer comparaciones con otras alternativas (Brusseau, 2019). En este caso, se analizaría la actividad de remediación a lo largo de su ciclo de vida.

Este método se basa en la identificación y descripción de todas las etapas del ciclo de vida de un producto, que va desde la extracción y el pretratamiento de materias primas, la producción, la distribución y el uso del producto final hasta la posible reutilización, el reciclaje o el deshecho del producto (de la cuna a la tumba).

En el diagrama III.2 se muestra la aplicación de este método a la minería, que se inicia con la prospección y la exploración mineras, seguidas de la explotación minera, el abandono del sitio y su conversión en faena y, por consiguiente, en pasivo ambiental minero. Finalmente, se llega a su remediación, reúso o reutilización gracias a las gestiones y acciones de remediación (Comisión Europea, 2006).

■ Diagrama III.2

Visión general del análisis del ciclo de vida en pasivos ambientales mineros



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Comisión Europea, "Life Cycle Assessment (LCA) as a decision support tool (DST) for the eco-production of olive oil", Bruselas, 2006 [en línea] https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=2743&docType=pdf.

Las principales fases del procedimiento para llevar a cabo el análisis del ciclo de vida son:

- Definición del objeto y alcance del estudio.
- Inventario del ciclo de vida: se prepara el modelo de análisis del ciclo de vida, incluidas las entradas y salidas, y se cuantifican los impactos ambientales.
- Valoración del impacto del ciclo de vida: estimación de los impactos ambientales a través de las entradas y salidas.
- Interpretación de los resultados.

En el análisis del ciclo de vida, es esencial definir una unidad funcional. Esta representa la medida de la función del sistema estudiado, que proporciona una referencia con respecto a las entradas y salidas, lo cual posibilita la comparación de diferentes sistemas. La unidad funcional debe ser precisa y comparable, y debe estar determinada mediante la recopilación de datos y estudios. Sin embargo, es importante tener en cuenta que pueden existir restricciones en cuanto a la profundidad del estudio, así como a las fuentes y la calidad de los datos (Comisión Europea, 2006).

Los principales enfoques cuantitativos con aplicaciones económicas son los análisis de la relación costo-beneficio y los análisis de costo-efectividad. El análisis de la relación costo-beneficio se utiliza cuando los costos y beneficios de un proyecto son cuantificables. Este método es útil para evaluar si, en un momento dado, el costo de una medida específica es mayor o menor que sus beneficios. En otras palabras, se emplea para organizar y analizar la información relacionada con las ventajas (beneficios) y desventajas (costos) sociales expresadas en una unidad monetaria común (Gómez, 1994).

Si bien el análisis de costo-efectividad tiene varias similitudes con el análisis de la relación costo-beneficio, se enfoca en la relación que existe entre el costo y los resultados de las intervenciones medibles. El análisis de costo-efectividad es el método más común para llevar a cabo evaluaciones económicas de las intervenciones sanitarias, que buscan determinar qué intervenciones son prioritarias para maximizar el beneficio con los recursos económicos disponibles. Dicho de otro modo, describe una intervención en términos de la relación entre los costos incrementales por unidad y los efectos positivos sobre la salud de las personas (Garber y Phelps, 1997; Prieto y otros, 2004).

3. Análisis semicuantitativo

En el enfoque de métodos mixtos se incorporan técnicas de recopilación o análisis de datos de los enfoques cuantitativos y cualitativos. Se destaca la complementariedad entre ambos métodos, y se basa tanto en datos numéricos como narrativos. Mediante este método, se asignan medidas aproximadas a los datos en lugar de medidas exactas, lo que permite a los investigadores emplear el análisis deductivo e inductivo en el mismo estudio (Williams, 2007).

El análisis semicuantitativo se basa en una interpretación holística de los datos a través de la integración de diferentes métodos. Esto hace posible que se proporcionen inferencias sólidas y completas con respecto a la recopilación y análisis de datos llevados a cabo a través de un único método (Biddix, 2018).

El análisis multicriterio facilita la toma de decisiones informadas y justificables mediante la estructuración de problemas complejos y el análisis de múltiples conjuntos de criterios (Watkins, Meiers y Visser, 2012). En el análisis multicriterio se establecen preferencias entre opciones relativas a un grupo explícito de objetivos. Se identifican estos objetivos, se fijan criterios medibles y se evalúa el grado de cumplimiento. Las ponderaciones de los criterios reflejan su importancia relativa. La decisión se toma en función de los resultados una vez que se hayan agregado todos los criterios de análisis.

Este método implica la participación de distintos actores, lo que puede conllevar un cierto grado de subjetividad. No obstante, la colaboración de los expertos en el proceso de evaluación puede ayudar a minimizar los sesgos (Galindo y otros, 2017).

El análisis multicriterio se caracteriza por incluir valores no monetarios en su análisis. Por lo tanto, se puede adaptar a varios contextos, generando diversas variantes (Galindo y otros, 2017). En efecto, el análisis multicriterio se utiliza en los estudios ambientales desde la década de los noventa por su capacidad para incorporar y homologar factores ambientales, económicos, políticos y sociales en la evaluación de políticas (Santé y Crecente, 2005; Galindo y otros, 2017; Dean, 2022).

Los pasos para llevar a cabo el análisis multicriterio son (Pacheco y Contreras, 2008; Comisión Europea, 2015):

- Seleccionar el campo de aplicación y determinar la justificación de la intervención.
- Elegir el grupo de negociación.
- Seleccionar el equipo técnico responsable de apoyar al equipo de negociación.
- Establecer la lista de actividades en competencia que se incluirán en el análisis.
- Determinar criterios de juicio.
- Determinar el peso relativo de cada criterio.
- Formular un juicio por criterio.
- Elaborar los juicios agregados.

Como se muestra en el cuadro III.4, y de acuerdo con Barba-Romero (1996), en el análisis multicriterio se consideran alternativas (A_1, A_2, A_i , etc.) y criterios (C_1, C_j, C_n , etc.), como atributos o características, que serán la base sobre la cual se tomará la decisión. Por lo tanto, es esencial acordar primero los criterios y sus respectivos pesos relativos. Una vez explicitadas las alternativas, se debe estructurar adecuadamente la información que los relaciona, es decir, las evaluaciones (D_{ij}) y los pesos (W). Las evaluaciones de cada alternativa i con respecto a cada criterio j constituyen la matriz de decisión (por ejemplo, D_{11}). En resumen, la matriz de decisión describe las alternativas en función de los criterios establecidos. Además, es necesario considerar los pesos (por ejemplo, W_{11}), que se agrupan en el vector de pesos. Los pesos ayudan al tomador de decisiones a priorizar sus preferencias (R_{ij}) (véase el cuadro III.4).

■ Cuadro III.4

Matriz de la decisión multicriterio

Alternativas	Criterios		
	C_1	C_j	C_n
A_1	D_{11}		
A_2			
A_i		D_{ij}	
A_m			
Peso	W_{11}	W_j	W_n

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de S. Barba-Romero, *Manual para la toma de decisiones multicriterio* (LC/IP/L.122), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 1996.

Nota: R_{ij} : evaluación de la alternativa A_i con respecto al criterio j ; W_j : peso relativo del criterio j .

La particularidad de este método reside en transformar las mediciones y percepciones en una escala única para comparar y priorizar las diferentes alternativas (Pacheco y Contreras, 2008).

En la toma de decisiones en materia ambiental, los objetivos de un proyecto pueden relacionarse, por ejemplo, con la reducción de la contaminación local del aire, del suelo o del agua. Para la gestión o remediación de pasivos ambientales, se establecerían objetivos para proteger la salud de las personas y el medio ambiente, entre otros.

El análisis multicriterio es útil para evaluar la sostenibilidad en situaciones en las que se debe tener en cuenta un conjunto complejo e interconectado de cuestiones ambientales, sociales y económicas, y en las que los objetivos a menudo entran en conflicto. A diferencia del análisis de la relación costo-beneficio, el análisis multicriterio no se limita a unidades monetarias en sus comparaciones y, con su estructura sólida y transparente, brinda oportunidades de participación a las partes interesadas y la comunidad (DCLG, 2009). No obstante, en el análisis multicriterio, al igual que en el análisis de costo-efectividad, no se proporciona una justificación explícita de que los beneficios superen los costos.

En los proyectos de gestión o remediación de sitios contaminados, este método se aplica en diferentes etapas de su ciclo de vida, que incluyen i) la identificación de ideas; ii) el análisis de alternativas de remediación; iii) la jerarquización y priorización de alternativas, y iv) la construcción de indicadores de desempeño o control de la gestión durante la implementación del proyecto (Pacheco y Contreras, 2008). Este método favorece los procesos de discusión entre las partes interesadas en el proyecto, así como la participación de expertos en la materia, y facilita el acceso a la información y la toma de decisiones. Además, permite considerar los efectos intangibles no cuantificables o valorizables de las acciones de remediación (como el impacto en la salud o el bienestar de la población aledaña al pasivo ambiental) (Cinelli y otros, 2021; Dean, 2022; Pacheco y Contreras, 2008).

Existen diversas metodologías para jerarquizar las alternativas que se pueden emplear en la remediación de sitios contaminados. Cinelli y otros (2021) proponen un ejemplo práctico de aplicación del análisis multicriterio en proyectos de remediación de sitios contaminados,

y lo relacionan con el cumplimiento de la Ley de Responsabilidad, Indemnización y Respuesta Ecológica Global de los Estados Unidos. En esta se destaca la importancia de incluir a las diferentes partes interesadas, así como a sus preferencias, en el proceso de toma de decisiones y en la implementación de la norma.

Es importante señalar que, en un contexto de escasez de recursos destinados a proyectos de gestión o remediación de pasivos ambientales mineros, el análisis multicriterio es una buena opción para determinar alternativas de acción, priorizar la asignación de fondos y aumentar la eficiencia de su uso (Pacheco y Contreras, 2008). Para que el proceso de toma de decisiones sea eficiente y el análisis multicriterio no se vuelva demasiado complejo, rara vez se incluye a más de 30 personas (Dean, 2022).

4. Análisis de costo-impacto

En el análisis de costo-impacto se detallan los costos en términos monetarios y se enumeran los beneficios en unidades físicas (por ejemplo, reducción de la contaminación del aire por partículas finas). El enfoque puede ser útil cuando no se manejan recursos (incluso datos) para los análisis de la relación costo-beneficio y los análisis de costo-efectividad (Lewis y Tietenberg, 2020; véanse los siguientes apartados). A diferencia de esos dos métodos, en el análisis de costo-impacto no se puede establecer una clasificación, pero se aportan antecedentes más comprensibles para los encargados de tomar decisiones (Nyborg, 2012).

C. Descripción general del análisis de la relación costo-beneficio

El análisis de la relación costo-beneficio surgió a mediados del siglo XIX (Dupuit, 1995) y se utiliza como herramienta de apoyo para la toma de decisiones en diversas intervenciones que afectan a la sociedad. Compara los costos totales de esas intervenciones con los beneficios totales. Las posibles decisiones incluyen proyectos de inversión públicos y privados, políticas públicas y elaboración de regulaciones y normativas¹.

En el caso de los pasivos ambientales mineros, las autoridades intervienen en la remediación con el objetivo de eliminar las externalidades ambientales y los riesgos asociados. Una vez que se ha justificado la intervención del Estado, se detallan los costos y beneficios de la remediación, comparándolos con la situación actual (sin intervención) e identificando a todos los agentes afectados (Boardman y otros, 2018).

¹ Según Livermore (2012, págs. 149 y 150), el análisis de la relación costo-beneficio tiene un potencial especial en los países en desarrollo, pues proporciona calidad, transparencia y eficiencia a las regulaciones en materia de medio ambiente, salud pública y salud ocupacional.

La aplicación del análisis de la relación costo-beneficio incluye valoraciones sociales, por lo que considera la valoración de bienes y servicios que no necesariamente tienen precios de mercado (por ejemplo, la contaminación ambiental y la salud de las personas).

En el análisis de la relación costo-beneficio se busca maximizar el bienestar de la sociedad en su conjunto y, por este motivo, se aplica con más frecuencia en la evaluación de proyectos de inversión de carácter público. Esto adquiere especial importancia en el caso de los pasivos ambientales mineros, ya que muchas veces no existen responsables para la remediación y el Estado debe hacerse cargo de las inversiones (véase el capítulo II).

El análisis de la relación costo-beneficio está estrechamente vinculado a la evaluación de proyectos y planes de inversión que se incluyen cada año en leyes o decretos de presupuesto de egresos de los países. En la evaluación de proyectos y planes de inversión se consideran los costos y beneficios, directos e indirectos, que estos programas y proyectos generan para la sociedad. La gestión de pasivos ambientales mineros, con un enfoque de sostenibilidad en la remediación y el uso futuro, se centra en los siguientes aspectos:

- Proporciona a los encargados de tomar decisiones criterios que guían la remediación y posterior reutilización de los terrenos para mitigar el impacto ambiental de la ejecución del proyecto y reducir los costos económicos de mantenimiento en el mediano y largo plazo.
- Contribuye a ampliar el conocimiento de la administración pública sobre los aspectos necesarios para obtener financiamiento adecuado dentro del marco de la evaluación socioeconómica. Se toman en consideración beneficios más allá del análisis de la relación costo-beneficio tradicional.
- Facilita la identificación de oportunidades de mejora en la gestión de pasivos ambientales mineros, que incluyen la ejecución de estudios de prefactibilidad, la determinación de costos y beneficios en los proyectos de remediación, la actualización de clasificadores de gasto vinculados a problemas ambientales y la creación de capacidades relativas al análisis de la relación costo-beneficio.
- Considera, entre otros aspectos, la construcción, el uso y el mantenimiento de la infraestructura necesaria para el proyecto, las demandas y los requerimientos de las comunidades, y de qué manera la remediación y el uso futuro contribuirán a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Implica repensar el proceso de análisis de riesgos y explorar escenarios de uso futuro que minimicen los impactos ambientales y económicos al eliminar los riesgos y la contaminación.

A los costos y beneficios expresados como egresos e ingresos financieros (por ejemplo, aquellos relacionados con la construcción y el aprovechamiento de la infraestructura), se añaden pagos y beneficios indirectos. Estos pueden incluir efectos negativos (o positivos) sobre las personas y el medio ambiente, como el impacto en la salud humana debido a la contaminación o la desvalorización de propiedades debido a la presencia de pasivos ambientales mineros (véase el capítulo IV).

En la presente guía, se plantean los siguientes objetivos básicos del análisis de la relación costo-beneficio:

- Medir la conveniencia de una decisión de inversión para remediar pasivos ambientales mineros. En otras palabras, se trata de verificar si los costos de esa decisión están cubiertos por sus beneficios, y si el beneficio neto informado es positivo.
- Comparar, en función del resultado del beneficio neto, las mejores alternativas para llevar a cabo dicha remediación. No se trata solo de seleccionar la alternativa con menor costo de remediación, sino de considerar también el beneficio adicional que podría aportar otra opción de mayor costo (por ejemplo, si genera alguna actividad turística o productiva), incluso en términos ambientales y sociales.

En vista de lo anterior, el análisis de la relación costo-beneficio debe incluir el concepto de sostenibilidad, que implica buscar la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas, garantizando un equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social (Naciones Unidas, 1987). El desarrollo sostenible hace referencia a un modo de progreso que mantiene ese equilibrio hoy, sin poner en peligro los recursos del mañana. Por lo tanto, la sostenibilidad ambiental se refiere a la preservación de la biodiversidad sin renunciar al progreso económico y social (Oxfam Intermón, 2020).

D. Descripción general del análisis de costo-efectividad

El análisis de costo-efectividad garantiza un uso eficiente de los recursos al comparar alternativas de solución (políticas, programas y proyectos) bajo la premisa de que generan beneficios equivalentes. A diferencia del análisis de la relación costo-beneficio, el análisis de costo-efectividad podría considerarse un mecanismo alternativo en los casos en que no es factible valorizar los aportes positivos del proyecto de remediación (véase el cuadro III.5). El análisis de costo-efectividad permite comparar dos o más alternativas, siempre que no presenten grandes diferencias en cuanto a los beneficios que aportan (Nyborg, 2012). Según Mishan y Quah (2021), el análisis de la relación costo-beneficio es superior en la toma de decisiones, puesto que dimensiona los beneficios totales (si se puede llevar a cabo).

El análisis de costo-efectividad puede llevarse a cabo cuando:

- Existe una obligación legal, una decisión estratégica o una política que requiere llevar a cabo la intervención y la tarea en cuestión. Se trata de definir la mejor alternativa para un tipo o área de inversión definida (con un objetivo de remediación determinado) o de establecer una clasificación o cartera de proyectos priorizada (véanse detalles conceptuales en Cuadros y otros, 2012).

- El objetivo de la remediación es eliminar un alto nivel de riesgo para la salud y el medio ambiente (véase el capítulo IV).
- Existen aspectos a valorar poco frecuentes (por ejemplo, las externalidades sin mercados asociados).
- El presupuesto restringido para la remediación no justifica un gasto elevado en estudios de preinversión.
- La proporción de beneficios sociales que no pueden ser valorados a nivel de perfil es significativa².
- Se desea evitar controversias metodológicas (como la estimación del valor de los bienes ambientales), que también pueden incluir juicios de valor contenciosos (por ejemplo, dar un valor a la vida de las personas) (Stiglitz y Rosengard, 2015; Boardman y otros, 2018).

■ Cuadro III.5

Principales diferencias entre el análisis de la relación costo-beneficio y el análisis de costo-efectividad

Tratamiento de costos y beneficios, y tipo de resultado	Análisis de la relación costo-beneficio	Análisis de costo-efectividad	Comentarios
Identifica costos	✓	✓	
Identifica beneficios	✓	✓	En la variante de costo mínimo del análisis de costo-efectividad, se identifican los beneficios para buscar criterios de eficiencia y contrastarlos con los costos.
Cuantifica costos	✓	✓	
Cuantifica beneficios	✓	✓X	En algunos casos, la cuantificación de los beneficios puede resultar indispensable, incluso en el análisis de costo-efectividad (por ejemplo, el número de habitantes para obtener el indicador costo/habitante).
Valora costos	✓	✓	
Valora beneficios	✓	X	La falta de valoración de los beneficios disminuye considerablemente la complejidad del análisis.
Determina el resultado para priorizar y seleccionar alternativas	✓	✓	Cuando existe variación de beneficios, se prefiere el análisis de la relación costo-beneficio, aunque el análisis de costo-efectividad también es útil.
Determina el resultado para decidir sobre una inversión	✓	X	El análisis de costo-efectividad puede aplicarse únicamente cuando los beneficios son fijos o cuando se ha decidido invertir y solo resta decidir de qué manera se hará.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

² Debido a la dificultad y el costo que conlleva su ejecución. No obstante, podría tratarse en un estudio de prefactibilidad (Contreras y Díez, 2015).

Se toma en cuenta el costo directo del uso de recursos destinados a la inversión y la operación de cada alternativa, como estudios previos, costos de obra y de mantenimiento, subvenciones o financiamiento de proyectos o de actividades. Esto se relaciona para comparar las alternativas en términos de eficiencia o efectividad (por ejemplo, en aspectos como la contaminación o la congestión).

Si existen costos indirectos, como la pérdida de producción o los costos sociales, pero varían según las distintas alternativas, es necesario valorarlos e incluirlos. De lo contrario, estas diferencias deben reflejarse en el indicador o criterio de eficiencia que se va a utilizar. Por lo tanto, es indispensable definir un criterio de eficiencia y efectividad claro que también sea comparable entre las alternativas.

Al momento de llevar a cabo el análisis de costo-efectividad, se pueden considerar varios tipos de eficiencia:

- Costo mínimo: todas las alternativas deben considerar el mismo nivel de cumplimiento del objetivo (por ejemplo, la búsqueda de alternativas para el cumplimiento de normas mínimas o estándares predefinidos).
- Costo por beneficiario: se refiere a una variación del costo mínimo expresada en valores por beneficiario.
- Costo-impacto (o costo-efectividad): se establece el nivel de impacto o resultado de cada alternativa para relacionarlo con su costo. Se pueden asociar los valores de costo a mediciones como emisiones de PM_{10} , emisiones de CO_2 , cantidad de decibeles o cantidad de especies naturales.

E. Priorización de proyectos a nivel nacional

Al presentar una base para comparar proyectos a nivel nacional, el objetivo no se limita exclusivamente a elegir entre varias alternativas para la remediación de un sitio, sino que se busca la manera de priorizar proyectos de diferentes partes del país. Por ello, es necesario prestar atención a los siguientes elementos:

- La metodología aplicada en cada proyecto debe ser homogénea a fin de garantizar su coherencia. Cualquier desviación del estándar metodológico debe señalarse, describirse y justificarse de forma adecuada.
- Es posible que existan sinergias entre varios proyectos en la misma zona, cuya intensidad depende de la alternativa. Los análisis deben presentar escenarios con y sin sinergias para facilitar la toma de decisiones, teniendo en cuenta las prioridades de quienes están a cargo de esa tarea y la cantidad de recursos financieros disponibles.

- La recopilación de datos, principalmente en relación con los beneficios cuyos valores no se pueden observar en el mercado para el análisis de la relación costo-beneficio (véase el apartado sobre identificación y medición de costos y beneficios en el capítulo V), es onerosa y costosa. Con vistas a optimizar los recursos disponibles, puede ser útil crear una base de datos que luego se reutilice en todas las evaluaciones, ya que una mayor precisión no justificaría los costos de la recopilación de datos. Estos datos se deberían elaborar de forma que puedan adaptarse al contexto de un pasivo ambiental minero³.
- En situaciones de restricción presupuestaria y no exclusividad mutua de los proyectos, es necesario revisar el conjunto de métricas de selección (véase el capítulo VI), puesto que la clasificación según el beneficio neto que aporta el proyecto a la sociedad por sí solo no es concluyente (Nas, 2016).
- Si transcurren varios años entre la ejecución del análisis y la decisión final, se debe incluir una explicación que indique los motivos por los que se han priorizado otros proyectos. Además, es importante verificar que no se hayan producido cambios sustanciales en las condiciones locales. En caso afirmativo, será necesario modificar el análisis o comenzar de nuevo.

F. Aplicaciones del análisis de la relación costo-beneficio y del análisis de costo-efectividad en América Latina y el Caribe

1. Países y sectores que utilizan el análisis de la relación costo-beneficio

El análisis de la relación costo-beneficio, al igual que el análisis de costo-efectividad, busca apoyar y justificar el proceso de toma de decisiones en las inversiones. Sin embargo, en algunos casos no es de carácter obligatorio ni es este su objetivo exclusivo (véase el cuadro III.6). Además, es preciso señalar que en todos los países mencionados el análisis de la relación costo-beneficio considera más de un único objetivo y, en la mayoría de los casos, más de dos.

³ Cuando se trata de la disposición a pagar por bienes ambientales, se pueden recopilar y sistematizar datos que consideren aspectos adicionales (por ejemplo, diferentes grupos socioeconómicos).

■ Cuadro III.6

América Latina y el Caribe (12 países): objetivo general del análisis de la relación costo-beneficio según legislaciones, regulaciones o documentos oficiales, 2015

	Existe un fundamento jurídico del análisis de la relación costo-beneficio	Objetivo general del análisis de la relación costo-beneficio					
		Instrumento para priorizar la inversión	Justificación de la elección/decisión y financiamiento del proyecto	Instrumento de rendición de cuentas/transparencia	Una evaluación apoya el diseño del proyecto	Instrumento para el monitoreo del proyecto	Instrumento para el aprendizaje de las políticas públicas
Argentina	Sí ^a		✓		✓	✓	
Chile	Sí ^b	✓	✓		✓		
Costa Rica	Sí ^c	✓	✓		✓		
El Salvador	No ^d				✓		
Guatemala	No ^e	✓	✓		✓		
Honduras	Sí ^a		✓				
México	Sí ^b	✓	✓	✓			
Panamá	Sí ^b	✓	✓		✓		
Paraguay	No ^d		✓	✓	✓		✓
Perú	Sí ^b	✓	✓		✓		
República Dominicana	Sí ^a		✓	✓	✓	✓	✓
Uruguay	Sí ^a		✓		✓		
Total de América Latina y el Caribe		6	11	3	10	2	2

	Existe un fundamento jurídico del análisis de la relación costo-beneficio	Papel principal del análisis de la relación costo-beneficio				Su papel e importancia están aumentando
		Instrumento de decisión para asignar financiamiento a las agencias	Difiere dependiendo de los actores	Uno entre otros instrumentos de toma de decisiones	No tiene un papel decisivo en la toma de decisiones	
Argentina	Sí ^a	✓		✓		✓
Chile	Sí ^b			✓		
Costa Rica	Sí ^c			✓		
El Salvador	No ^d	✓				
Guatemala	No ^e					✓
Honduras	Sí ^a			✓		
México	Sí ^b	✓		✓		✓
Panamá	Sí ^b	✓		✓		
Paraguay	No ^d			✓		
Perú	Sí ^b	✓				✓
República Dominicana	Sí ^a	✓		✓		
Uruguay	Sí ^a					
Total de América Latina y el Caribe		6	0	8	0	4

Fuente: Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos/Banco Interamericano de Desarrollo (OCDE/BID), *Panorama de las Administraciones Públicas: América Latina y el Caribe 2017*, París, 2016.

^a Sí, hay un requisito legal en todo el país para los análisis de la relación costo-beneficio, pero solo para una categoría específica de proyectos.

^b El análisis de la relación costo-beneficio es obligatorio en todo el país según la legislación para todos los proyectos de inversión por encima de un determinado umbral financiero.

^c Hay diferentes marcos legales, dependiendo de las agencias.

^d No hay requisito legal, pero el gobierno recomienda un análisis de la relación costo-beneficio y se utiliza de todas maneras.

^e No existe.

Si bien el análisis de la relación costo-beneficio parece hacer énfasis en el resultado económico al especificar costos y beneficios, requiere de un análisis técnico exhaustivo y completo. La gran mayoría de los países, sobre todo aquellos con referencias metodológicas específicas y completas, lo aplican en la etapa de prefactibilidad dentro de la fase de preinversión (véase el diagrama IV.3). Según el cuadro III.6, de los países encuestados en OCDE/BID (2016), solo la Argentina no lo utilizaría para analizar y seleccionar alternativas, ya que lo hace en la fase de viabilidad, después de la selección de alternativas.

El análisis de la relación costo-beneficio tiene un uso preferente y más sistematizado en aquellos sectores que han tenido un mayor tiempo de desarrollo en la región, por ejemplo, agua potable y energía, transporte y sectores vinculados con la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales. Estos instrumentos metodológicos también están presentes en el ámbito de infraestructura de salud y educación. En el cuadro III.7 se expone una caracterización general del uso del análisis de la relación costo-beneficio por país para estos sectores, en el que se destacan elementos pertinentes para una eventual replicabilidad en los sectores extractivos y en proyectos de remediación por parte de los sistemas nacionales de inversión pública.

■ Cuadro III.7

América Latina y el Caribe (7 países): uso del análisis de la relación costo-beneficio en sectores de medio ambiente y recursos naturales

País	Sector	Valoración de beneficios	Comentario
Argentina	Medio ambiente: - Evaluación del sector de residuos sólidos urbanos.	Precios hedónicos, valoración contingente y ahorro de costos.	Beneficios por saneamiento de basurales y solución de problemas de recolección.
Bolivia (Estado Plurinacional de)	Agropecuario: - Riego.	Beneficios por la vía de incrementos de productividad en áreas favorecidas por las inversiones respectivas, para considerar en análisis económico y financiero.	Los beneficios por mayor productividad de suelos podrían darse en el caso de una remediación de pasivos ambientales mineros.
	Medio ambiente: - Conservación y manejo de recursos naturales y ecosistemas. Proyectos menores. - Manejo de cuencas hidrográficas. - Control de calidad ambiental.	Se expresan alternativas para la obtención de valores de beneficios con énfasis en la valoración contingente, pero solo para proyectos mayores.	En el caso de cuencas hidrográficas, existe también mayor productividad por su gestión adecuada, aunque solo se indica la identificación de estos casos, sin llevar a cabo valoraciones.

País	Sector	Valoración de beneficios	Comentario
Chile	Evacuación y drenaje de agua de lluvia.	Explicación general de la valoración de beneficios mediante valoración contingente y precios hedónicos, con mayor énfasis en daño evitado esperado.	Sistema de valoración por daño evitado con equivalencia de aplicabilidad al caso de remediación de pasivos ambientales mineros
	Defensas fluviales.	Beneficios por evitar daños directos (destrucción de infraestructura), daños indirectos (a las actividades) y externalidades (seguridad, salud y estética). Además, beneficios por revalorización.	Similar al punto anterior.
	Medio ambiente: - Valorización de residuos municipales.	Beneficios por ahorro en disposición de rellenos, por ventas (refleja agregación de valor) y por ahorro de recursos y energía en procesos internos (reciclaje).	La agregación de valor puede ser también una alternativa de valoración asociada a la remediación de pasivos ambientales mineros.
	Caletas pesqueras.	Beneficios por ahorro de recursos y pérdidas en la extracción, e incremento en su capacidad.	Se dan casos de infraestructura de apoyo también para aumentar la productividad de recursos naturales.
	Silvoagropecuario: - Embalses multipropósito. - Riego y drenaje.	Aumento de excedentes agrícolas por mejora en el rendimiento de los predios y ahorro de costos de producción, conservación y liberación de recursos. Aumento por disposición de agua para otros usos (como energía o minería).	Existe también mayor productividad de los suelos debido a las inversiones.
	Megaparques urbanos.	Indicaciones para estimar la disposición a pagar mediante valoración contingente o precios hedónicos.	Aunque no sería a nivel urbano, los parques podrían ser parte de algunas alternativas de remediación de pasivos ambientales mineros.
Costa Rica	Infraestructura en pequeñas áreas de riego.	Valoración de beneficios por el incremento de excedentes de los productores agropecuarios, que ha de reflejarse tanto en el análisis económico como en el financiero.	Existe también mayor productividad de los suelos debido a las inversiones.

Pais	Sector	Valoración de beneficios	Comentario
México	Infraestructura hidroagrícola.	Valoración del beneficio de incremento del excedente social agrícola por aumento de la superficie productiva, mayor rendimiento de las superficies actuales y cambios de cultivos.	Existe también mayor productividad de los suelos debido a las inversiones.
	Medio ambiente: - Construcción de planta de tratamiento de aguas residuales municipales. - Gestión integral de residuos sólidos urbanos.	Descripción de beneficios por incremento en el excedente neto de las actividades productivas y disminución de enfermedades. Los beneficios asociados a los proyectos de manejo integral de residuos sólidos urbanos por lo general se relacionan con la reducción de costos o la liberación de recursos debido a un cambio en la tecnología generado por el proyecto.	Se da una situación de mayor productividad y de ahorro en costos de salud porque se dispone de agua de mejor calidad. Podría deberse también a la remediación de pasivos ambientales mineros. La reutilización de materiales recuperados de los residuos sólidos urbanos genera beneficios productivos y aumento de consumo de materiales.
Perú	Agricultura: - Riego menor. - Riego grande y mediano. - Protección y control de inundaciones.	Beneficios por aumento de la producción agraria, liberación de recursos de sistemas alternativos y ahorro de costos debido a la reducción de riesgos. En el caso de inversiones medianas y grandes, los beneficios incluyen mayor valor de la tierra, mayor valor del agua y mayor producción. En cuanto a las inversiones en protección y control de inundaciones, el beneficio incluye el ahorro de costos relacionados con emergencias e interrupción de servicios, entre otros.	Mayor productividad de suelos y protección de bienes y actividades.
	Turismo.	Beneficios por el aumento del gasto de los turistas (excursionistas extranjeros o nacionales).	Los beneficios del turismo podrían contribuir a la remediación de pasivos ambientales mineros.
Uruguay	Puertos deportivos.	Beneficios por el ingreso de divisas procedentes del turismo y el ahorro de recursos de los usuarios nacionales.	Los beneficios del turismo podrían contribuir a la remediación de pasivos ambientales mineros.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), "Nuevo contenido sobre inversión pública y red SNIP", Santiago, 4 de febrero de 2021 [en línea] <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/news/nuevo-contenido-sobre-inversion-publica-y-red-snip>.

2. Países y sectores que utilizan el análisis de costo-efectividad

El análisis de costo-efectividad se lleva a cabo preferentemente en los sectores de sensibilidad social, como la educación y la salud, y en los referidos a proyectos de infraestructura. Sin embargo, se aplica también en el sector de saneamiento, agua potable y alcantarillado, en las tecnologías de la información y comunicación, en la seguridad policial y las fuerzas armadas, en el cambio de luminarias públicas, en la infraestructura de deportes y justicia, y en la capacitación del sector público. Al igual que el análisis de la relación costo-beneficio, el análisis de costo-efectividad se utiliza asimismo en el sector de medio ambiente y recursos naturales (véase el cuadro III.8).

■ Cuadro III.8

América Latina y el Caribe (6 países): uso del análisis de costo-efectividad en los sectores de medio ambiente y recursos naturales

País	Sector	Consideraciones en la definición del criterio de eficiencia	Comentario
Bolivia (Estado Plurinacional de)	Medio ambiente: - Conservación y manejo de recursos naturales y ecosistemas. Proyectos menores. - Manejo de cuencas hidrográficas. - Control de calidad ambiental. - Categorización de proyectos de residuos sólidos.	En inversiones menores y más frecuentes, se recomienda emplear el indicador de costo-eficiencia, que representa el cambio esperado en relación con la meta establecida para cada caso. En cambio, se sugiere utilizar el análisis de costo-efectividad en proyectos mayores y medianos de residuos sólidos (evaluación económica del proyecto).	Este sector también se considera en el análisis de la relación costo-beneficio, pero debido a criterios de tamaño y costo, merece un análisis relativamente menos complejo (evita valorar beneficios).
Chile	Medio ambiente: - Residuos sólidos domiciliarios.	Comparación y selección de alternativas a través del indicador de costo por tonelada dispuesta.	Consideraciones medioambientales para el análisis.
Costa Rica	- Sitios de disposición final de residuos sólidos ordinarios.	Generación de alternativas que se pueden seleccionar mediante el costo mínimo basado en el valor actual de los costos y el costo anual equivalente. La indicación de valoración de beneficios se utiliza únicamente en casos de fácil cuantificación.	Similar al caso anterior.
Honduras	Agroforestal: - Sistema de riego.	Selección de alternativas mediante indicadores de costo anual equivalente por litro de agua entregada y de costo mínimo, en condiciones de igualdad de calidad y regularidad del recurso entregado.	Este sector también se considera en el análisis de la relación costo-beneficio. Se utilizan alternativas de criterios de eficiencia para reemplazar la valoración de beneficios.

País	Sector	Consideraciones en la definición del criterio de eficiencia	Comentario
México	Medio ambiente: - Gestión integral de residuos sólidos urbanos.	Los proyectos de tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos se evalúan a través del análisis de costo-efectividad. Los indicadores para el análisis de costo-efectividad incluyen el valor actual de los costos, el costo anual equivalente y el costo medio por tonelada de residuo manejada.	Este sector también se considera en el análisis de la relación costo-beneficio. La recolección de residuos sólidos urbanos reduce las externalidades negativas sobre la comunidad. Se generan beneficios sociales.
Perú	Servicios de limpieza pública.	Selección de alternativas mediante indicadores de costo-eficiencia de unidades monetarias por tonelada métrica de residuos sólidos o por habitantes.	Para el análisis, se tienen en cuenta los aspectos medioambientales.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), "Nuevo contenido sobre inversión pública y red SNIP", Santiago, 4 de febrero de 2021 [en línea] <https://observatoriorplanificacion.cepal.org/es/news/nuevo-contenido-sobre-inversion-publica-y-red-snip>.

3. Características de los marcos nacionales

En muchos países de la región, el análisis de la relación costo-beneficio y el análisis de costo-efectividad no se aplican de forma concreta por sectores. En cambio, existe una guía de aplicación general, con lineamientos amplios y conceptuales sobre la forma de llevar a cabo esos análisis y las situaciones en las que se debe aplicar uno u otro. El análisis de la relación costo-beneficio se puede efectuar en casos específicos, aunque el país en cuestión no disponga de un instrumento referencial o de una guía (por ejemplo, las inversiones de gran magnitud financiadas mediante agencias internacionales como el Banco Interamericano de Desarrollo y el Banco Mundial en El Salvador).

En lo que respecta al análisis de la relación costo-beneficio, los sectores que son similares consideran los beneficios de igual forma. En todos los países, se aplica en el sector de transporte el beneficio por disminución del costo generalizado de viaje. En casos especiales, se incluyen beneficios asociados al aumento de la productividad debido a una mayor comercialización.

Cuando se revisan los instrumentos que utilizan el análisis de costo-efectividad, las administraciones de los países pueden adoptar criterios de eficiencia o efectividad que no necesariamente son iguales para sectores equivalentes. En determinadas situaciones, no se ofrece un indicador concreto, lo que permite considerar aquellos que sean específicos para el tipo de proyecto en cuestión.

En aquellos países que disponen solamente de una referencia general y no dividida por sectores, los sistemas nacionales de inversión pública suelen tener un desarrollo más

reciente. Desde la década de los setenta, la implementación de estos sistemas en los países de la región ha fomentado el uso del análisis de la relación costo-beneficio como herramienta principal para guiar, apoyar y determinar la inversión pública en la mayoría de estos países. Los sistemas nacionales de inversión pública tienen como objetivo, entre otras cosas, orientar y racionalizar la asignación y ejecución eficiente de recursos de inversión pública en cada país, lo que contribuye a institucionalizar cada vez más la adopción del análisis de la relación costo-beneficio y del análisis de costo-efectividad en la región.

Los responsables de estos sistemas se encargan de mantener actualizados los precios sociales (cuenta o sombra) necesarios para que tanto el análisis de la relación costo-beneficio como el análisis de costo-efectividad generen valores o indicadores económicos o sociales. De esta manera, al aplicarlos en las inversiones correspondientes, se refleja el costo de oportunidad efectivo para la economía del país (véanse los capítulos V y VI).

En la mayoría de los países encuestados por OCDE/BID (2016), el análisis de la relación costo-beneficio se lleva a cabo mediante un concepto integrado del análisis financiero, y cerca de la mitad de estos países incorporan además la cuantificación de externalidades ambientales. En cuanto a las oportunidades de mejora, se destacó que los países no incorporan sistemáticamente la evaluación de las consecuencias de las inversiones en el desarrollo regional, lo que tal vez podría subsanarse a través de un enfoque distributivo con diferencias por territorio (véase el capítulo VI).

Capítulo IV

Pasos previos para realizar una evaluación integral y con enfoque de sostenibilidad en un proyecto de remediación

Introducción

En este capítulo se plantean las principales variables que deben considerarse para llevar a cabo el análisis de la relación costo-beneficio y que posteriormente este permita evaluar las opciones de remediación. En particular, se caracterizan los componentes de un proyecto a través de su ciclo de vida y se señalan las condiciones previas para realizar un análisis de la relación costo-beneficio.

Se describen los pasos tradicionales para la ejecución de este tipo de análisis y los demás componentes que permitirán incluir el énfasis en sostenibilidad. Además, se presenta la metodología de modelo conceptual para caracterizar los impactos y riesgos del pasivo ambiental minero y se hace hincapié en la importancia de determinar el área de influencia. Se detallan asimismo los pasos necesarios para llevar a cabo una evaluación de riesgos, que incluya las condiciones de vulnerabilidad y la necesidad de cuantificar los impactos de una eventual inacción.

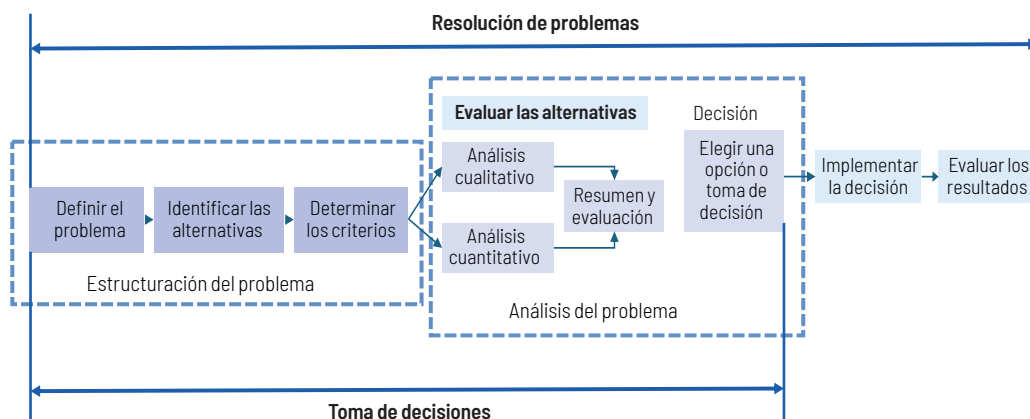
Por último, se destacan: i) los mecanismos previstos para garantizar la factibilidad de la inversión; ii) las herramientas metodológicas, y iii) la información y documentación requeridas para comenzar el análisis de la relación costo-beneficio y el análisis de riesgos.

A. Ciclo de un proyecto

La preparación de proyectos de remediación requiere la definición del proyecto, que comienza por identificar y analizar problemáticas, necesidades, oportunidades o riesgos que lo motivan (en este caso asociados al pasivo ambiental minero). Sobre la base de lo anterior y a los efectos de su implementación, se realizan estudios de factibilidad que servirán para valorar la rentabilidad del proyecto. La toma de decisiones se inicia al identificar y definir el problema, y termina con la elección de una alternativa (véase el diagrama IV.1). Un proyecto de remediación de un pasivo ambiental minero se da por concluido una vez se ha implementado de manera satisfactoria.

■ Diagrama IV.1

Etapas en la resolución de problemas



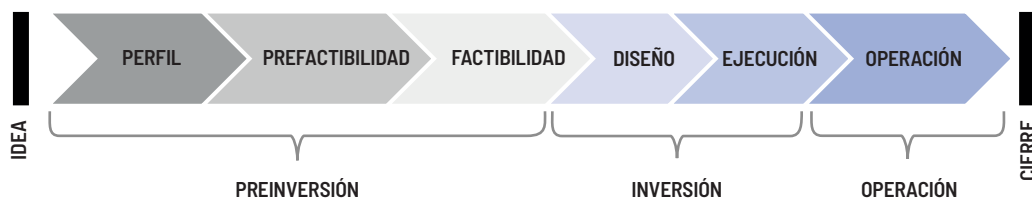
Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de G. Toskano, "El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores: aplicación en la selección del proveedor para la empresa gráfica comercial MYE S.R.L.", Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), 2005.

El ciclo de vida de cada proyecto, en este caso la ejecución de obras de remediación, está conformado por tres etapas principales: i) preinversión; ii) inversión, y iii) operación. Entre la idea y el cierre del proyecto se encuentran diversas fases que garantizan que el proyecto alcance sus objetivos de manera eficaz y eficiente considerando el interés público (véase el diagrama IV.2).

Es necesario que durante todas las etapas del ciclo de vida del proyecto se disponga de los recursos financieros suficientes y se los incorpore en el presupuesto del proyecto. De acuerdo con las exigencias legislativas, la escala y la naturaleza del proyecto, se establece también un fondo destinado a financiar la eventual activación del plan de remediación. El perfil de los recursos humanos, así como su número, varían a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

■ Diagrama IV.2

Etapas en el ciclo de vida de un proyecto



Fuente: E. Morín, *Guía general para la presentación de evaluaciones costo y beneficio de programas y proyectos de inversión*, 2018, Ciudad de México, Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), 2018.

1. Preinversión

En la fase de preinversión se consideran todos aquellos estudios previos a la inversión que contribuyen a minimizar la incertidumbre de los resultados esperados del proyecto en las subetapas de diseño, ejecución y operación. En cuanto a la ejecución de los estudios señalados, por lo general, se establecen tres niveles de profundidad: perfil, prefactibilidad y factibilidad (véase el cuadro IV.1). Cuando los proyectos de remediación de pasivos ambientales mineros (como cualquier otra obra civil) son responsabilidad del Estado, es necesario poner en marcha, en función de su complejidad, mecanismos de evaluación socioeconómica que garanticen su financiamiento. Si las obras que se requieren para remediar pasivos ambientales mineros son complejas o extensas, la evaluación socioeconómica deberá incluir el análisis de la relación costo-beneficio.

■ Cuadro IV.1

Clasificación de programas y proyectos de inversión presentes en el análisis de la relación costo-beneficio

Nivel de estudio	Tipo de análisis
Conceptualización	Ficha técnica
Perfil	Análisis de la relación costo-beneficio (simplificado)
	Análisis de costo-efectividad (simplificado)
Prefactibilidad	Análisis de la relación costo-beneficio
	Análisis de costo-efectividad

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de J. Meixueiro y otros, "Guía general para la presentación de estudios de evaluación socioeconómica de programas y proyectos de inversión: análisis costo-beneficio. Actualización 2015", Ciudad de México, Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), 2015.

Los estudios a nivel de prefactibilidad, tanto en el análisis de la relación costo-beneficio como en el análisis de costo-efectividad, buscan aumentar la precisión de las estimaciones de las variables pertinentes que influyen en el proyecto (como los costos y, en el caso del análisis de la relación costo-beneficio, los beneficios). Además de los elementos considerados en la evaluación a nivel de perfil, se emplean fuentes de información primarias como: i) trabajo de campo; ii) estudios técnicos; iii) cotizaciones, y iv) encuestas elaboradas especialmente para la evaluación del proyecto (véanse el diagrama IV.3 y el capítulo VI). La cuantificación y la valoración de los costos y beneficios son, por lo tanto, más detalladas y precisas, y tienen un mayor grado de confiabilidad. La información utilizada para el análisis a nivel de prefactibilidad deberá ser verificable e incluir las fuentes respectivas. Los parámetros de costos se obtienen mediante estudios de ingeniería básica.

Es indispensable que durante la preinversión la dependencia promotora de un proyecto invierta en estudios que determinen los siguientes tipos de factibilidad (Morín, 2018):

- i) **Factibilidad de mercado:** se estudia el comportamiento de la demanda, la oferta y los precios para garantizar el uso futuro de los bienes o servicios que proporcionará el proyecto de remediación durante su operación, a fin de optimizar el tamaño, el momento de inversión y la ubicación del proyecto.
- ii) **Factibilidad técnica:** se elaboran estudios de ingeniería que determinan el uso eficiente y eficaz de los recursos disponibles para producir los bienes o servicios que ofrecerá el proyecto. Se evalúan las alternativas y las condiciones en las que se pueden combinar los factores productivos. Además, los costos y los ingresos operativos asociados, así como las medidas de mitigación de riesgos ante posibles desastres establecidos para cada alternativa, se definen a través de la cuantificación y la proyección en el tiempo de los montos de las inversiones de capital.
- iii) **Factibilidad financiera:** se determinan los mecanismos de financiamiento que garanticen la ejecución y la operación continua del proyecto durante su vida útil.
- iv) **Factibilidad legal:** se asegura que el proyecto de inversión cumpla durante todas sus fases con el marco legal.
- v) **Factibilidad ambiental:** se analiza el efecto que el proyecto tendrá sobre las condiciones ambientales del sitio donde se va a desarrollar, las regulaciones a las que debe ajustarse y las restricciones a su ejecución u operación. Se determina si es posible ejecutar el proyecto, si requiere modificación o si debe cancelarse o reubicarse.

- vi) **Factibilidad institucional:** se busca comprobar si las instituciones que participan en el proyecto cuentan con las atribuciones y capacidades técnicas, legales, normativas y financieras, entre otras, para ejecutar, operar y mantener el proyecto de inversión (véase el recuadro IV.1).

■ Recuadro IV.1

Falta de rubros específicos para los pasivos ambientales minero

La remediación de pasivos ambientales mineros puede incluirse en la categoría de proyectos de infraestructura social y ambiental. Cabe señalar que en los manuales o clasificadores por objeto del gasto no es fácil encontrar un rubro presupuestario que corresponda a la ejecución de proyectos de remediación de pasivos ambientales mineros, pues dichos clasificadores se han concebido para proyectos de infraestructura tradicional. Su desarrollo no ha ido acompañado del surgimiento de nuevos tipos de tareas gubernamentales asociadas a las problemáticas ambientales (SHCP, 2018).

La falta de un rubro específico para la remediación de pasivos ambientales mineros presenta uno de los obstáculos que se manifiestan al momento de determinar la factibilidad legal e institucional. Por ejemplo, en el caso de México, en el capítulo 6 000 de gasto (inversión pública), así como en los subcapítulos 6 100 (obra pública en bienes de dominio público), 6 200 (obra pública en bienes propios) y 6 300 (proyectos productivos y acciones de fomento) no se encuentra ningún subrubro relacionado con la remediación de pasivos ambientales mineros.

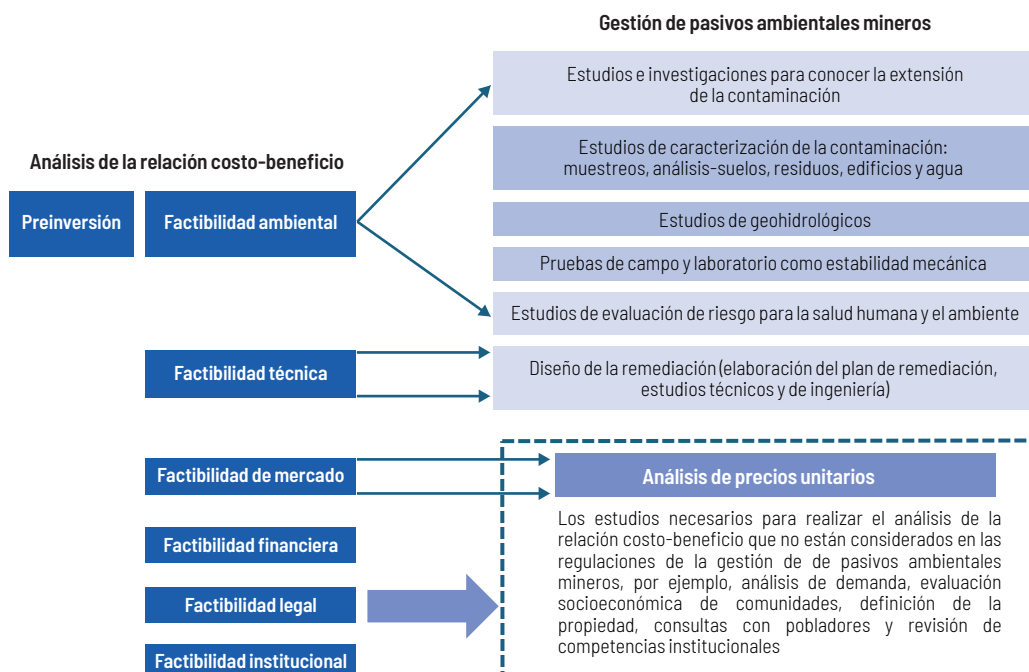
Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Secretaría de Hacienda y Crédito Público de México (SHCP), "Clasificador por objeto del gasto para la Administración Pública Federal", *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 26 de junio de 2018.

La evaluación socioeconómica del proyecto (en el marco del análisis de la relación costo-beneficio) solamente se podrá llevar a cabo con los estudios de factibilidad, combinados con estudios específicos, y permitirá concluir si el proyecto es socioeconómicamente rentable (Morín, 2018; véase el diagrama IV.3).

El costo del estudio debe estar en línea con el nivel de inversión. En el caso de la remediación de pasivos ambientales mineros, esto implica una variedad de iniciativas con distintas características (por ejemplo, en relación con los emplazamientos, los tipos de pasivos ambientales mineros y los tipos de remediación). Por lo tanto, hay elementos comunes asociados a proyecciones económicas y pronósticos técnicos que, al incorporarse en una guía metodológica como la presente, permiten llevar a cabo estudios de análisis de la relación costo-beneficio a nivel de perfil con un nivel de confianza satisfactorio respecto de la robustez de los resultados.

■ Diagrama IV.3

Etapa de preinversión en el ciclo de vida de un proyecto y su relación con la gestión de pasivos ambientales mineros



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de E. Morín, *Guía general para la presentación de evaluaciones costo y beneficio de programas y proyectos de inversión*, 2018, Ciudad de México, Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), 2018; U. Ruiz, *Guía técnica para orientar la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental de sitios contaminados*, Ciudad de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2006; Presidencia de la República de México, *Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, Ciudad de México, 2006.

2. Inversión

Durante la etapa de inversión, se ponen en marcha las obras de remediación, rehabilitación o restauración, lo que incluye componentes, equipamiento, diseño de procesos y procedimientos, liberación de afectaciones y gestión de recursos humanos. En esta fase se llevan a cabo todas las acciones necesarias para garantizar, en su momento, la adecuada operación del proyecto (Morín, 2018).

3. Operación del proyecto de remediación

En la fase de operación, se atiende el problema, la necesidad, la oportunidad o el riesgo que le dio origen al proyecto de remediación. En otras palabras, es la etapa en la que el proyecto

genera beneficios. No obstante, también se generan costos de operación y de mantenimiento y reinversiones de activos que van concluyendo con su vida útil (Morín, 2018).

Para todo el ciclo del proyecto de remediación de un pasivo ambiental minero se elabora un plan de gestión en el cual se detallan las orientaciones, los datos y las consideraciones más importantes (véase el diagrama IV.4). La organización a cargo del proyecto debe mantenerlo actualizado.

■ Diagrama IV.4

Documentación para el plan de gestión de remediación



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Organización Internacional de Normalización (ISO), *Mine closure and reclamation – Managing mining legacies – Part 1: requirements and recommendations*, Ginebra, 2023; *Mine closure and reclamation – Managing mining legacies – Part 2: case studies and bibliography*, Ginebra, 2023; E. Garbarino y otros, *Best Available Techniques (BAT): Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries in accordance with Directive 2006/21/EC*, Luxemburgo, Comisión Europea, 2018.

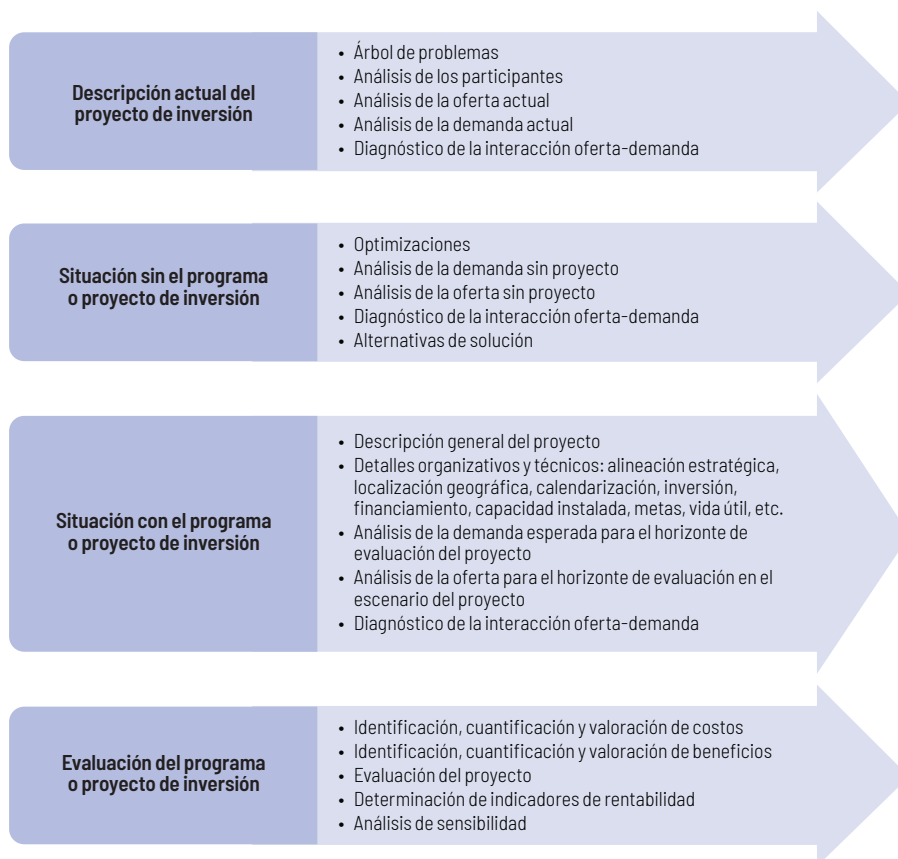
Nota: Esta guía no sustituye la norma de la Organización Internacional de Normalización (ISO). El cumplimiento de la norma requiere consultar las referencias indicadas en ISO (2023a y 2023b).

B. Pasos para llevar a cabo un análisis de la relación costo-beneficio con un enfoque de sostenibilidad

La presente guía está orientada a estudios a nivel de **perfil** que permiten tomar la decisión de realizar o no la inversión en remediación derivada del análisis de la relación costo-beneficio o servir de apoyo para decidir sobre un posible desembolso vinculado con estudios más profundos de **prefactibilidad** o **factibilidad** (véanse los diagramas IV.2 y IV.5). Esta necesidad puede surgir, por ejemplo, en pasivos ambientales mineros que requieren la recuperación de cantidades y calidades específicas de sus componentes.

■ Diagrama IV.5

Piezas constituyentes del análisis de la relación costo-beneficio



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de E. Morín, *Guía general para la presentación de evaluaciones costo y beneficio de programas y proyectos de inversión*, 2018, Ciudad de México, Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), 2018.

Antes de la ejecución del análisis de la relación costo-beneficio, es necesario tener claras las obligaciones que emanan de los mecanismos de rendición de cuentas existentes (véase el capítulo II). Al igual que las definiciones de pasivos ambientales mineros, estos influirán en el alcance de los proyectos de remediación, rehabilitación o reactivación. Por lo tanto, son esenciales para justificar y fundamentar un análisis de la relación costo-beneficio que lleve a solicitar los recursos. Se describen seis pasos clave para llevar a cabo un análisis de la relación costo-beneficio integral con vistas a remediar un pasivo ambiental minero (véase el diagrama IV.6).

■ Diagrama IV.6

Pasos del análisis de la relación costo-beneficio para remediar un pasivo ambiental minero



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile (CONAMA), *Análisis y Desarrollo de Metodologías de Evaluación Económica para Planes de Descontaminación y Normas de Calidad Ambiental*, Santiago, 1997; Ministerio del Medio Ambiente de Chile (MMA), *Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire*, Santiago, 2013; S. Farrow y M. Toman, "Using environmental benefit-cost analysis to improve government performance", *Discussion Paper*, N° 99-11, Washington, D.C., Resources for the Future, 1998; Universidad de Maastricht/Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente/Instituto Holandés de Salud Mental y Adicciones (Universidad de Maastricht/RIVM/Instituto Trimbos), *Social Cost-benefit Analysis of Tobacco Control Policies in the Netherlands*, Maastricht, 2016.

1. Análisis y definición del problema del pasivo ambiental minero

La primera etapa del análisis de la relación costo-beneficio consiste en aclarar y caracterizar lo mejor posible el problema que se espera solucionar con un proyecto de remediación. El análisis mediante el árbol de problemas es una herramienta que proporciona una visión panorámica del problema y sus posibles soluciones. Se utiliza ampliamente en los sectores de inversión pública en la región para medir causas y efectos (Wood, 1996).

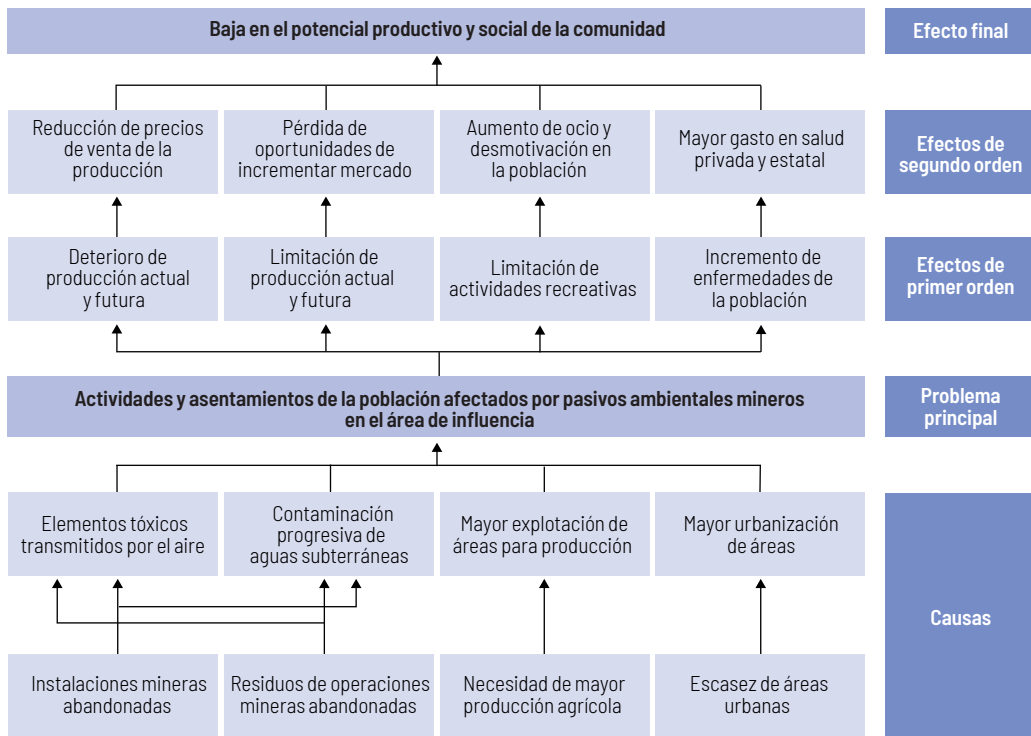
En este paso, se hace un relevamiento de todos los problemas identificados en la comunidad afectada a la fecha del estudio, y se los clasifica como causa o efecto con respecto a un problema central (véase el diagrama IV.7). El objetivo es establecer una relación causal entre todos los problemas que puedan ser percibidos en una comunidad debido a la existencia

de uno o más pasivos ambientales mineros. Al detallar la desagregación del árbol de causas y efectos, aumenta la posibilidad de identificar soluciones más efectivas y definir con mayor precisión los beneficios de las acciones propuestas de remediación. La información sobre los problemas causados por el pasivo ambiental minero se puede obtener principalmente de consultas a la población, dada su gran sensibilidad en relación con los efectos, y de referencias escritas como estudios y proyectos (véase el capítulo II).

Los sitios contaminados pueden identificarse mediante el análisis pormenorizado del origen de las transferencias de materiales, los residuos peligrosos y las instalaciones remanentes de faenas mineras que han provocado daños al medio ambiente. Además, pueden producirse impactos negativos en los ecosistemas sin que estén directamente relacionados con materiales o residuos peligrosos. Por ejemplo, la tala ilegal de bosques, la degradación de cuerpos de agua superficial por vertido de aguas residuales o la degradación de manglares, humedales o zonas de protección ambiental o natural también pueden causar daños.

■ Diagrama IV.7

Ejemplo de árbol de problemas de un proyecto de remediación de pasivos ambientales mineros con instalaciones y residuos de operaciones mineras

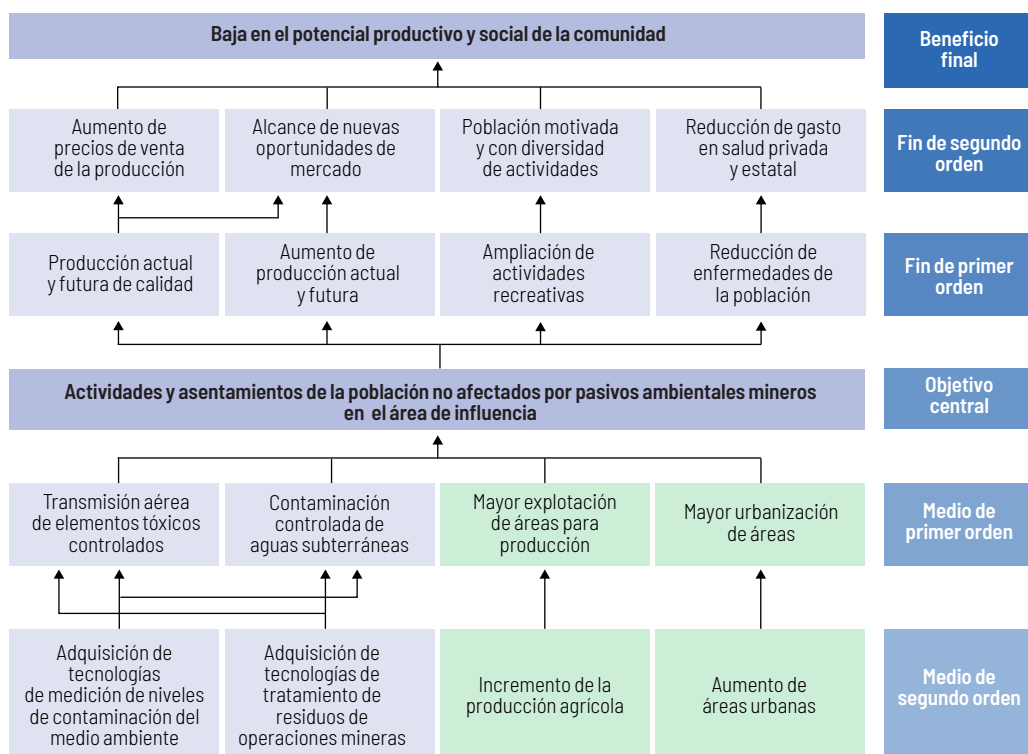


Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de E. Ortegón, J. Pacheco y H. Roura, "Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública", serie Manuales, N° 39 (LC/L.2326-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2005.

A continuación, se crea el árbol de medios y fines o árbol de objetivos, que es la versión positiva del árbol de causas y efectos. En este enfoque, las causas se convierten en medios para lograr un objetivo central, que es la solución del problema. Además, los efectos se transforman en los fines que se desean alcanzar al cumplir este objetivo central (véase el diagrama IV.8). El hecho de convertirlo en objetivo central implica que las actividades y los emplazamientos de la población no se vean afectados por los pasivos ambientales mineros, y que los fenómenos negativos pasen a ser positivos. Por ejemplo, si la causa del problema fuera la contaminación de las napas subterráneas, el objetivo deseado sería que estas napas no contuvieran contaminantes, que la contaminación estuviera confinada y reducida, y que no afectara a la salud ni a las actividades. Asimismo, se estudiarían otras combinaciones que generen alternativas de solución.

■ Diagrama IV.8

Ejemplo de árbol de medios y fines de un proyecto de remediación de pasivos ambientales mineros



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de E. Ortegón, J. Pacheco y H. Roura, "Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública", *serie Manuales*, N° 39 (LC/L.2326-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2005.

Nota: En verde se indican los elementos exógenos correspondientes al crecimiento demográfico.

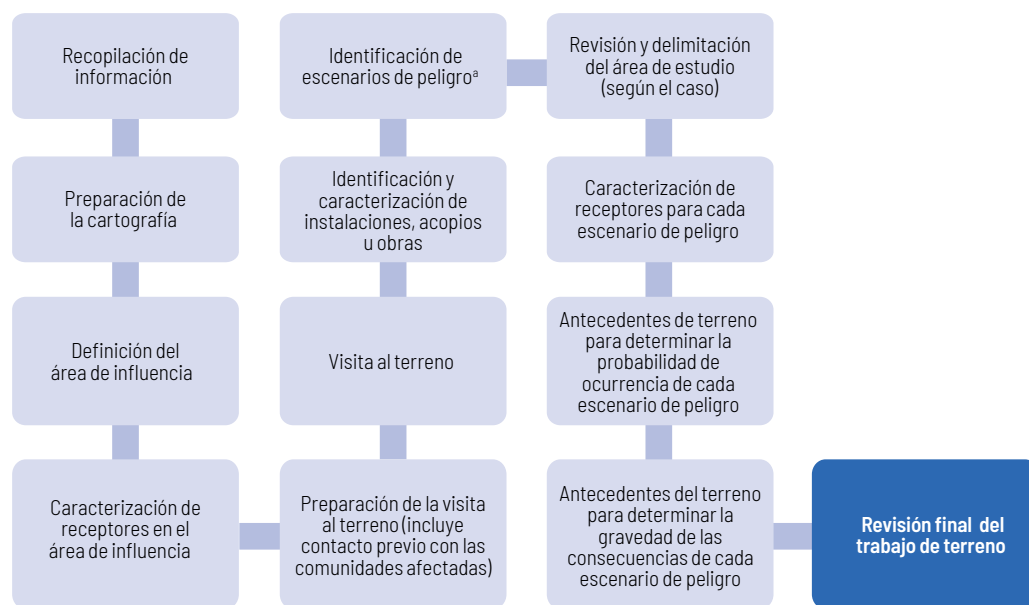
La máxima apertura posible del árbol favorece la identificación de aportes específicos de un proyecto de remediación. Por ejemplo, un menor gasto en salud puede estudiarse por grupos de afectados o tipos de enfermedades y de tratamientos, entre otros, lo que permite hacer una valoración más exhaustiva de los beneficios. En la siguiente etapa de diagnóstico, estas diferencias permiten incorporar información detallada (por ejemplo, estadísticas de morbilidad), y así lograr una cuantificación adecuada. De hecho, cuanto mayor sea la cantidad de causas analizadas, mayor será la cantidad de acciones que apunten a resolver el problema (Ortegon, Pacheco y Roura, 2005).

2. Diagnóstico de la situación actual (sin remediación)

El análisis de la situación actual requiere llevar a cabo trabajos preparativos, incluso antes de evaluar los escenarios de riesgo (véase el diagrama IV.9). Asimismo, se basa en los resultados de muestreos e investigaciones de caracterización del sitio (estudios geohidrológicos, pruebas de campo, estudios geofísicos, cartografía, entre otros).

■ Diagrama IV.9

Actividades preparatorias



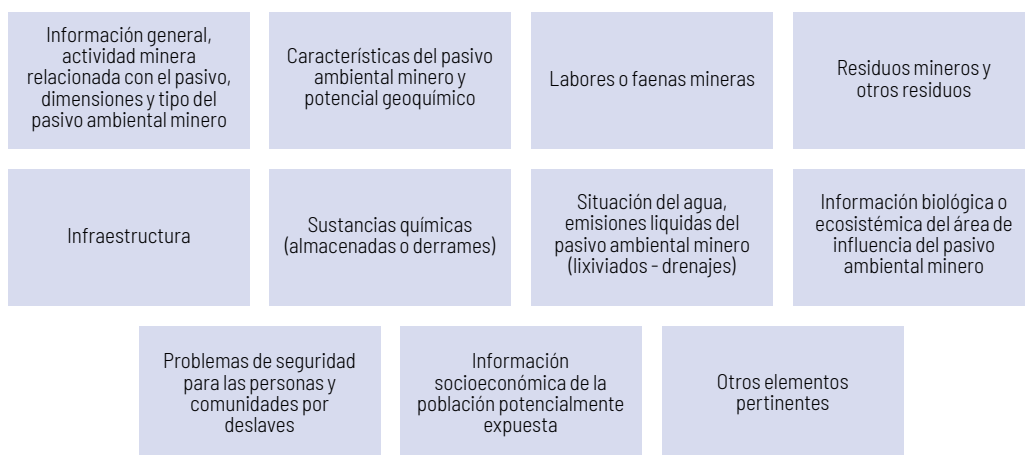
Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales/Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (BGR/SERNAGEOMIN), *Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas FMA/P*, Santiago, 2008.

^a Para cada instalación, acopio u obra.

Una vez integrada y verificada para fines de control de calidad, la información sobre pasivos ambientales mineros se sistematiza en bases de datos (por ejemplo, mediante fichas; véase el diagrama IV.10).

■ Diagrama IV.10

Tipos de información recopilada después de la visita de campo



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

A continuación, para elaborar el diagnóstico de la situación actual y en sintonía con los pasos listados en el diagrama IV.9, es necesario profundizar en los siguientes puntos: i) definición del área de influencia; ii) caracterización del área de influencia; iii) caracterización del pasivo ambiental minero identificado, y iv) aplicación de un modelo conceptual al pasivo ambiental minero para establecer la línea de base.

a) Definición del área de influencia

Se establece el límite geográfico para realizar el análisis, es decir, el área en la cual se presenta el problema, donde se encuentran sus causas y se manifiestan sus efectos (véase el recuadro IV.2). Por lo tanto, se priorizan los siguientes criterios:

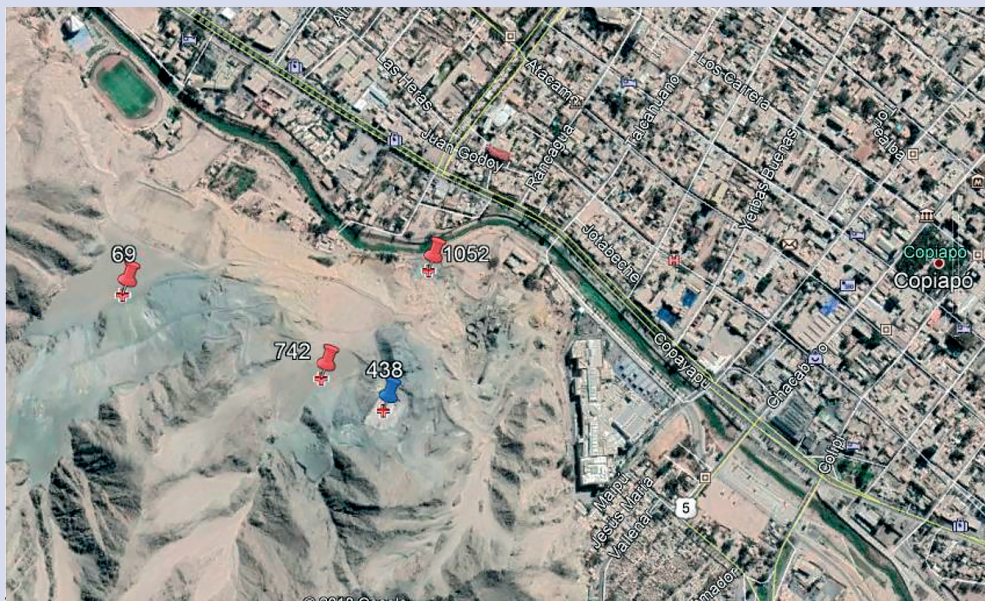
- La ubicación de los pasivos ambientales mineros identificados y toda el área de expansión de sus efectos constituyen el criterio básico.
- Si el área coincide con alguna división política o administrativa (como localidad, comuna, distrito, región), se facilita la obtención de estadísticas e información histórica, y así se evita una recopilación de datos específica.
- Se incluyen los límites naturales, los límites definidos por la infraestructura o algún otro elemento de magnitud que pueda seccionar el área (por ejemplo, cadenas de cerros, ríos, lagunas, lagos, autopistas, vías férreas).
- Se incluyen poblados, comunidades y viviendas que se encuentren dentro del área de influencia del pasivo ambiental minero.

■ Recuadro IV.2

Visualización gráfica del área de influencia

El área de influencia debe quedar claramente establecida de acuerdo con la ubicación de los pasivos ambientales mineros identificados. Con este fin, se puede crear un extracto de mapa mediante la utilización de servicios de mapeo web como Bing Maps o Google Maps (véase el mapa). Otra opción es plasmar los pasivos ambientales mineros en un croquis o bosquejo gráfico.

Pasivos ambientales mineros (69, 742 y 1052) en el sector poniente de Copiapó (Chile)



Fuente: M. Silva y G. Suazo, "Metodologías para el uso de factores de emisión: material particulado en depósitos de relaves abandonados", *serie Medio Ambiente y Desarrollo*, N° 170 (LC/TS.2020/92), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.

Nota: Los límites y los nombres que figuran en este mapa no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Se recomienda delimitar un área del mapa lo suficientemente amplia para verificar las características más pertinentes relacionadas con las actividades que puedan verse afectadas por el pasivo ambiental minero. Si en el extracto de mapa no figura la información completa, esta se puede agregar mediante una edición del gráfico (siempre que sea posible) o mediante la incorporación de símbolos y explicaciones escritas.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de M. Silva y G. Suazo, "Metodologías para el uso de factores de emisión: material particulado en depósitos de relaves abandonados", *serie Medio Ambiente y Desarrollo*, N° 170 (LC/TS.2020/92), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.

b) Caracterización del área de influencia

Una vez definida el área de influencia, se describen las principales características para contextualizar y dimensionar el problema, y tener una visión preliminar de las partes interesadas y los costos y beneficios asociados (véase el cuadro IV.2).

■ Cuadro IV.2

Categorías de información a recopilar sobre el área de influencia

<p>Población</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de población y su evolución (por ejemplo, tasa de crecimiento, hitos o elementos que puedan alterar la tendencia, como la instalación de nuevas industrias o faenas productivas, la estacionalidad o los atractivos turísticos) • Distribución territorial de la población y tipo de asentamiento (rural o urbano) • Distribución etaria y de género de la población y su evolución • Distribución socioeconómica de la población (por ejemplo, niveles de pobreza, empleo, escolaridad, actividad económica) • Población enferma • Distancias físicas entre los asentamientos poblacionales y los pasivos ambientales mineros identificados. • Patrimonio histórico o cultural (por ejemplo, para los grupos indígenas; ISO, 2023a)
<p>Actividades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipos de actividades productivas principales (industrial, forestal, agrícola, turismo o minería), nivel de productividad y relación con áreas administrativas superiores (por ejemplo, comuna respecto de provincia o región) • Actividades y nivel de empleo • Uso del territorio • Otras actividades (culturales, deportivas o religiosas)
<p>Infraestructura y servicios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad, calidad, tipo y ubicación de la infraestructura: <ul style="list-style-type: none"> – pública (vías de transporte, puentes o edificios públicos) – privada (conjuntos habitacionales o instalaciones industriales, comerciales o financieras) • Cantidad, calidad y tipo de los servicios: <ul style="list-style-type: none"> – públicos (agua potable, alcantarillado, energía, comunicaciones, transporte público, salud, educación, seguridad pública) – privados (ocio y entretenimiento)
<p>Territorio y ecosistemas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recursos naturales y medioambientales, flora y fauna de la zona • Parques naturales y áreas de protección • Atractivos turísticos • Geomorfología, estructura y forma de los suelos^a • Hidrología, ubicación, uso y características de cauces y fuentes^b • Distancias físicas entre todos estos elementos y los pasivos ambientales mineros identificados
<p>Condiciones climatológicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nivel e intensidad de las precipitaciones • Orientación e intensidad de los vientos^c
<p>Sismicidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia e intensidad de la sismicidad
<p>Datos específicos de los problemas detectados en el árbol</p> <ul style="list-style-type: none"> • Por ejemplo, la cantidad de hectáreas de cultivos deterioradas y el valor de la producción asociada, la tasa de morbilidad comparativa con zonas que no presentan problemas y el gasto en salud relacionado (que asumen las personas y el Estado)

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Organización Internacional de Normalización (ISO), *Mine closure and reclamation - Managing mining legacies – Part 1: requirements and recommendations*, Ginebra, 2023.

^a En combinación con las condiciones climatológicas, determinan la gravedad de los efectos de los pasivos ambientales mineros.

^b Inciden, entre otras cosas, en la filtración o infiltración de aguas de relaves o en el arrastre de materiales de derrumbe.

^c Transportan partículas potencialmente peligrosas.

c) Caracterización del pasivo ambiental minero identificado

Se recopilan todas las características de los pasivos ambientales mineros identificados para ponderar y evaluar la gravedad de los problemas actuales y el riesgo de problemas a largo plazo. Esto abarca desde aspectos visuales, como la modificación de la estética del paisaje y los impactos en el patrimonio cultural, hasta cuestiones como la contaminación del aire, suelo y agua, ruidos y vibraciones, cambios en la morfología y los suelos, pérdida de flora y fauna, y alteraciones socioeconómicas (véase el capítulo I). De este modo, se registra información específica que permite verificar la existencia de vectores de riesgo previamente explicitados y que combina los elementos del punto anterior con las características del pasivo ambiental minero.

En el caso que se estudia, pueden presentarse algunos de estos vectores de riesgo u otros relacionados con las condiciones del lugar, el clima, y los pasivos ambientales mineros. Todos ellos se han de describir de forma adecuada a fin de sistematizar posteriormente los escenarios de riesgo (véase el capítulo II).

d) Modelo conceptual

El modelo conceptual es una herramienta que plasma las características del pasivo ambiental minero a través de un proceso iterativo, describe el escenario de exposición en el cual los receptores pueden entrar en contacto con las sustancias tóxicas en un sitio contaminado y sirve de base para evaluar los riesgos (Ruiz, 2006; SEMARNAT, 2007; Congreso de la República del Perú, 2014; Comisión Europea, 2010; EPA, 2014; véase el recuadro IV.3). Es importante llevar a cabo una evaluación de riesgos detallada, incluso si el pasivo ambiental minero ya ha pasado por un proceso de gestión técnica que incluía inventarios, muestreos y evaluaciones de riesgos preliminares (Arranz-González y otros, 2020b).

El modelo conceptual proporciona un panorama de la situación en el sitio y permite observar de forma ordenada las fuentes, el destino y el transporte de los contaminantes en las matrices ambientales. Además, ayuda a identificar las vías de exposición y los posibles receptores o recursos afectados. Sobre esta base, se logra definir el problema de la contaminación, así como su alcance, la exposición y los riesgos que se deben mitigar a través de la remediación.

■ Recuadro IV.3

Muestra de definiciones legales del modelo conceptual

En la legislación latinoamericana, se observa una convergencia de las definiciones relativas al modelo conceptual. A continuación, se destacan algunos ejemplos:

Chile: “Relato escrito y/o representación gráfica del sistema ambiental y de los procesos físicos, químicos y biológicos que determinan el transporte de contaminantes desde la fuente, a través de los medios que componen el sistema, hasta los potenciales receptores que forman parte de él” (MMA, 2013b).

México: “Herramienta que permite la representación escrita o esquemática de las condiciones prevalentes en un sitio y que muestra la distribución, los mecanismos de transporte y liberación de los contaminantes y en la que se infieren las posibles rutas^a y vías^b de exposición, así como los receptores potenciales. El modelo conceptual coadyuva también en establecer el área de estudio” (SEMARNAT, 2007).

Perú: “Relato escrito y/o representación gráfica del sistema ambiental y de los procesos físicos, químicos y biológicos, que determinan el transporte de contaminantes desde las fuentes de contaminación hasta los potenciales receptores, a través de los componentes ambientales que forman parte de dicho sistema” (Congreso de la República del Perú, 2017).

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Congreso de la República del Perú, “Aprueban criterios para la gestión de sitios contaminados: decreto supremo N° 012-2017-MINAM”, *El Peruano*, Lima, 2 de diciembre de 2017; Ministerio del Medio Ambiente de Chile (MMA), *Resolución Exenta N° 406/2013. Aprueba Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes y sus Anexos, y deja sin efecto resolución que indica*, Santiago, 2013b; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), “Norma oficial mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio”, *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 2 de marzo de 2007.

^a Caminos por los que llega el contaminante desde la fuente de generación hasta el receptor.

^b Vías o formas de ingreso de los contaminantes al organismo (entre las vías que plantean riesgos para la salud humana se encuentran la ingestión, la inhalación y el contacto dérmico).

El modelo conceptual normalmente se elabora en las primeras etapas de la gestión y la remediación del pasivo ambiental minero. Se procesan los resultados y la información que se obtienen de los estudios de caracterización del sitio antes descritos. Conforme avanza el proceso de caracterización, el modelo conceptual puede sufrir modificaciones según el conocimiento que se va adquiriendo del sitio (véase el diagrama IV.11). Cuando se inicia la elaboración del estudio de riesgo, este proceso puede continuar o no modificando los supuestos y las conclusiones que fundamentan el modelo conceptual. En esta etapa, el modelo conceptual alcanza su versión casi definitiva, pues ya cuenta con las características necesarias para incluirlo en la propuesta de remediación¹.

El modelo conceptual permite definir el problema del pasivo ambiental minero que se busca resolver teniendo en cuenta los contaminantes y las concentraciones que representan un riesgo o que sobrepasan las concentraciones de referencia (nacionales o internacionales), las matrices ambientales afectadas por los contaminantes y las poblaciones o grupos de personas que pueden verse expuestos a los contaminantes (véase el capítulo II). Se consideran los aspectos que afectan la dispersión de los contaminantes (véase el diagrama IV.12).

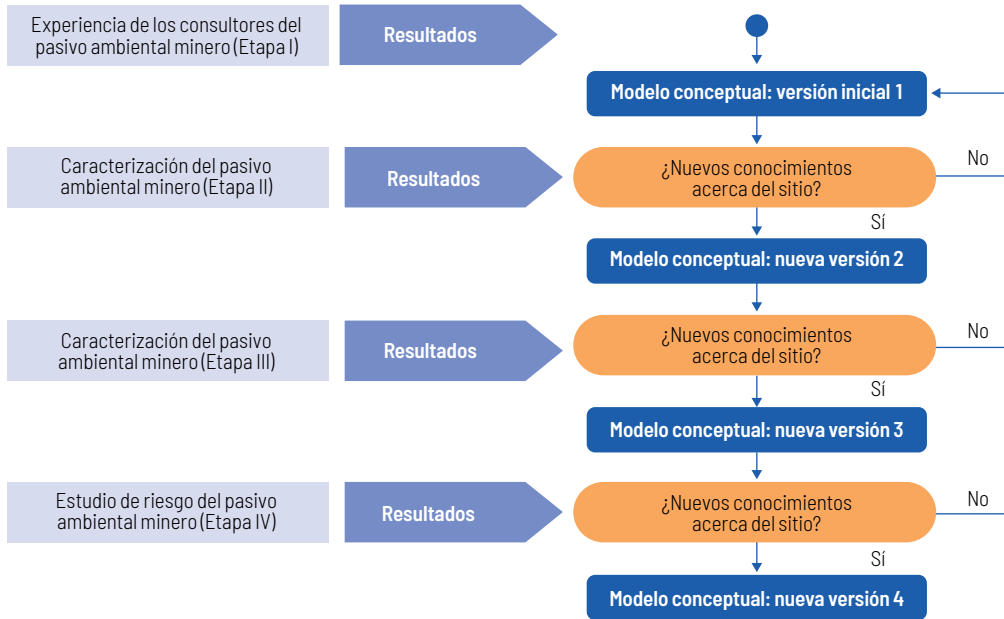
En vista de lo anterior, el modelo conceptual indica los datos que se deben tener en cuenta durante el proceso de remediación y que contribuyen a estimar costos y llevar a cabo el análisis de la relación costo-beneficio (véase el diagrama IV.13). La evaluación de la situación también ayudará a determinar en la etapa de posremediación si las medidas adoptadas generan los beneficios esperados².

¹ La propuesta de remediación contiene el plan de descontaminación, que se presenta a la autoridad para su evaluación y aprobación. Este plan incluye el proceso de remediación, el tratamiento, los insumos, los equipos, los niveles de remediación y el plan de muestreo durante y después de la remediación. Además, se proporciona información necesaria, como los planos de ubicación y las áreas de tratamiento (véase el artículo 141 en Presidencia de la República de México, 2006).

² Por ejemplo, hacer un seguimiento del nivel de plomo en sangre de los niños en una población expuesta, lo que puede provocar un menor desarrollo intelectual y otros problemas de salud (CDC, 2023; EPA, 2018; OMS, 2021a). Se determinan también los ahorros (o beneficios) que se obtendrían si esos niños no tuvieran dichos problemas de salud, considerando los costos del tratamiento y de los cuidados a lo largo de su vida, así como las pérdidas evitadas en términos de productividad laboral.

Diagrama IV.11

Proceso iterativo de elaboración de un modelo conceptual de un pasivo ambiental minero



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), *Guía técnica para orientar la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental de sitios contaminados*, Ciudad de México, 2006.

Diagrama IV.12

Factores que afectan la dispersión de los contaminantes

Propiedades fisicoquímicas de los contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> Residuos (por ejemplo, escorias, relaves, estériles o cenizas), sus concentraciones y la lixiviación de compuestos potencialmente tóxicos Efluentes, lixiviados e infiltraciones líquidas Emisiones particuladas (polvos) y su posible dispersión
Características geohidrológicas del sitio	<ul style="list-style-type: none"> Características edafológicas, geológicas y geohidrológicas del sitio Propiedades fisicoquímicas y mecánicas de escorias, relaves y estériles Concentraciones de fondo que se presentan de forma natural en la cuenca del pasivo ambiental minero Condiciones de los cuerpos de agua y escorrentías en la cuenca inmediata al pasivo ambiental minero
Características climáticas	<ul style="list-style-type: none"> Patrones de lluvia y de vientos Riesgos de fenómenos meteorológicos extremos
Tiempo transcurrido desde el inicio de la contaminación	<ul style="list-style-type: none"> Exposición presente en las casas habitación y en las personas Calidad de los alimentos, las cosechas y el ganado en la zona donde se ubica el pasivo ambiental minero
Características físicas del sitio	<ul style="list-style-type: none"> Estabilidad mecánica de la mina y de los depósitos de residuos, relaves y estériles Edificaciones e instalaciones, sus volúmenes y masa de materiales de edificaciones (potenciales residuos de demolición), así como su posible contenido de contaminantes

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Nota: La lista de ejemplos no es exhaustiva.

■ Diagrama IV.13

Datos relevantes para el análisis de la relación costo-beneficio obtenidos a partir del modelo conceptual

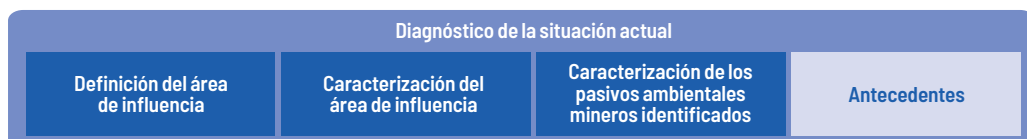
Volumen y masa de suelos contaminados y de agua contaminada	Tipo, volumen y masa de residuos (sólidos urbanos, no peligrosos, de gran volumen y peligrosos)	Riesgos a reducir por ruta y vía de exposición y por grupo poblacional vulnerable
Rutas de exposición a interrumpir	Situación y estabilidad mecánica de tajos a cielo abierto y apilamientos de residuos (relaves, escorias o terreros)	Exposición actual medible en seres humanos (a través de pruebas clínicas)

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Esta etapa concluye con el diagnóstico de la situación actual, que resume los elementos más importantes para identificar y explicar la problemática que el proyecto busca atender. Esto se logra a partir del diagnóstico de la interacción entre la oferta y la demanda del bien o servicio objeto de estudio (véase el capítulo V). En función de los árboles previamente elaborados, se recopila y sistematiza información para dimensionar el problema y cuantificar sus causas y efectos (véase el diagrama IV.14), lo que ayuda a construir alternativas adecuadas (véase el apartado “Elaboración de proyectos de remediación mediante el uso del modelo conceptual” a continuación).

■ Diagrama IV.14

Elementos constitutivos del diagnóstico de la situación actual



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Nota: Los elementos en azul oscuro se encuentran en el modelo conceptual.

e) Relación entre el modelo conceptual y los costos totales

El modelo conceptual representa el soporte de la estimación de costos en todas las etapas del proceso de remediación. La calidad del modelo conceptual influye además en la calidad de los muestreos, el estudio de caracterización y el Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental y a la Salud Humana y, por lo tanto, repercute en la calidad del plan o programa de remediación. En consecuencia, afectará los costos de las distintas alternativas de remediación. Por lo general, cuanto mayor sea el número de puntos de muestreo, menor será la incertidumbre asociada (véase el recuadro IV.4)³.

³ Los software disponibles actualmente (como ArcGIS o Surfer) que se utilizan para determinar áreas y volúmenes de materiales contaminados se basan en métodos de interpolación.

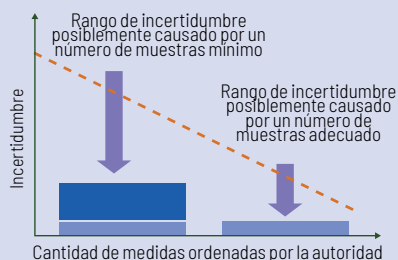
■ Recuadro IV.4

Relación entre cantidad de muestreos, incertidumbre y costos de remediación

Existe una relación inversa entre la cantidad de muestras tomadas y la incertidumbre con respecto a la envergadura de la contaminación y los costos asociados a la remediación (véase el diagrama 1). A modo de ejemplo hipotético, si en una misma área hubiera solo cinco puntos de muestreo y cuatro de ellos tuvieran una concentración alta (puntos rojos) y uno tuviera una concentración media (punto naranja), toda la superficie del sitio se consideraría contaminada (véase el diagrama 2; la técnica de los polígonos de Voronoi se usa como ejemplo y en forma esquemática). Si en esa misma área se aumentara el número de puntos de muestreo, se podrían identificar algunos sin contaminación (puntos verdes). Al hacer las interpolaciones de acuerdo con la técnica geoestadística seleccionada, una parte del sitio se consideraría limpia. El volumen de suelo contaminado parece mayor cuando se manejan menos puntos de muestreo, lo que repercute en los costos (véase el diagrama 3).

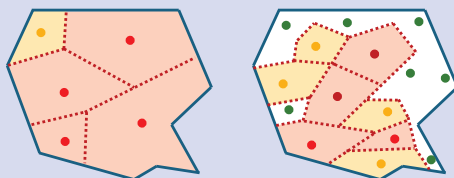
■ Diagrama 1

Relación entre incertidumbre y medidas ordenadas por la autoridad



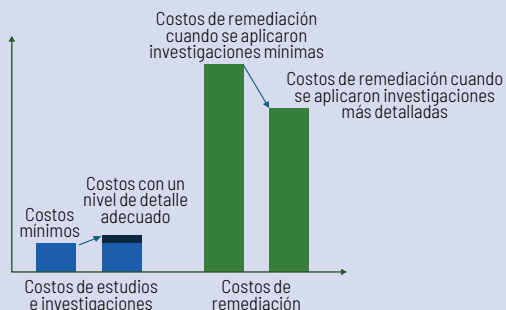
■ Diagrama 2

Aplicación de la técnica de polígonos de Voronoi



■ Diagrama 3

Relación entre costos de remediación e investigación más detallada



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Mediante estudios adecuados de caracterización del sitio, es posible obtener listas priorizadas de materiales ordenados por volumen, toxicidad, textura y proporción de finos o grado de adsorción. Estos datos ayudarán a establecer qué materiales tienen prioridad de ser tratados o dispuestos adecuadamente y qué materiales representan menores riesgos para los seres humanos o los componentes de los ecosistemas.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Por otro lado, el desarrollo del modelo conceptual implica costos no despreciables que aumentan si existen sistemas ambientales y ecosistemas que proteger (véase el diagrama IV.15; véanse más detalles en Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador, 2020). Los costos de los estudios que facilitan la información para elaborar la propuesta de remediación (el plan de descontaminación) se resumen en la inversión fija en el marco del análisis de la relación costo-beneficio. Cuando la problemática es más amplia, aumenta el número de rubros de costos, lo que supone mayores gastos a considerar en los proyectos.

■ Diagrama IV.15

Rubros de costos de estudios asociados a un ecosistema posiblemente afectado

<p style="text-align: center;">Preliminares</p> <ul style="list-style-type: none"> • Visita al sitio • Trabajos de gabinete para ubicación del sitio • Identificación de características físicas 	<p style="text-align: center;">Levantamiento técnico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Levantamiento topográfico • Fotos aéreas • Inventario de instalaciones 	<p style="text-align: center;">Caracterización del sitio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Muestreos • Análisis de laboratorio • Estudios específicos (por ejemplo, geofísicos e hidrológicos) • Pruebas de campo
<p style="text-align: center;">Caracterización del ecosistema</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de especies (terrestres, acuáticas o por nivel trófico) • Captura de especies • Realización de fotos aéreas regionales • Muestreos (en distintas épocas del año y distintos años) • Pruebas • Análisis 	<p style="text-align: center;">Estudios de evaluación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudio de Evaluación Ambiental y a la Salud Humana • Estudio de evaluación de riesgo ecotoxicológico de las especies seleccionadas del ecosistema 	<p style="text-align: center;">Propuestas finales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Propuesta de remediación (plan de descontaminación) • Propuesta de manejo del ecosistema para reducir la exposición

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Nota: Los escenarios de base suponen que hay una población expuesta al pasivo ambiental minero. Los rubros asociados con efectos adversos sobre los ecosistemas locales están en cursiva.

3. Análisis de escenarios de riesgo

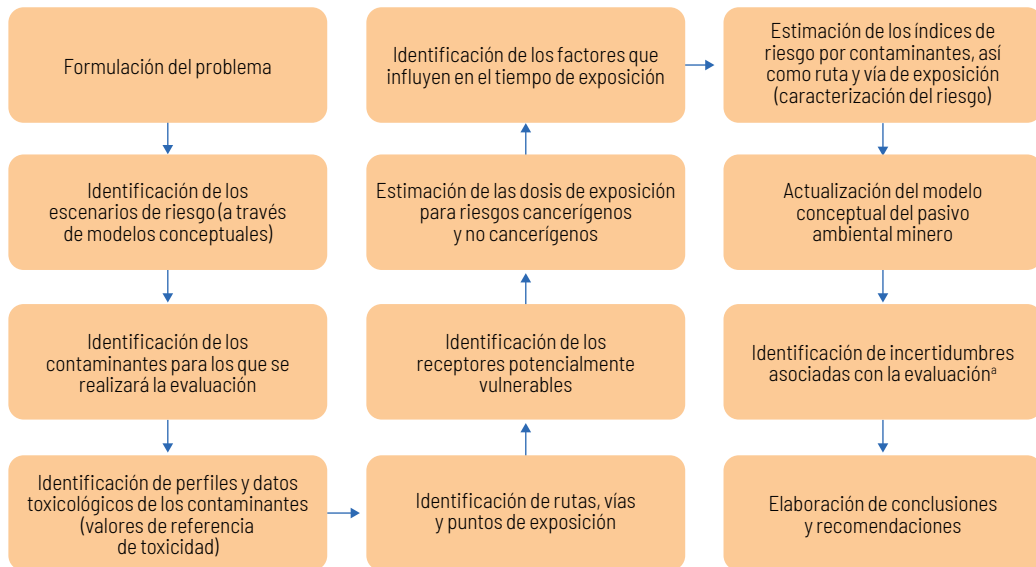
Una vez descrita y diagnosticada la situación actual en relación con el pasivo ambiental minero, su área de influencia y su exposición potencial, se proyectan los daños progresivos asociados al pasivo ambiental minero, que determinan situaciones a largo plazo en función de la existencia de los vectores de riesgo previamente identificados (véase el capítulo II).

El grado de vulnerabilidad se asigna para dar cuenta del nivel de riesgo y la probabilidad de que se produzca un hecho de contaminación que aumente con el tiempo⁴.

A continuación, se evalúan los peligros relacionados con la presencia de residuos (vinculados a la exposición al contaminante), las instalaciones y la mina. Más concretamente, se determina si existen riesgos, por ejemplo, de deslave, derrumbe o hundimiento u otros peligros asociados a fenómenos meteorológicos, así como contaminantes presentes en el sitio, que pueden ser tóxicos en función de las condiciones de exposición (véase el diagrama IV.16).

■ Diagrama IV.16

Actividades de evaluación de riesgos para los receptores potenciales de la exposición a los contaminantes presentes en el sitio de estudio



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales/Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (BGR/SERNAGEOMIN), *Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas FMA/P*, Santiago, 2008.

^a Tanto de las suposiciones en las que se basa la evaluación como de las dosis de exposición y los riesgos.

A partir de los datos, se crean matrices de evaluación para cada aspecto del pasivo ambiental minero con la información y la valoración del riesgo en cada elemento y criterio, que, en conjunto, dan lugar a una evaluación del riesgo global del pasivo ambiental minero (véase el cuadro IV.3). La evaluación de vulnerabilidad se basa en una estimación de la probabilidad de que se produzca la contaminación.

⁴ Por ejemplo, aumenta la inestabilidad y el deterioro de las membranas que protegen relaves y depósitos de estériles, lo que hace más factible la contaminación y su expansión.

■ Cuadro IV.3

Perú: evaluación cualitativa de riesgo por pasivo ambiental minero

Seguridad humana	Salud humana y ambiente físico	Fauna silvestre y conservación
Accesibilidad	Drenaje en aberturas	Accesibilidad y escape para la fauna silvestre
Potencial de colapso	Evidencia de hechos previos de inundación, drenajes o derrames	Atracción de fauna silvestre
Condición de cierre	Potencial generación de drenaje ácido	Signos de vida silvestre
Potencial de caída de personas en la abertura y daño	Potencial de acceso de personas a espacios confinados mal ventilados	Vegetación en el sitio y alrededores
Presencia de señales y cercos para limitar el acceso	Otros peligros para la salud	Proximidad a áreas protegidas
Presencia de escombros, vegetación, rocas, residuos, entre otros, en el interior		Sensibilidad del área (uso tradicional de suelo, corredor de fauna)
Otros peligros para la seguridad humana		Acumulación de aguas contaminadas (relacionada con la actividad minera)
		Otras preocupaciones ambientales

Fuente: M. Chappuis, "Remediación y activación de pasivos ambientales mineros (PAM) en el Perú", *serie Medio Ambiente y Desarrollo*, N° 168 (LC/TS.2019/126), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020; sobre la base de Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM), "La intervención del Estado en la remediación de pasivos ambientales mineros", *Informativo Minero*, N° 12, Lima, 2018.

Con el fin de proyectar la situación actual y establecer los riesgos a largo plazo, se plantean escenarios para el horizonte de evaluación basados en criterios de vulnerabilidad dentro del área de influencia del pasivo ambiental minero. Estos tipos de vulnerabilidad tendrán distinta intensidad según el tipo de pasivo ambiental minero y los vectores de riesgo que puedan surgir o agravarse en diferentes épocas en un período determinado (véase el capítulo II). El sistema de puntuación se establece para reflejar la intensidad de cada una de las vulnerabilidades (véase el cuadro IV.4). Basta que algún tipo de afectación sea de nivel 1 para que se le asigne tal valor.

■ Cuadro IV.4

Tipos y niveles de vulnerabilidad por exposición al pasivo ambiental minero

Salud humana	Impactos en la salud de las personas por contacto directo con los contaminantes o por contacto con elementos expuestos a los contaminantes (como alimentos, agua o aire)	3	Riesgos para la vida de las personas
		2	Contagio de enfermedades graves sin riesgo de muerte
		1	Menor afectación
Social	Afectación socioeconómica debida a los efectos sobre bienes y actividades colectivas o individuales, productivas o no productivas (deportivas, culturales, recreativas o religiosas)	3	Afectación a grupos de ingresos bajos
		2	Afectación a grupos de ingresos medios
		1	Afectación a grupos de ingresos altos
Ecoambiental	Alteración del paisaje y del patrimonio natural, incluida la diversidad de y fauna existente	3	Riesgo de desaparición de especies y ecosistemas
		2	Deterioro de especies y ecosistemas, sin riesgo de desaparición
		1	Menor afectación, alteración marginal del paisaje

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Estos niveles o grados de vulnerabilidad se combinan para determinar un índice de riesgo que define los escenarios que se tendrán en cuenta para el respectivo análisis de costos y beneficios.

$$\text{Índice de riesgo} = \alpha \times \text{VSH} + \beta \times \text{VS} + (1 - \alpha - \beta) \times \text{VE}$$

Donde:

α : Ponderador del peso relativo de la vulnerabilidad de salud humana dentro del índice de riesgo

β : Ponderador del peso relativo de la vulnerabilidad social dentro de índice de riesgo

VSH: Nivel de vulnerabilidad de salud humana

VS: Nivel de vulnerabilidad social

VE: Nivel de vulnerabilidad ecoambiental

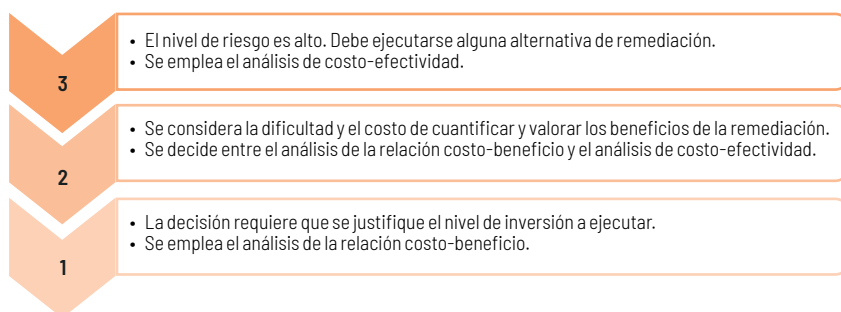
El índice de riesgo se redondea al entero más próximo.

Los ponderadores corresponden a la importancia relativa de cada criterio de vulnerabilidad en la evaluación de riesgo del pasivo ambiental minero en el área de influencia. Se definen previamente como parámetros del análisis de la relación costo-beneficio y se basan en un adecuado diagnóstico de la zona, que refleje el orden en que se presentan esas vulnerabilidades. Los ponderadores pueden actualizarse cada cierto período (por ejemplo, cada uno o dos años).

La determinación del índice de riesgo asociado al proyecto de remediación bajo el análisis establece el nivel de urgencia o prioridad del proyecto según su nivel de riesgo resultante. De esta manera, se puede decidir en qué momento llevar a cabo una evaluación para ejecutar o no el proyecto y seleccionar la mejor alternativa a ejecutar (véase el diagrama IV.17).

■ Diagrama IV.17

Acciones de acuerdo con el índice de riesgo



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

a) Marcos de evaluación escalonados multiniveles

Se recomienda completar las evaluaciones de riesgo de manera iterativa. En un enfoque de marcos de evaluación escalonados, se empieza por una evaluación preliminar o básica y, a medida que avanza la investigación del sitio, y si la complejidad del pasivo lo requiere, se pueden ir preparando evaluaciones más detalladas y de mayor alcance. Este modelo busca equilibrar los costos de agregar detalles y refinamiento a una evaluación con los beneficios asociados, considerando la calidad de los insumos y los resultados (EPA, 1992b).

Los marcos de evaluación escalonados determinan si es necesario obtener más información acerca del riesgo o la exposición a sustancias tóxicas presentes en sitios contaminados (véase el apartado “Análisis de escenarios de riesgo” más arriba).

Se establecen comúnmente tres niveles, que implican esfuerzos (costos) progresivos en la investigación de acuerdo con la complejidad de los estudios llevados a cabo, teniendo en cuenta la aparente importancia del nivel de contaminación (véase el cuadro IV.5).

■ Cuadro IV.5

Principales rasgos de los niveles de los marcos de evaluación escalonados

Nivel de estudio	Tipo de análisis de riesgo por nivel
Nivel 1	<p>La evaluación se centra en fijar valores máximos que no se puedan superar en relación con los registros existentes y su evolución, según los casos disponibles en fuentes secundarias (estudios previos realizados en áreas similares a la de interés).</p> <p>La rigidez en los valores de entrada garantiza la protección de la población expuesta. No obstante, los valores de riesgo obtenidos de este modelo simple suelen producir supuestos conservadores sobre la exposición (sobreestimados), lo que acarrea costos de remediación más elevados.</p>
Nivel 2	<p>En los modelos de riesgo se incluyen datos concretos para el pasivo ambiental minero. Se ejecutan muestreos detallados en las matrices ambientales del sitio para conocer la extensión y gravedad del daño. Las evaluaciones técnicas y de riesgo son más amplias.</p> <p>Se invierte en valores de entrada específicos para el modelo de evaluación (por ejemplo, estudios geohidrológicos en el sitio y toma de muestras de suelo para obtener parámetros que establezcan con mayor certeza la migración de los contaminantes y sus concentraciones en sitios fuera de la fuente de contaminación). A partir del modelado, se generan supuestos más realistas.</p>
Nivel 3	<p>Se trata de una evaluación de riesgo formal. Se emplea con más frecuencia en sitios grandes o complicados, y requiere de estudios en el terreno específicos.</p> <p>Se lleva a cabo una evaluación de riesgo probabilístico, en la que se determinan distribuciones de probabilidad de los parámetros de entrada y salida de los modelos de evaluación, en lugar de considerar valores puntuales de las variables, como en los niveles anteriores. Se reduce la incertidumbre, lo que da lugar a una estimación de riesgo más aproximada a la realidad, con áreas de remediación más acotadas. Si se necesita una mayor inversión económica, también se reducen considerablemente los costos de inversión en la remediación.</p>

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), “Superfund soil screening guidance”, Washington, D.C., 2023 [en línea] <https://www.epa.gov/superfund/superfund-soil-screening-guidance#user>.

En algunos países de la región se prefieren métodos con dos escalones (véase el recuadro IV.5). Por el contrario, en los sistemas de un solo escalón, la evaluación preliminar de un sitio presumiblemente contaminado forma parte de la labor de identificación, clasificación y priorización de sitios contaminados o pasivos ambientales, y su objetivo es crear un inventario de esos sitios. De hecho, la remediación se basa en los resultados de un estudio de evaluación de riesgo detallado y completo.

■ Recuadro IV.5

Ejemplos de uso de la evaluación escalonada de dos niveles

Los sistemas de evaluación escalonada chileno (BGR/SERNAGEOMIN, 2008) y español (Alberruche y otros, 2014) abordan tanto los riesgos físicos (de seguridad) por la estructura u operación de la mina como los riesgos ambientales por la exposición de las personas a los contaminantes presentes en el sitio. La primera clase de riesgos abarca piques, socavones u otros similares que puedan haber quedado abiertos debido a actividades mineras, subsidencias asociadas a labores subterránea o fallas en muros de relaveras. Los riesgos por contaminación consideran, entre otros aspectos, los peligros para la salud de posibles receptores debido a la presencia de residuos peligrosos abandonados en los pasivos ambientales mineros (como arsénico, mercurio, cianuro, entre otros), y los riesgos asociados al drenaje ácido.

En el enfoque se plantean dos niveles de análisis, a saber:

Evaluación de riesgos simplificada por seguridad y por contaminación: incluye la información analítica imprescindible de muestras que pueden considerarse representativas de cada instalación de residuos o de suelos contaminados para llevar adelante la evaluación de los diferentes escenarios de riesgo. La información es cualitativa e incorpora tanto criterios conservadores, que evalúan los escenarios de máxima exposición para garantizar la protección de los receptores, como criterios economizadores desde el punto de vista de la adquisición de información, que se basa en el empleo de datos ya existentes o de datos de exposición genéricos (véase el lado izquierdo de diagrama).

Evaluación de riesgos detallada por seguridad y por contaminación: se enfoca en riesgos específicos y en casos justificados en los que exista incertidumbre con respecto al resultado alcanzado mediante la evaluación de riesgos simplificada. Para la ejecución de una evaluación de riesgos detallada es necesario contar con más presupuesto y tiempo, ya que posiblemente se deba recurrir a especialistas externos al grupo evaluador (por ejemplo, para hacer estudios de campo detallados o aplicar técnicas especializadas de análisis). De esta manera, se podrá redefinir el riesgo con mayor precisión (véase el lado derecho del diagrama).

Etapas de la evaluación de riesgo en el sistema escalonado de BGR/SERNAGEOMIN (2008)

Identificar las situaciones que entrañan un riesgo a través de los denominados escenarios de peligro o escenarios de riesgo

Identificar los posibles afectados llamados receptores potenciales

Estimar la probabilidad de que ocurra cada escenario de peligro

Estimar la gravedad de las consecuencias en los receptores

Aplicar una matriz de riesgos para distinguir entre riesgos significativos y no significativos, y clasificar los sitios según sean pasivos ambientales mineros o no



Aplicar una metodología de evaluación de riesgos detallada en aquellos casos en los que exista cierto grado de incertidumbre sobre la evaluación

Llevar a cabo una evaluación de riesgos acumulada, que consiste en revisar la evaluación aplicada en aquellos casos en los que existan otros pasivos ambientales mineros próximos

Clasificar el pasivo ambiental minero en función de un orden de prioridad de acuerdo con la magnitud de los riesgos presentes

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales/Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (BGR/SERNAGEOMIN), *Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas FMA/P*, Santiago, 2008.

Nota: Los escenarios de peligro o escenarios de riesgo se denominan también "modelos conceptuales" en otras metodologías, como se ha señalado en apartados anteriores.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales/Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (BGR/SERNAGEOMIN), *Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas FMA/P*, Santiago, 2008.

4. Análisis de posibles impactos de la inacción

Los posibles impactos socioambientales de la inacción se identifican y estiman con base en los resultados de los estudios de caracterización relacionados con el diagnóstico de la situación actual. A partir de las características del pasivo ambiental minero (véase el diagrama IV.12), es posible plantear para el escenario actual (escenario de inacción o sin proyecto) el Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental y a la Salud Humana.

Además, se deben considerar los riesgos futuros que persistirán después de cada alternativa de remediación y que pueden ser más o menos viables en términos económicos, en función de la reducción de los riesgos. Este desglose garantizará que cuando se lleve a cabo el análisis de la situación con proyecto (escenario de acción) no se atribuyan al proyecto beneficios que no le corresponden (véase el recuadro IV.6).

■ Recuadro IV.6

Elementos constitutivos del Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental y a la Salud Humana

Dado que el Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental y a la Salud Humana se encuentra en un punto de enlace entre la remediación del pasivo ambiental minero y el análisis de la relación costo-beneficio, es preciso que en los términos de referencia del estudio se especifique que el resultado final ha de incluir los siguientes elementos:

Escenario de riesgos actuales (escenario de inacción): debe indicar el nivel de riesgo en la situación actual y las probables consecuencias de esa inacción sobre las tres vulnerabilidades (véase el cuadro IV.4). Siempre se toman en cuenta los aspectos que puedan ser monetizados^a. No se considera una intervención pública respecto a servicios ni infraestructura para paliar los efectos de la contaminación en la comunidad (por ejemplo, en salud y en servicios públicos de agua, drenaje y pavimentación).

Determinación de los impactos sociales de la inacción.

Determinación de las medidas de optimización de la situación actual sin ejecución del proyecto: se refiere a las medidas de bajo costo que puedan mejorar las condiciones de la situación actual sin el proyecto de remediación (véase apartado “Optimización de la situación actual” a continuación).

Alternativas de los escenarios futuros de remediación: debe incluir aquellas que se van a considerar y comparar bajo el análisis de la relación costo-beneficio (véase el apartado “Alternativas de remediación” a continuación).

Estimación de costos de los distintos escenarios y medidas anteriores: para evitar pasos adicionales y otras licitaciones por estos servicios. Estos estudios deben estar a cargo de un consorcio de especialistas en ejecución de obras civiles que evalúe los riesgos y estime los costos con base en investigaciones de mercado realistas.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de R. Efroymson, J. Nicolette y G. Suter, “A framework for net environmental benefit analysis for remediation or restoration of contaminated sites”, *Environmental Management*, vol. 34, Berlín, Springer, 2004; J. Meixueiro y M. Pérez, *Metodología general para la evaluación de proyectos*, Ciudad de México, Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), 2008; Cooperative Research Centre for Contamination Assessment and Remediation of the Environment (CrcCARE), *Remediation Action Plan Development: Guideline on Performing Cost-benefit and Sustainability Analysis*, Newcastle, 2019.

^a Véase el apartado “Análisis de escenarios de riesgo” en este capítulo.

En cuanto al horizonte de análisis, se recomienda proyectar la oferta durante los próximos 20 a 30 años para reflejar los cambios que podrían ocurrir. El horizonte de análisis es comparable al período de retorno de una inversión, y durante este tiempo se observarían los efectos de una exposición constante a elementos potencialmente tóxicos en un grupo de personas (Meixueiro y otros, 2015).

Las investigaciones deben determinar los posibles impactos socioambientales y proporcionar una estimación económica basada en las características de la contaminación, el sitio y las acciones que se lleven a cabo (véase el capítulo V). De acuerdo con Meixueiro y otros (2015), las investigaciones deberían precisar que los estudios de caracterización y el Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental y a la Salud Humana contengan los siguientes elementos:

- **Análisis de la demanda:** la demanda se vuelve a estimar durante el horizonte de evaluación para que incluya los impactos derivados de las optimizaciones, si las hubiera. Se trata de averiguar lo que sucedería con los reclamos y los derechos de las comunidades afectadas si se aplicaran solo las medidas de bajo costo (véase el apartado “Optimización de la situación actual” más abajo en este capítulo) o si no se aplicara ninguna medida, los costos que debería asumir el Estado, los ahorros que no ocurrirían, los costos que conllevaría mantener el *statu quo* (por ejemplo, en servicios e infraestructura) y sustituir los bienes afectados, y las pérdidas que se observarían en términos sociales o sanitarios o en el valor de las propiedades, los bienes inmuebles y otros bienes difíciles de monetizar.
- **Análisis de la oferta:** al igual que en el análisis anterior, es necesario volver a estimar la oferta durante el horizonte de evaluación para que incluya los cambios que se producirían si se implementaran las optimizaciones y estas afectaran de manera directa las condiciones de la oferta actual. El objetivo es averiguar lo que sucede en la comunidad en materia ambiental y de salud pública cuando no se aplica ninguna medida (por ejemplo, los lugares donde se producen bienes agrícolas, ganaderos o de otro tipo y los lugares donde estos ya no se producen, y el aumento del número de personas cuyo bienestar o salud se han visto perjudicados como consecuencia de la contaminación).
- **Diagnóstico de la interacción oferta-demanda:** se calcula la diferencia entre lo que se dejó de tener o producir por la contaminación (bienes, salud o ecosistemas) y lo que se necesitaría para tener o producir lo mismo (es decir, bienes del mismo valor, salud y ecosistemas) según las condiciones actuales del sitio (por ejemplo, servicios de salud especializados, medicamentos, plantas de tratamiento de agua o transporte de alimentos).

En términos generales, los pasivos ambientales mineros pueden generar diversos impactos que se manifiestan de manera directa e indirecta en la población, las actividades productivas, la infraestructura y los servicios y el medio ambiente (diagrama IV.18).

A partir de la información recopilada previamente, se sugiere construir una clasificación de impactos que incluya el índice de riesgo (véase el apartado “Análisis de escenarios de riesgo” arriba). En el cuadro IV.6 se presenta un esquema ilustrativo que permite introducir las características específicas de cada impacto, lo que facilitará la identificación de alternativas de remediación que reduzcan total o parcialmente esos impactos (véase el cuadro IV.6) y, más adelante, la determinación de beneficios (véase el recuadro IV.7). Si en el caso en estudio aparece algún tipo de impacto que no encaja en ninguna de las clasificaciones anteriores, se puede agregar otro, especificando de qué tipo se trata.

■ Diagrama IV.18

Áreas que suelen verse afectadas por pasivos ambientales mineros

Población	<ul style="list-style-type: none"> - Se producen efectos sobre la salud y el patrimonio material y cultural^a - Es necesario detallar y desagregar el impacto y la vulnerabilidad en la salud humana en el análisis de elaboración de escenarios
Actividades	<ul style="list-style-type: none"> - Se estudian los efectos tanto en las actividades que se llevan a cabo actualmente en el área de influencia como en las que podrían llevarse a cabo si no existieran los pasivos^b - Ejemplos: actividades de carácter productivo, cultural, religioso o deportivo - Es necesario detallar y desagregar los aspectos que contribuyen a la estimación de la vulnerabilidad social en el análisis de elaboración de escenarios
Infraestructura y servicios	<ul style="list-style-type: none"> - Se producen efectos directos sobre la infraestructura y los servicios - Ejemplos: edificaciones, instalaciones o suministro de agua potable - Es necesario detallar y desagregar los aspectos que determinan las vulnerabilidades sociales y ecoambientales (por ejemplo, un servicio de transporte afectado por una alteración geomorfológica)
Medio ambiente y naturaleza	<ul style="list-style-type: none"> - Se producen efectos sobre la biodiversidad, los ecosistemas y el paisaje natural - Es necesario detallar y desagregar la vulnerabilidad ecoambiental

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

^a Si esta afectación se manifiesta primero en actividades, infraestructura y servicios, y luego repercute en el patrimonio, debe clasificarse en "Infraestructura y servicios".

^b Los efectos en las actividades podrían también acarrear efectos en la salud de las personas. Si la alteración que provoca el pasivo ambiental minero se manifiesta primero en las actividades, se ha de registrar en esta clasificación.

■ Cuadro IV.6

Análisis de los impactos de los pasivos ambientales mineros en el área de influencia

Áreas de impacto	Elementos específicos del área	Tipo de impacto	Detalle
Población	Grupo de población 1 (por ejemplo, pobladores)	Enfermedades respiratorias por contaminación del aire	Partículas dañinas originadas en el pasivo ambiental minero y arrastradas por los vientos
	Grupo de población 2	Impacto 2	
Actividades	Actividad 1 (por ejemplo, agricultura)	Pérdida de producción agrícola, restricción del uso del suelo o empobrecimiento de la calidad del suelo	Producción de hortalizas afectada por la calidad del suelo y alteración de la calidad fisicoquímica del suelo
	Actividad 2	Impacto 3	
Infraestructura	Edificios cercanos a escombreras exteriores	Visual y paisajista	Polvo que se transmite por el aire y afecta la estética de los edificios
Servicios	Servicio de transporte terrestre	Pérdida de visibilidad por polvo en suspensión	Polvo que se transmite por el aire y afecta la visibilidad
Medio ambiente y naturaleza	Especie vegetal amenazada	Contaminación del agua superficial	El agua contaminada se mezcla con el riego natural de la especie y le causa daño

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

5. Alternativas de remediación

Al concluir el Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental y a la Salud Humana señalado anteriormente, se preparan soluciones a los problemas identificados mediante la elaboración de escenarios que permitan resolver la problemática ambiental del pasivo ambiental minero.

Dada la restricción presupuestaria debido a recursos financieros limitados y la restricción de tiempo, se recomienda examinar alrededor de tres alternativas de proyectos de remediación de pasivos ambientales mineros. Para seleccionar las alternativas, se tiene en cuenta el nivel de riesgo que supone para el medio ambiente y la salud humana (véase el cuadro IV.7). Luego, se decide si se procede a la remediación del sitio y, en caso afirmativo, se indican los niveles de remediación y las medidas.

a) Optimización de la situación actual

Antes de configurar las alternativas del proyecto encaminadas a resolver los problemas detectados y evaluados en el diagnóstico de la situación actual, se estudian las medidas y las inversiones de bajo costo para optimizar dicha situación. En caso de que no sea necesaria una remediación, se debería evaluar la pertinencia de monitorear el sitio o considerar la atenuación natural de forma regulada, lo que constituye un escenario en sí mismo e implica costos. De esta manera, las alternativas de solución no se sobredimensionan, ya que mediante las acciones indicadas pueden reducirse o eliminarse algunos de los problemas identificados o una parte del problema general.

Las medidas de optimización de la situación actual representan normalmente menos del 10% del monto total de inversión del programa o proyecto (Gobierno del Estado de México, 2014). Estas soluciones abarcan, por ejemplo, la adopción de medidas dirigidas a la población, que buscan disminuir en cierta medida la exposición a la contaminación en vías determinadas. Asimismo, se pueden incluir cambios en la gestión y la operación del suministro de agua con el fin de reducir la exposición o reforzar los cierres perimetrales para evitar el ingreso al área contaminada (EPA, 1989).

Esas acciones pueden considerarse medidas de emergencia, pues reducen considerablemente el índice de morbilidad en la población (véase el cuadro IV.7). Es preciso que se tenga en cuenta la aplicación de estas medidas al reevaluar el nivel de riesgo y los impactos. A medida que estos disminuyan con el tiempo, deben incluirse no solo en la configuración de alternativas de remediación, sino también en los niveles de impactos y costos asociados que podrían evitarse con las remediaciones a estudiar, lo cual influye en la evaluación (véase el capítulo VI).

b) Proyectos de remediación

Al concluir el Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental y a la Salud Humana se debe determinar si el sitio se remediará o no. Además de confirmar su remediación, se debe definir el nivel y las medidas que se adoptarán. Del mismo modo, conviene detallar la situación deseada (con proyecto) utilizando el árbol de decisiones como una herramienta

para evaluar causas, medios y formas de lograrlos (con los fines descritos en el paso previo; véase el apartado “Análisis y definición del problema del pasivo ambiental minero”). Según el tipo de pasivo ambiental minero, las características de la zona y el nivel de riesgo, entre otros elementos, se podrán generar alternativas que se ajusten a las siguientes categorías (adaptado de Efroymsen, Nicolette y Suter, 2004; Meixueiro y Pérez, 2008):

- i) Escenario (hipotético) en el cual se eliminan todos los contaminantes del sitio. En este escenario maximalista se detalla el costo total que la empresa minera ha externalizado hacia la sociedad y la cantidad de recursos que debería haber ahorrado durante sus operaciones para la reparación de daños.
- ii) Alternativas para reducir, aunque no totalmente, los efectos finales del pasivo ambiental minero:
 - Reducción de los contaminantes del pasivo ambiental minero (metales u otras sustancias): una parte de los residuos se elimina del sitio debido a su alto grado de toxicidad, y el resto, con menor grado de toxicidad, permanece en el lugar. Esto está condicionado a que los residuos y los suelos contaminados sean estabilizados, se construyan sistemas de cobertura, de desalojo pluvial y de revegetación, y se implemente un programa de monitoreo de la exposición junto con programas de higiene en las comunidades afectadas.
 - Reducción del nivel de transferencias a los sitios para controlar la dispersión: se construye en el sitio una celda de confinamiento para los residuos altamente tóxicos. Estos solo pueden confinarse después de someterlos a un tratamiento que reduce la movilidad y toxicidad de los contaminantes en línea con las medidas descritas en el segundo escenario.
 - Control de acceso de las personas y de las actividades en los sitios contaminados para dar lugar a un proceso natural de degradación de contaminantes.
- iii) Alternativas para eliminar radicalmente los contaminantes y lograr así minimizar su transferencia⁵.
- iv) Alternativas que, mediante la revitalización de los sitios, controlan y eliminan los efectos del pasivo ambiental minero identificados (véase el capítulo II):
 - Reutilización del sitio.
 - Reutilización de la faena para convertir el pasivo en un activo minero. Por lo general, existen dos maneras:
 - A través de una empresa con concesión minera en la zona, que para sus operaciones incorpore plataformas, relaves e infraestructura que conforman los pasivos ambientales mineros de la zona, asumiendo así la responsabilidad por ellos.
 - A través de la minería menor, reutilizando los residuos mediante la extracción de elementos valiosos⁶.

⁵ La no eliminación del contaminante mantendrá solo la opción de reducción.

⁶ La minería secundaria se enmarca en la lógica de la economía circular, una tendencia cada vez más relevante tanto a nivel regional como mundial.

Las categorías de alternativas de remediación no estarán disponibles para todos los tipos de pasivos ambientales mineros; algunas serán más adecuadas para ciertos tipos y otras para otros.

Los pasivos ambientales mineros pueden ser reutilizados o reprocesados económicamente si se los transporta a una planta de procesamiento o si la posibilidad de reutilizarlos aumenta con el tiempo, ya sea debido a un incremento potencial de las cotizaciones de sus elementos valiosos o a procesos mejorados (Chappuis, 2020). Además, si bien el daño o riesgo de daño para el medio ambiente y las personas puede seguir existiendo, lo que cambia es que surge un responsable que debería remediarlo.

Los pasivos de tipo infraestructura pueden reutilizarse o demolerse por completo, pero es poco probable que solo se sometan a reducción (demolición parcial; véase el capítulo I). En el caso de los pasivos ambientales mineros altamente complejos, riesgosos o dañinos debe considerarse la eliminación (por ejemplo, el agua de mina subterránea que aflora a la superficie debe procesarse con técnicas de neutralización o métodos pasivos que utilicen plantas, microorganismos o humedales artificiales; véase el capítulo II).

Dado que, en general, se pueden combinar técnicas y métodos para generar múltiples alternativas, es necesario especificar los criterios empleados para seleccionar las alternativas finales que serán evaluadas. En este contexto, resulta fundamental tener presente el concepto de sostenibilidad ambiental al promover únicamente aquellas opciones que tengan un efecto menor o nulo en el medio ambiente.

Los detalles del proyecto escogido se plasman en el plan de remediación.

c) Elaboración de proyectos de remediación mediante el uso del modelo conceptual

A partir del modelo conceptual, es posible crear alternativas de remediación sostenible vinculadas con el análisis de la relación costo-beneficio siguiendo los pasos que figuran a continuación (véase el apartado “Modelo conceptual” en este capítulo).

- i) Una vez conocidos y priorizados los grupos vulnerables que deben ser atendidos, se identifican los más significativos, teniendo en cuenta los riesgos señalados y evaluados en el Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental y a la Salud Humana. En otras palabras, se consideran los riesgos que contribuyen en mayor medida a los índices de riesgo totales (véase el apartado “Análisis de escenarios de riesgo” más arriba en este capítulo). Posteriormente, se crea una matriz que muestra los porcentajes de contribución por ruta y vía de exposición, contaminante y grupo poblacional (véase el cuadro IV.7). Este tipo de matrices permite determinar la matriz física (suelo, agua o residuos) y las posibles fuentes de contaminación, lo que, a su vez, conduce a la identificación de los riesgos primarios y secundarios que deben atenderse en función de la vía de exposición. Es crucial eliminar esos riesgos, puesto que representan la mayor proporción del riesgo total (EPA, 2014, 2022, 2023 y 2024; Environmental Protection Scotland, 2017; Iturbe y Flores, 2014).

■ Cuadro IV.7

Ejemplo de matriz de índice de riesgo por ruta y vía de exposición, y por contaminante para el suelo

Grupo poblacional: niños de 1 a 6 años					
Ruta de exposición	Contaminante	C1	C2	Cn	
	Vía de exposición				
Suelo superficial	Ingestión	$IR_{C1,Ing}$	$IR_{C2,Ing}$	$IR_{Cn,Ing}$	$\sum_{i=1}^n IR_{C,i,j}$
	Inhalación	$IR_{C1,Inh}$	$IR_{C2,Inh}$	$IR_{Cn,Inh}$	$\sum_{i=1}^n IR_{C,i,k}$
	Contacto dérmico	$IR_{C1,cd}$	$IR_{C2,cd}$	$IR_{Cn,cd}$	$\sum_{i=1}^n IR_{C,i,t}$

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), *Framework for Human Health Risk Assessment to Inform Decision Making*, Washington, D.C., 2014; "Risk assessment guidance: EPA guidance", Washington, D.C., 2022 [en línea] <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance>; "Superfund soil screening guidance", Washington, D.C., 2023 [en línea] <https://www.epa.gov/superfund/superfund-soil-screening-guidance#user>; "Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): part A", Washington, D.C., 2024 [en línea] <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>.

- ii) Se establecen las áreas y los volúmenes de materiales más significativos en términos de riesgos, con el objetivo de gestionarlos de forma ordenada durante la elaboración del plan de remediación. Se prioriza la eliminación o el tratamiento de aquellos volúmenes que representan riesgos. En esta fase, se recomienda llevar a cabo estudios adicionales para que los volúmenes de materiales a remediar se calculen correctamente y en la intervención se apliquen tecnologías apropiadas. Los estudios deberían centrarse en los siguientes temas:
- Lixiviación de los materiales. El objetivo es conocer en qué medida el material permitirá la migración de la contaminación en el medio poroso.
 - Distribución granulométrica de los materiales. Cuanto mayor sea la proporción de finos en un material, mayor será la probabilidad de que los contaminantes se concentren en estas fracciones y sean objeto de dispersión eólica.
 - Especies químicas de los elementos potencialmente tóxicos. La biodisponibilidad y toxicidad de los metales y metaloides depende de esta característica.
- iii) Cuando las autoridades ambientales evalúan los estudios de caracterización y evaluación de riesgos para el medio ambiente y la salud humana o ecotoxicología, suelen aplicar el principio jurídico de "en caso de duda, a favor del medio ambiente (y la población)"⁷. En este criterio binario no se trata de establecer niveles, sino que requiere de dos condiciones:
- El responsable del pasivo ambiental minero ejecuta el análisis de incertidumbre de forma completa y transparente, de conformidad con lo señalado en las guías de evaluación de riesgo disponibles en cada país o, en su defecto, en las recomendaciones internacionales.

⁷ Este principio se recoge en el marco jurídico del Ecuador, entre otros países.

- La autoridad, mediante su juicio profesional y experiencia, puede establecer si el proceso de determinación de riesgo, así como sus incertidumbres y sus conclusiones, son adecuados en virtud del marco jurídico y la jurisprudencia en la materia. Asimismo, puede determinar si son pertinentes respecto a la situación socioeconómica y los derechos humanos de las comunidades posiblemente afectadas por la contaminación. La autoridad puede incluso imponer medidas más rigurosas y costosas de lo que en realidad deberían ser, debido a la incertidumbre generada por la falta de calidad y detalle de los estudios, no necesariamente porque así sea en el sitio (véase el recuadro IV.5).
- iv) Se define el posible uso del sitio remediado según seis categorías de factores:
- **Uso legal:** hace referencia a la clasificación de los predios que componen el pasivo ambiental minero según los planes de ordenamiento territorial del municipio o demarcación en el que se encuentra, es decir, de acuerdo con el uso de suelo establecido legalmente (Presidencia de la República de México, 2016). Por ejemplo, si se desea dar otro uso a un sitio que tiene legalmente un uso agrícola, primero se debe modificar el plan de ordenamiento.
 - **Uso real actual del sitio:** se refiere al tipo de actividades que se llevan a cabo actualmente en el sitio. Los usos legal y real no siempre coinciden. Retomando el ejemplo anterior, aunque el sitio se encuentra identificado como de uso agrícola, en realidad cumple funciones residenciales o de recreación.
 - **Dinámica económica local:** las actividades económicas ya establecidas en la zona influyen notablemente en las oportunidades a largo plazo para reutilizar el sitio o reintegrarlo económicamente en la región. Si estas actividades tienen una presencia escasa o nula, la reutilización del sitio se verá en gran parte limitada, al igual que la sostenibilidad de la remediación en términos de autosostenibilidad.
 - **Comportamiento y expectativas de las comunidades alrededor del sitio:** se toma en cuenta el uso actual (véase “Uso real actual del sitio” en este listado), es decir, la forma en que las personas transitan por el sitio o lo usan en la actualidad y de qué manera el sitio está afectando sus actividades cotidianas, así como sus expectativas acerca de su uso futuro (véase el capítulo II).
 - **Condiciones climatológicas.**
 - **Otras idiosincrasias relevantes del sitio** (como la infraestructura existente).

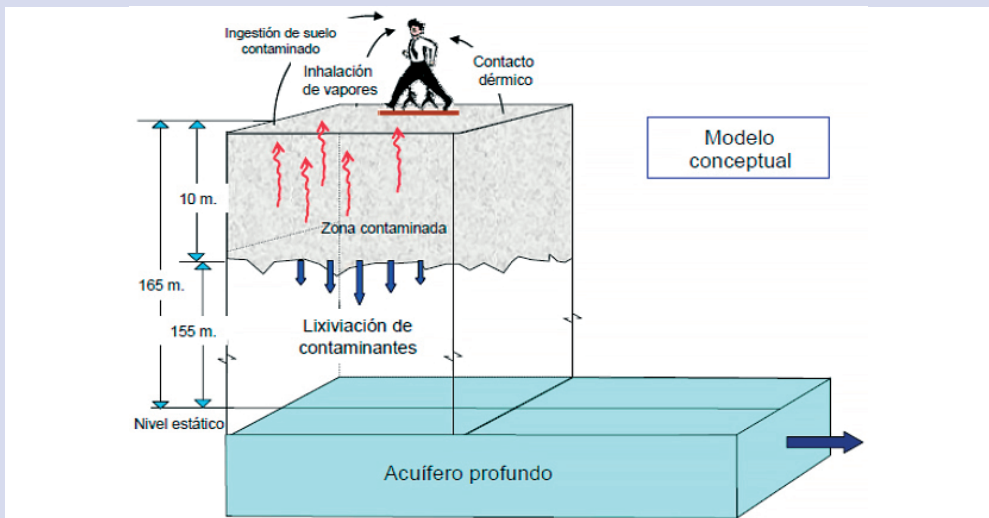
Existe un amplio abanico de opciones de revitalización, que van desde usos meramente pasivos, como las áreas revegetadas, hasta proyectos de energías renovables intermitentes, como las plantas fotovoltaicas. Se recomienda encarecidamente que los expertos encargados de la toma de decisiones puedan determinar los posibles usos futuros del sitio (véase el recuadro IV.7).

■ Recuadro IV.7

Ejemplo ilustrativo de elaboración de escenarios

Los principales problemas detectados en un pasivo ambiental minero hipotético son la exposición a la ingestión de partículas de suelo contaminado, la inhalación de vapores y el posible contacto dérmico, que afectan a las personas que usan el sitio de forma irregular (por ejemplo, como paso para ir a otra población o para tomar un transporte)(véase la imagen). En este caso, se asume que los posibles lixiviados de la contaminación no alcanzan el acuífero profundo. Además, el escenario está limitado a una única actividad y punto de contacto (los contaminantes, por ejemplo, no entran en contacto directo con las casas en una comunidad).

Escenario de exposición respecto de la contaminación del suelo en un sitio

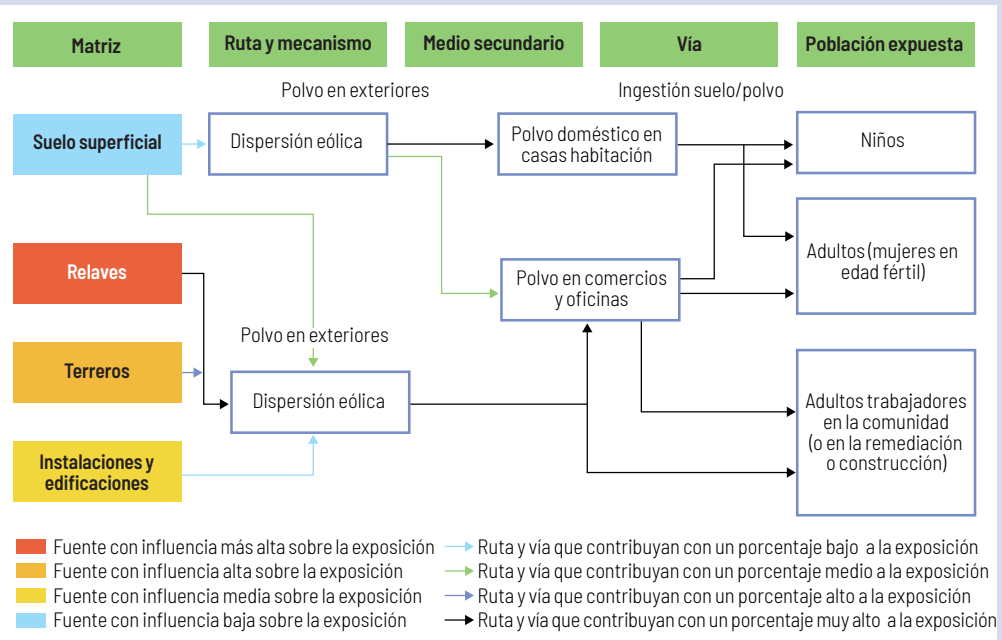


Fuente: W. Schmidt, R. Flores y U. Ruiz (eds.), *Remediación y revitalización de sitios contaminados: casos exitosos en México*, Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit/Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (GIZ/SEMARNAT), 2013.

Se aplica el modelo conceptual al caso anterior para construir un escenario de remediación. El modelo conceptual distingue entre matrices, rutas y vías de exposición (véase el diagrama). A partir de esta distinción, se indican los materiales que suponen mayores riesgos, las rutas y vías de exposición que contribuyen en mayor medida al índice de riesgo y los puntos de exposición más significativos.

En vista de lo anterior, se puede construir el escenario de remediación considerando el material (relaves, terreros, entre otros) que se debe estabilizar y cubrir, las estructuras contaminadas por demoler, los suelos contaminados por remover y su integración en el plan general de remediación para que se utilicen como parte de los sistemas de cobertura, así como la verificación y el monitoreo de la exposición en poblaciones altamente vulnerables.

Modelo conceptual con diferentes rutas de exposición



Fuente: Elaboración propia.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales/Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (BGR/SERNAGEOMIN), Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas FMA/P, Santiago, 2008; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), *Guía técnica para orientar la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental de sitios contaminados*, Ciudad de México, 2006; "Norma oficial mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio", *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 2 de marzo de 2007.

- v) De acuerdo con los escenarios plasmados en el Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental y a la Salud Humana, se crea una medida para cada fuente de contaminación, enfocada en el control de la ruta y la vía de exposición a través de las cuales los contaminantes entran en contacto con los grupos poblacionales vulnerables. En consecuencia, es preciso establecer una distinción entre los escenarios que se emplean para elaborar el estudio y los escenarios que se construyen para llevar a cabo la remediación. En un escenario o alternativa de remediación, es posible considerar uno o más escenarios del estudio.

- vi) Una vez identificadas las medidas, se evalúan los posibles costos asociados a las obras de remediación, incluso antes de preparar una estimación de costos detallada. Las características específicas del pasivo ambiental minero y de las tecnologías consideradas influirán en esas estimaciones (por ejemplo, el tipo de sistema de cobertura requerido, que dependerá de la toxicidad de los residuos; véase el recuadro IV.8).

Según Limón y Herrejón (2013), de la experiencia en casos exitosos de remediación de sitios contaminados se desprende que, en general, los costos aumentan en el caso de:

- Medidas de remediación que consideren movimientos de materiales (excavación, carga, transporte y disposición).
- Medidas de remediación que impliquen el uso de insumos de alto costo para el tratamiento o proceso de tratamiento con niveles de madurez tecnológica menores a 7 (véanse más detalles en Manning, 2023).
- Medidas de remediación que incluyan el uso de maquinaria especial.
- Falta de experiencia en la ejecución de un proceso de remediación específico.

■ Recuadro IV.8

Ejemplo hipotético de tres escenarios usuales en la remediación de pasivos ambientales mineros con costos

En un ejemplo de pasivo ambiental minero se encuentran 500 000 toneladas de residuos (fuente de contaminación primaria) y 5 000 toneladas de suelos superficiales contaminados (fuente de contaminación secundaria). Se examinan tres alternativas de solución distintas en función de los costos de movimiento de los materiales.

Descripción	Estudio de factibilidad (viabilidad) esquemático
Eliminación total de los materiales contaminados del sitio.	<ul style="list-style-type: none"> • Elimina todos los riesgos. • El costo de envío de una tonelada de residuos peligrosos a un confinamiento tiene un costo de entre 75 y 150 dólares por tonelada. • Costos: <ul style="list-style-type: none"> - Residuos: de 37,5 a 75,0 millones de dólares - Suelos: de 375 000 a 750 000 dólares - Costo de envío de materiales, excavación, carga y pago a operarios
Envío de todos los materiales contaminados fuera del sitio a un confinamiento de alta seguridad para residuos peligrosos.	<ul style="list-style-type: none"> • Si los materiales contaminados se excavan, cargan y envían por carretera en vehículos de carga con una capacidad de 40 toneladas cada uno, se requerirán 12 625 viajes. Suponiendo que se cargan 10 vehículos al día, se necesitan 1 262,5 días (4,2 años) para concluir la eliminación de residuos y suelos.
Eliminación de los residuos más tóxicos del sitio.	<ul style="list-style-type: none"> • Elimina todos los riesgos. El responsable asume la obligación de mantener los sistemas de cobertura. • Se supone que existen 50 000 toneladas (10%) de residuos altamente tóxicos y un área de 2 hectáreas para el sitio de depósito.
Mantenimiento del resto de los residuos presentes en el sitio una vez estabilizados mecánicamente con sistemas de cobertura y revegetación.	<ul style="list-style-type: none"> • Costos: <ul style="list-style-type: none"> - Residuos altamente tóxicos: de 3,7 a 7,5 millones de dólares - Sistemas de cobertura: de 10 a 150 dólares por m², según la complejidad del sistema; costo de 200 000 a 3 000 000 dólares - Costos de excavación y carga dentro del sitio, costos de estabilización mecánica y pago a operarios

Descripción	Estudio de factibilidad (viabilidad) esquemático
Estabilización de los residuos más tóxicos y construcción de una celda de alta seguridad dentro de un montículo para su almacenamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Elimina los riesgos principales. El responsable asume la obligación de mantener los sistemas de cobertura. • El sistema de cobertura está conformado por las mismas 2 hectáreas y la celda es de 2 000 m². • Costos: <ul style="list-style-type: none"> - Celda de seguridad: 1 500 000 dólares - Costo de cobertura: de 200 000 a 3 000 000 dólares - Costos de excavación y carga dentro del sitio, costos de estabilización mecánica y pago a operarios
<p>Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Treadwell & Rollo, <i>Environmental Site Investigation Report. Pier 70 Master Plan Area. San Francisco, California</i>, San Francisco, 2011; D. Iglesias, "Costos económicos por la generación y manejo de residuos sólidos en el municipio de Toluca, Estado de México", <i>Equilibrio Económico</i>, vol. 3, N° 2, Saltillo, Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC), 2007.</p>	

d) Efectos sinérgicos de la reutilización

Algunos elementos de los proyectos de reutilización pueden tener funciones similares a las de los sistemas de cobertura, y su integración puede mejorar la sustentabilidad financiera del proyecto (véase el capítulo VI).

En vista de lo anterior, es recomendable integrar la infraestructura y las construcciones destinadas a usos futuros con las medidas de remediación. Por ejemplo, la construcción de edificaciones o sitios de estacionamiento de vehículos, que pueden utilizarse como sistemas de cobertura y, al mismo tiempo, brindar otras opciones de uso.

6. Evaluación integral

El último paso del análisis de la relación costo-beneficio para la remediación de pasivos ambientales mineros consiste en llevar a cabo una evaluación integral mediante la inclusión de las tres dimensiones de la sostenibilidad (véase el capítulo VI). En esta etapa, ya se debería disponer de los resultados del Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental y a la Salud Humana y se deberían conocer las rutas y vías de exposición de los grupos poblacionales vulnerables que han de atenderse, así como las primeras aproximaciones de costos. Con el propósito de recopilar datos completos, obtener un panorama razonable acerca de las medidas que se podrían adoptar y estudiar la viabilidad de esas medidas en las esferas técnicas-ambientales, financieras, económicas y sociales, se lleva a cabo una evaluación integral encaminada a lograr una remediación sostenible.

Después de la fase de formulación, se identifican las alternativas de remediación que incluyen el análisis de riesgo (véase el apartado "Análisis de escenarios de riesgo" más arriba)⁸, los impactos, las partes interesadas y la sostenibilidad ambiental (véase el diagrama IV.6).

⁸ Se definen escenarios con impactos y costos que han de evitarse. Estos variarán en función de la alternativa, el nivel o el porcentaje de disminución del daño asociado al riesgo definido (véase el capítulo VI).

Capítulo V

El análisis de la relación costo-beneficio para comparar alternativas de remediación

Introducción

Con el análisis de la relación costo-beneficio se busca comparar y evaluar las alternativas de remediación por medio del criterio del bienestar neto. El bienestar neto se compone de los cambios en la utilidad de cada uno de los miembros de la sociedad. Esta metodología busca dar un valor monetario a todos los costos y beneficios, y por lo tanto, se incluyen variables que no se valoran usualmente a precios de mercado, como los recursos naturales y medioambientales.

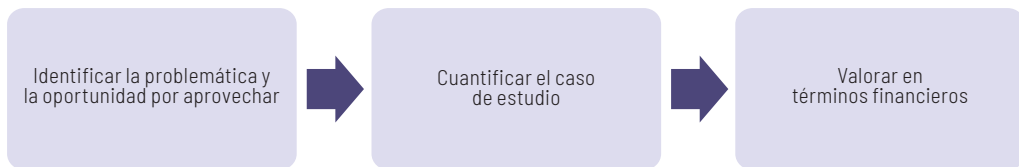
La alternativa tradicionalmente recomendada para comparar proyectos de inversión es el análisis de la relación costo-beneficio, ya que permite estimar, identificar y valorar los beneficios económicos, sociales y ambientales de un proyecto. En el caso de remediación de pasivos ambientales mineros, se exige además que se cumpla el objetivo de reducir los riesgos a niveles aceptables. Se recomienda incluir los impactos redistributivos de las inversiones junto con el criterio de equidad social. De esta forma, se puede encontrar una alternativa de remediación que maximice los beneficios netos entre todas las opciones de intervención.

A. El enfoque de oferta y demanda en el análisis de la relación costo-beneficio de pasivos ambientales mineros

El análisis de los pasivos ambientales mineros desde la perspectiva de la oferta y la demanda ayuda a aclarar el objetivo de sostenibilidad y explicita la problemática que se intenta solucionar (véase el diagrama V.1). Es importante que, en primer lugar, se analice la situación que en el proyecto de remediación aún no se tiene en cuenta (situación actual) y que se expliquen detalladamente los supuestos que sustentan la información (Meixueiro y otros, 2015).

■ Diagrama V.1

Objetivos de presentar la interacción entre la oferta y la demanda



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

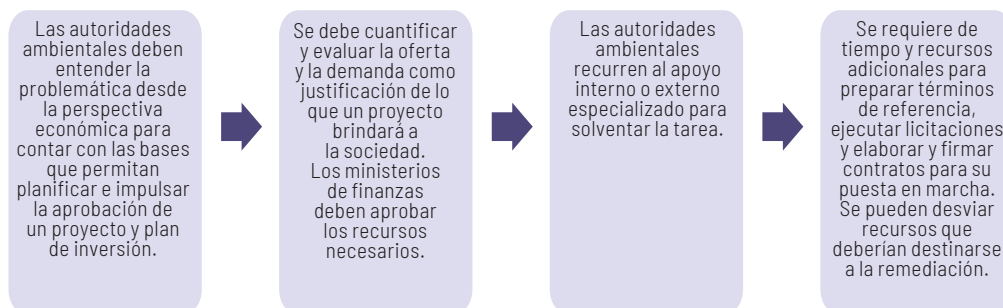
El derecho humano a gozar de un ambiente sano y a no exponerse a riesgos para la salud constituye la demanda de una comunidad, y se generan costos si el pasivo ambiental minero deteriora ese derecho. Luego, la demanda exige que el bien colectivo no sea dañado o, si esto ocurre, que sea reparado. El Estado tiene la obligación de tutelar los bienes colectivos y de garantizar que sean remediados, en la medida de lo posible, por el responsable de la contaminación.

Para estimar la demanda, se valora la cantidad requerida de bienes y servicios de los proyectos y planes de inversión que buscan remediar los impactos del pasivo ambiental minero y, por lo tanto, satisfacer las necesidades de la población (Meixueiro y otros, 2015). A continuación, se deben describir de manera precisa las características principales de la población demandante, así como de las actividades de remediación que se llevarán a cabo. La población demandante incluye no solamente a las poblaciones cercanas, sino a todos los agentes económicos, que obtienen un incremento en su utilidad gracias a la mejora en la calidad del medio ambiente como resultado de la remediación.

La oferta se refiere a la capacidad de reparar los daños y controlar los riesgos del pasivo ambiental minero en virtud de las regulaciones ambientales. Se determina a partir de los recursos y los bienes y servicios que los particulares y los Estados destinan a este fin (Meixueiro y otros, 2015). Para una correcta determinación de la oferta, se define el área de estudio y el área de influencia del proyecto y plan de inversión (véanse el diagrama V.2 y el capítulo IV).

■ Diagrama V.2

Importancia del análisis de la oferta y la demanda en la remediación de pasivos ambientales mineros



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

B. Identificación y medición de costos y beneficios

Para cada alternativa de proyecto se busca identificar y consignar todos los impactos económicos, sociales y ambientales. Los costos y beneficios asociados a cada impacto se transforman en unidades monetarias para luego poder identificar la alternativa que más bienestar neto aporta a la sociedad en su conjunto.

Los factores que intervienen en la producción del bien (*inputs*) normalmente acarrear costos, puesto que no se pueden usar en otros ámbitos. Los recursos principales que se utilizan en la mayoría de los proyectos incluyen insumos productivos, capital, divisas, mano de obra y combustibles (véanse los capítulos III y VI). Los resultados de la intervención (*outputs*), medibles o no en el mercado, pueden asociarse en gran medida a la categoría de beneficios. Los ahorros por daños evitados que puedan materializarse en el futuro también deberían tratarse como beneficios (véase el recuadro V.1).

■ Recuadro V.1

Análisis por daño evitado

Los pasivos ambientales mineros están relacionados con diversos riesgos que se definen en función de sus características y condicionantes externos, como factores climáticos y de topografía (véase el capítulo II). En un horizonte determinado, existen riesgos de daños asociados a la probabilidad que se produzcan eventos adversos vinculados al pasivo ambiental minero (que pueden o no estar desencadenados por fenómenos meteorológicos). Los daños previos se deben enumerar y caracterizar con el mayor nivel de detalle posible.

Si se dispone de antecedentes e información sobre los daños previos, se puede pronosticar y proyectar su eventual ocurrencia con mayor certidumbre. Los daños que se evitan también dependen de las características de la zona, su vocación productiva y las actividades que se llevan a cabo o podrían llevarse a cabo en el lugar dentro del horizonte de análisis. En el supuesto de que no existan datos específicos para la localidad, se puede analizar la información de otros sectores o de casos similares.

Cada nivel de daño estará relacionado con la intensidad y la gravedad del fenómeno. Es posible que el riesgo asociado al pasivo ambiental minero, que tiene un componente de incertidumbre, no pueda expresarse en términos de una función de probabilidad continua, sino en escenarios con niveles alternativos de daño. Por consiguiente, es necesario considerar rangos para determinar un riesgo alto, medio o bajo, según la posibilidad de que ocurran daños de distinto tipo (véase el capítulo V). El proyecto de remediación disminuirá la probabilidad o la gravedad del posible evento adverso.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de E. Posner y M. Adler, "Rethinking cost-benefit analysis", *Yale Law Journal*, vol. 109, New Haven, Universidad de Yale, 1999; Ministerio de Desarrollo Social y Familia de Chile, *Metodología formulación y evaluación de proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias*, Santiago, 2017.

1. Precios determinados en el mercado

A partir del supuesto de equilibrio en un mercado perfectamente competitivo, se considera el potencial de empleo más eficaz de los recursos, lo que refleja el costo de oportunidad (Lewis y Tietenberg, 2020). Los precios sociales (cuenta o sombra) reflejan los costos de oportunidad en la economía y, en el análisis de la relación costo-beneficio, se utilizan para determinar los equilibrios de mercado en situaciones con y sin proyecto (Contreras, 2004).

A diferencia de los precios observables en el mercado, los precios sociales indican la escasez relativa de los bienes y representan los precios que estarían vigentes si no hubiera distorsiones relativas a impuestos, subsidios o externalidades o a la subutilización de recursos productivos (Squire y van der Tak, 1975; Nas, 2016). Los precios sociales se emplean para estimar los costos y los beneficios desde la perspectiva del mercado.

La institución que regula las inversiones públicas en cada país es responsable de la obtención de los precios sociales de los insumos (véase un debate más detallado en Brent, 2008). Los precios sociales deben actualizarse de forma periódica para reflejar correctamente las condiciones de mercado prevalentes (véanse ejemplos de coeficientes que se utilizan para llegar a los precios sociales a partir de los precios observables en los mercados en el cuadro V.1).

■ Cuadro V.1

Chile, Paraguay y Nicaragua: precios sociales

País	Mano de obra			Divisa	Capital (En porcentajes)
	Calificada	Semicalificada	No calificada		
Chile	0,97	0,95	0,91	1,0	6
Paraguay	0,91	0,88	0,78	1,05	16,5
Nicaragua	-	-	-	1,015	8,0

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de E. Contreras, "Precios sociales: marco teórico para el cálculo de tasa social de descuento, divisa y mano de obra", *Documento de Trabajo*, Santiago, Universidad de Chile, 2018, inédito; Ministerio de Desarrollo Social y Familia de Chile, *Informe Precios Sociales 2023*, Santiago, 2023.

De la misma forma, todos los beneficios determinados a través del mercado se medirán en precios sociales. No se incluyen los efectos pecuniarios, ya que estos típicamente suponen un desplazamiento de la demanda (por ejemplo, se favorece la producción en la localidad afectada en perjuicio de otras partes del país) y no alteran la producción nacional total (Nas, 2016; Boardman y otros, 2018).

2. Costos y beneficios sin precios en el mercado

Para medir correctamente los costos del proyecto, resulta necesario cuantificar y valorar las externalidades negativas que surgirían en caso de que se implementara la alternativa de proyecto de remediación en cuestión. Las externalidades negativas incluyen, entre otras cosas, el ruido, la congestión, la inaccesibilidad temporal y la contaminación de algunos recursos locales. Además, se debe dejar un margen adecuado para adaptarse ante la posibilidad de que aparezcan nuevas externalidades en el futuro.

Con respecto a los beneficios, se pueden incluir bienes ambientales y culturales cuyo valor va más allá del precio que se le asigna en el mercado (véase el cuadro V.2). En su valoración monetaria, es imprescindible tomar en cuenta el valor total que representa para los individuos. Sin embargo, cabe señalar que el valor de la naturaleza en el análisis de la relación costo-beneficio depende de la valoración que los individuos le atribuyen en el ámbito de análisis. El análisis de la relación costo-beneficio no suele considerar el valor del recurso para la humanidad ni el valor de los bienes ambientales que sea independiente de los agentes económicos (Baum, 2012). Una alternativa sería estudiar la posibilidad de integrar el valor intrínseco de la naturaleza en países en los que se la considera titular de sus propios derechos.

■ Cuadro V.2

Categorías de los tipos de valores de bienes ambientales

Categoría	Subcategoría	Descripción
Valor de uso	Consumo de bienes rivales	El valor económico (la utilidad) del recurso natural (corregido por las externalidades).
	Consumo de bienes no rivales	Extracción de los recursos naturales. Respiración del aire y senderismo.
	Valor de opción	El valor que los agentes económicos atribuyen a un posible aprovechamiento del recurso en el futuro (por ejemplo, el valor recreativo).
Valor de no uso (o de uso pasivo)	Valor de legado	El valor que los agentes económicos asignan a la posibilidad de que las generaciones futuras aprovechen el recurso y el valor percibido como intrínseco (independiente del tipo de uso).
	Valor de existencia	El valor de la existencia misma del bien o recurso (por ejemplo, una especie endémica).

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de F. Cross, "Natural resource damage valuation", *Vanderbilt Law Review*, vol. 42, N° 2, Nashville, Universidad de Vanderbilt, 1989; T. Nas, *Cost-Benefit Analysis: Theory and Application*, Lanham, Lexington Books, 2016; A. Boardman y otros, *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*, Cambridge, Cambridge University Press, 2018; L. Lewis y T. Tietenberg, *Environmental Economics and Policy*, Londres, Routledge, 2020.

Las herramientas que más ampliamente se aprovechan para cuantificar los valores de los bienes ambientales son la valoración declarada y la valoración revelada (véase el cuadro V.3).

■ Cuadro V.3 Métodos de valoración ambiental

Métodos de valoración	Definición	Subcategorías
Valoración declarada	Producen datos hipotéticos específicos para un caso dado	Valoración contingente: se emplean encuestas estructuradas para obtener la disposición a pagar de los individuos por un bien o un conjunto de bienes (por ejemplo, mejora en la calidad del agua o protección de la biodiversidad local).
		Método de experimentos de elección discreta: es una variante del método de valoración contingente. A los encuestados se les presenta una serie de escenarios que difieren en algunas características de interés y, de esta forma, se puede conocer su disposición a pagar.
Valoración revelada	Se analizan datos indirectos que provienen de otros mercados	Precios hedónicos: el valor de un bien o servicio se desglosa en varios componentes para estimar sus valores (por ejemplo, a través de los precios de un sitio se calcula el valor de la calidad del aire local).
		Costos evitados: se analizan los desembolsos realizados frente a un cambio en el medio ambiente.
		Costos de viaje: los gastos por viajes hacia un bien ambiental particular permiten estimar su valor.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de D. Azqueta, *Valoración económica de la calidad ambiental*, Madrid, McGraw-Hill, 1994; T. Nas, *Cost-Benefit Analysis: Theory and Application*, Lanham, Lexington Books, 2016; L. Lewis y T. Tietenberg, *Environmental Economics and Policy*, Londres, Routledge, 2020; E. Mishan y E. Quah, *Cost-Benefit Analysis*, Abington, Routledge, 2021.

Si bien los métodos ayudan a dimensionar el valor que tienen los bienes ambientales para los consumidores, es necesario reconocer sus limitaciones. En los métodos de valoración declarada, los encuestados pueden dar respuestas poco realistas al tratarse de escenarios hipotéticos o responder de forma estratégica si son conscientes de que sus contribuciones influyen en la evaluación final (Mitchell y Carson, 1989). Arrow y otros (1993) concluyeron que los métodos de valoración contingente pueden aportar datos relevantes si el diseño de las encuestas o los experimentos es de calidad y si se proporcionan directrices. Por otra parte, la debilidad de los métodos de valoración revelada tiene que ver con el uso de datos económicos, que no capturan el valor de uso pasivo o facilitan únicamente respuestas indicativas sobre la contribución de la calidad del medio ambiente al valor total del bien en cuestión (Atkinson y Mourato, 2008; Boardman y otros, 2018). Al combinar los dos enfoques, se pueden aprovechar sus respectivas fortalezas (Atkinson y Mourato, 2008).

Para determinar el valor de la vida humana en el marco de un análisis de la relación costo-beneficio se ha usado la estimación de la pérdida en los ingresos o el consumo futuros debido a la muerte del individuo. El valor de la vida estadística refleja la disposición a pagar de los individuos por una disminución del riesgo de pérdida de una vida humana (Viscusi, 1993; Mishan y Quah, 2021). El hecho de asumir que la vida humana tiene un precio

pueder ser objeto de controversia, por lo que se prefiere aplicar un método alternativo al análisis de la relación costo-beneficio (véanse los apartados III.D. y VI.D). En el caso de que se fije un precio hipotético a la vida humana en el análisis de la relación costo-beneficio, es fundamental explicar el concepto de manera adecuada a los tomadores de decisiones y a todas las partes interesadas, sobre todo a aquellas afectadas por el pasivo ambiental minero.

C. Evaluación de costos y beneficios

El análisis de la relación costo-beneficio se emplea para identificar el proyecto que más bienestar social aporta frente a un conjunto de alternativas. De acuerdo con la teoría ortodoxa, el bienestar social se vincula con la eficiencia de asignación y, de este modo, se conceptualiza en muchos análisis de la relación costo-beneficio (Boardman y otros, 2018). En esta guía también se busca añadir de forma explícita el criterio de equidad.

Cualquier proyecto de índole pública probablemente dividirá a la sociedad en ganadores (como las poblaciones aledañas a un pasivo ambiental minero) y perdedores (como los contribuyentes residentes en otros sectores). Asimismo, el análisis de la relación costo-beneficio busca cumplir el criterio de Kaldor-Hicks o la mejora de Pareto. Según estos conceptos, el aumento en el bienestar de los ganadores debe superar las pérdidas en el bienestar de los perdedores. En teoría, el primer grupo debería estar en condiciones de compensar por completo al segundo grupo e incluso encontrarse en una situación más favorable que antes de la implementación del proyecto¹.

Los cambios en la eficiencia social provocados por el proyecto surgen de los cambios en los excedentes del consumidor y del productor y en los ingresos del gobierno. El excedente del consumidor se define como la diferencia entre la utilidad máxima obtenida del consumo de un bien a los niveles de precio vigentes. Típicamente, se deriva de la discrepancia entre la disposición a pagar por un bien y su precio actual. Para los bienes que se intercambian en el mercado, es posible utilizar los precios sociales. De lo contrario, se debe estimar su valor mediante un método de valoración declarado o revelado. En cuanto al excedente del productor, se calcula como la ganancia por la venta del bien y se mide como la diferencia entre el precio de sombra vigente y el precio mínimo al que estaría dispuesto a vender. Los ingresos del gobierno equivalen a los ingresos monetarios adicionales generados como resultado de la implementación del proyecto. Solo el excedente del consumidor y los ingresos del gobierno asociados con un cambio real en la producción se suman al excedente del consumidor en el análisis de la relación costo-beneficio (Mishan y Quah, 2021).

¹ Teóricamente, se puede producir una mejora de Pareto, por lo cual el proyecto aumenta el bienestar total sin disminuir la utilidad de ningún miembro de la sociedad. Si bien esta situación probablemente gozaría de un apoyo universal, en la práctica no se reúnen las condiciones propicias para la mejora (Nyborg, 2012).

D. Evaluación y comparación de los proyectos

Los valores de los costos y beneficios deben ser comparables entre las alternativas. Por ello, en el marco de la evaluación de los impactos identificados, cobran relevancia las consideraciones distributivas y temporales. En términos distributivos, se estudia de qué manera cada agente económico recibe los impactos individuales, mientras que, en términos temporales, se analiza de qué manera los flujos de costos y beneficios que se producen en varios años se consolidan en una sola cifra. Los aspectos de equidad y temporalidad se exploran a continuación.

1. Uso de ponderadores para consideraciones distributivas

En el análisis de la relación costo-beneficio se toma la situación actual como punto de partida y se analiza la posibilidad de mejorar el bienestar social mediante una reasignación de recursos para que la mejora en la utilidad de los ganadores pueda superar las reducciones en la utilidad de los perdedores. La compensación entre los dos grupos se vuelve una cuestión de política redistributiva fuera de la decisión de inversión. El cambio en el bienestar social es el agregado de los cambios en las utilidades individuales.

En esta guía, se recomienda emplear en el análisis de la relación costo-beneficio el enfoque distributivo, además del tradicional enfoque de eficiencia. El enfoque distributivo distingue las ganancias y pérdidas entre los diversos agentes económicos y otorga una valoración distinta a cada grupo.

Revesz y Livermore (2023) toman la igualdad como un objetivo separado y aconsejan emplear el análisis de la relación costo-beneficio para maximizar la eficiencia social y luego hacer compensaciones mediante políticas de redistribución. Sin embargo, la separación de los criterios de eficiencia y de equidad puede llevar a que “una situación económicamente óptima no [sea] forzosamente socialmente deseable” (Gómez, 1998). Habida cuenta de la gran desigualdad que caracteriza a América Latina y el Caribe (CEPAL, 2023b) y de la ausencia de mecanismos de compensación adecuados, es probable que el enfoque de análisis de la relación costo-beneficio neoclásico basado únicamente en la eficiencia de asignación ignore e incluso agudice las brechas socioeconómicas.

Existen dos razones por las que el análisis de la relación costo-beneficio puede generar resultados que no cumplan con el criterio de equidad. La primera es que la disposición a pagar puede estar sesgada a favor de los intereses de los segmentos más pudientes (Nyborg, 2012). La segunda es que los altos costos de transacción y la gran dispersión de las partes afectadas pueden hacer que las compensaciones sean complejas y caras.

Para incluir los efectos distributivos, se recomienda utilizar ponderaciones de bienestar diferenciadas por grupos socioeconómicos o de interés. De esta manera, los ponderadores ofrecen una forma de abordar la equidad cuando los mecanismos existentes de redistribución de ingresos no son aptos o cuando la equidad importa a la sociedad. Si bien en los lineamientos

nacionales la obligación de usar ponderadores aparece esporádicamente (Boardman y otros, 2018), en los análisis de la relación costo-beneficio de proyectos con implicaciones para el desarrollo local, una categoría que incluye los proyectos de remediación, los ponderadores se usan más a menudo (Nas, 2016).

Los ponderadores se deben obtener de manera global con un mecanismo transparente (Contreras, 2004). Se pueden basar en aprendizajes de proyectos que se han llevado a cabo previamente o en funciones de bienestar social con niveles variables de normatividad incorporada (Adler, 2016; Nas, 2016). En la práctica, es posible definir los ponderadores según la proporción de gasto social que el Estado ejecuta en cada grupo social u otro criterio similar.

Los críticos de las ponderaciones aseveran que los coeficientes no gozan de un consenso debido a su contenido normativo, merman la eficiencia e incluso pueden producir resultados inequitativos (Mishan y Quah, 2021). No obstante, el mismo análisis de la relación costo-beneficio es normativo (Sen, 2000; Nyborg, 2012), y los altos niveles de desigualdad socavan la eficiencia productiva de la región (CEPAL, 2018). Por consiguiente, es justificable considerar la igualdad en la evaluación de proyectos para tratar de corregir externalidades que afectan a las poblaciones rurales.

2. Comparabilidad temporal: el horizonte de análisis y la tasa de descuento

El horizonte de análisis y la tasa de descuento escogidos deben permitir llegar a resultados fiables y realistas. Los años para los que se calculan, agregan y comparan beneficios y costos, así como la tasa de descuento que modifica los valores de cada año para presentar valores comparables, influyen en los resultados de forma conjunta. Por lo tanto, es necesario minimizar posibles sesgos.

Los efectos ambientales de un proyecto de remediación pueden ser sustantivos y de muy largo plazo, lo que afecta a las generaciones futuras. Por el contrario, la mayor parte de los costos suele concentrarse en los primeros años del proyecto. Normalmente, un horizonte temporal se define a partir de la vida útil de los elementos que generan los beneficios de la inversión. Para no subestimar los beneficios totales, O'Mahony (2021) sugiere que se consideren horizontes de análisis superiores a 100 años, una práctica ya empleada en proyectos de infraestructura.

La tasa social de descuento transforma los futuros flujos de costos y beneficios en valores actuales. A raíz de su impacto en el resultado final, la determinación de la tasa se ha vuelto un asunto controvertido (*The Economist*, 2014; Stiglitz y Rosengard, 2015). En un mercado de capital perfectamente competitivo, la tasa de interés vigente representaría tanto la tasa de preferencia temporal de los consumidores (entre el consumo actual y futuro) como la tasa de retorno sobre el capital (es decir, la tasa del costo de oportunidad del uso del capital).

En cuanto a la evaluación del análisis de la relación costo-beneficio, el precio social del capital se considera más preciso, pero sus requisitos de información dificultan su aplicación (Nas, 2016; OCDE, 2018). En consecuencia, se han propuesto varias fórmulas que favorecen la preferencia temporal del consumo o el retorno sobre el capital, o que buscan combinar los dos enfoques. Dadas las imperfecciones del mercado, las dos tasas difieren. Según Edwards (2014), la tasa de preferencia intertemporal del consumo “sería (...) más adecuada para descontar los flujos de largo plazo, pues ella representaría de mejor forma el grado en que las generaciones actuales valoran a las generaciones futuras”.

Una tasa alta significa que los agentes le atribuyen más importancia a una retribución inmediata, mientras que una tasa baja indica que dan más importancia al futuro lejano (Torche y otros, 2009). En el extremo, una tasa de descuento igual a cero implicaría una valoración del bienestar de todas las generaciones con la misma ponderación. De acuerdo con las consideraciones ambientales, la tasa social de descuento debería reflejar una preocupación por el futuro desde una perspectiva de sustentabilidad que vele por las generaciones futuras.

Las tasas de descuento utilizadas a escala internacional en los análisis de la relación costo-beneficio han ido disminuyendo en las últimas décadas (Boardman y otros, 2018). En lo que respecta a proyectos ambientales con horizontes temporales largos, varios países han comenzado a utilizar tasas de descuento que decrecen en el tiempo para reflejar de forma fidedigna los beneficios que se materializan en el futuro, teniendo en cuenta la incertidumbre y los intereses de las generaciones futuras (Revesz y Livermore, 2023; Arrow y otros, 2014).

En la mayor parte de los países de la región, la tasa social se calcula como una suma ponderada a nivel intergeneracional que incluye las preferencias intertemporales de los consumidores y la tasa de rendimiento del capital. Se agregan también las tasas de los créditos internacionales otorgados a los países para financiar parte de sus inversiones públicas.

3. Riesgo e incertidumbre

La exactitud de los resultados generados por el análisis de la relación costo-beneficio puede verse afectada por el riesgo (distribución de las probabilidades de los eventos conocida) y la incertidumbre (distribución de las probabilidades de los eventos desconocida). Para mejorar la toma de decisiones, se sugiere evaluar los efectos de los eventuales cambios en los supuestos o principales parámetros sobre el cambio esperado en el bienestar neto (Revesz y Livermore, 2023). Cuando los resultados no presentan grandes variaciones ante cambios en los supuestos, se consideran robustos (Bonner, 2022).

Para medir los riesgos vinculados con cada opción, se obtiene el valor descontado de los equivalentes ciertos, es decir, los beneficios netos esperados en cada año corregidos por el factor de riesgo. Si los tomadores de decisiones muestran aversión al riesgo (por ejemplo, prefieren un proyecto con un menor beneficio total neto antes que correr el riesgo de una escalada de costos), se aplica una prima de riesgo (Stiglitz y Rosengard, 2015).

En un contexto de incertidumbre en relación con algunos parámetros (como ponderaciones por grupos o diferentes tasas de descuento), se puede recurrir al análisis de sensibilidad. En este caso, se elaboran y evalúan escenarios modificando los valores de los parámetros que generan incertidumbre, y se establecen límites superiores e inferiores. Para lograrlo, se basan en datos históricos, en la evidencia recopilada durante experimentos o en las preferencias de los tomadores de decisiones. No es necesario llevar a cabo el análisis de sensibilidad si se espera que los eventos que pueden influir en el resultado se produzcan de forma aleatoria (Nas, 2016).

En el análisis de la relación costo-beneficio, se usan tres formas de análisis de sensibilidad principales (Bonner, 2022):

- i) Análisis parcial: se analiza el impacto del cambio en una sola variable sobre los indicadores.
- ii) Análisis de escenarios mejores y peores: se generan y analizan escenarios más optimistas y pesimistas.
- iii) Simulación de Montecarlo: es una herramienta de análisis probabilística recurrentemente utilizada en el análisis de la relación costo-beneficio y puede ser útil en casos de correlaciones entre dos o más parámetros de interés. Se estima la distribución de las probabilidades y se repite un muestreo aleatorio de datos dentro de este rango miles de veces, anotando los valores promedios y construyendo la distribución final de los beneficios netos (OCDE, 2018).

Capítulo VI

Evaluación integral para una remediación sostenible

Introducción

En el presente capítulo se profundiza la evaluación integral para una remediación sostenible. La elección de la herramienta que se va a usar para evaluar proyectos depende, entre otros factores, de los lineamientos nacionales, los recursos a disposición de la institución encargada del análisis y las preferencias de los encargados de tomar decisiones (véase el capítulo III). En general, se propone utilizar el análisis de la relación costo-beneficio, puesto que permite determinar el balance costo-beneficio de las alternativas individuales de remediación. En particular, para que la evaluación cumpla los criterios de sostenibilidad asociados a la selección de alternativas de remediación, se deben tener en cuenta las siguientes dimensiones: i) ambiental; ii) financiera; iii) económica, y iv) social.

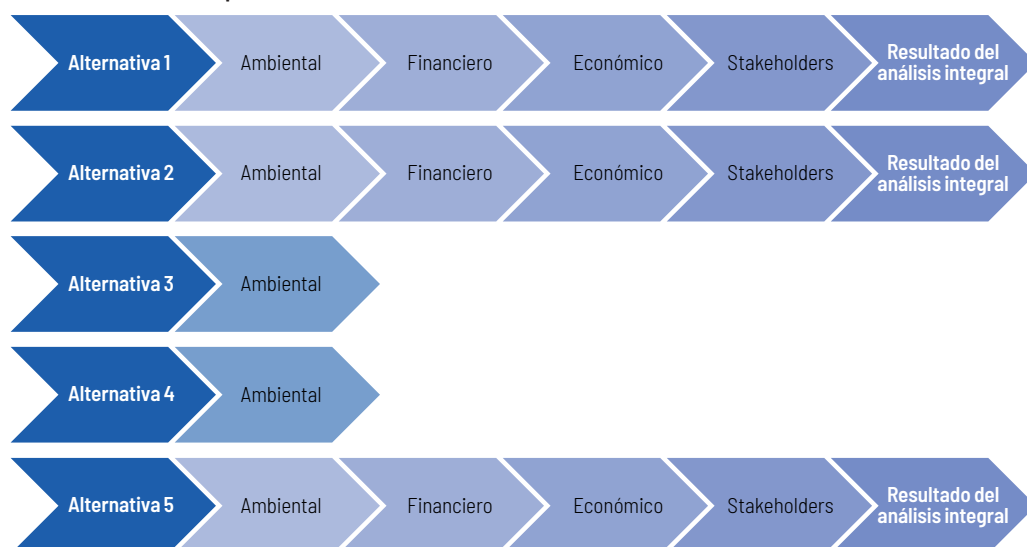
En el primer paso, se garantiza que la opción de remediación cumpla el criterio ambiental, que consiste en controlar o eliminar el riesgo y los efectos negativos sobre el medio ambiente y las comunidades. En el segundo paso, a través de la evaluación financiera, se analizan todos los costos o egresos financieros de la remediación que debería afrontar el agente que se hace cargo de implementar la alternativa en cuestión, además de sus posibles ingresos. En el tercer paso, la evaluación económica amplía la evaluación financiera, ya que incluye los costos y beneficios que enfrenta la sociedad al aplicar la alternativa de remediación. Por último, el análisis social complementa las evaluaciones anteriores e integra el componente distributivo al considerar los grupos de menores ingresos.

A. Dimensiones de una evaluación integral

La evaluación integral se lleva a cabo con el objetivo de seleccionar la alternativa más adecuada desde el punto de vista del bienestar social (análisis económico), considerando además la viabilidad financiera y el mayor grado de equidad social posible, para lograr la remediación del pasivo ambiental minero identificado. El análisis técnico prioriza la sostenibilidad ambiental y la reducción del riesgo como condiciones previas a los demás análisis (véase el diagrama VI.1), lo que resalta la importancia de las regulaciones vigentes en el país.

■ Diagrama VI.1

Secuencia de las etapas de la evaluación de alternativas de remediación



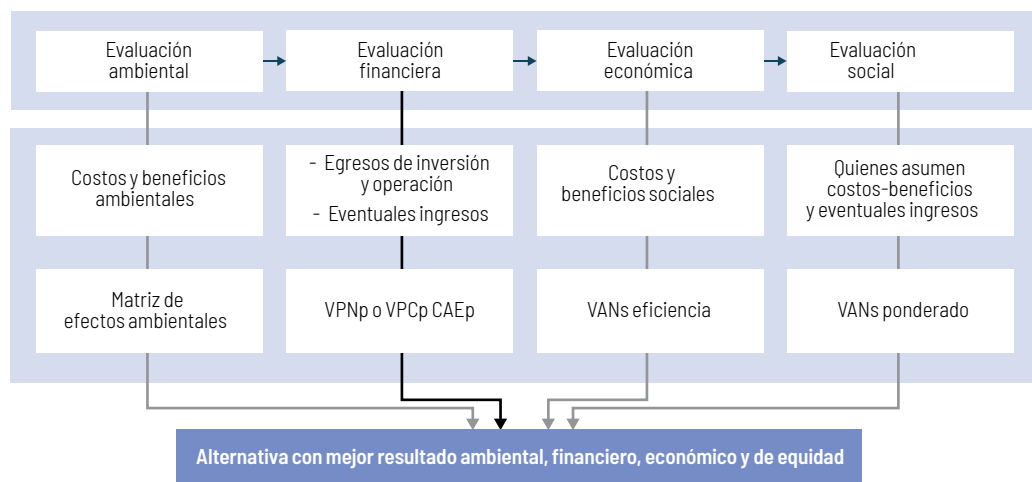
Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

El análisis de la relación costo-beneficio ofrece la posibilidad de combinar en un solo dato monetario (o en un rango) todos los aspectos financieros, económicos, sociales y ambientales. Las diferencias en términos ambientales entre las alternativas individuales (más allá del mínimo aceptable) se incluirán posteriormente en el análisis de la relación costo-beneficio mediante sus respectivos beneficios y costos sociales (siempre que se opte por integrar los impactos ambientales pertinentes en el análisis cuantitativo). Sin embargo, también es posible elaborar un análisis de la relación costo-beneficio expresando algunos aspectos en otras unidades, sin necesidad de monetizarlos (como la reducción del ruido en decibelios o la expansión de cobertura forestal en hectáreas; véase el apartado III.A).

Siguiendo un orden fijo, las etapas posteriores a la evaluación ambiental se retroalimentan. Si en la evaluación financiera se obtiene el balance para la entidad responsable de la remediación, en la evaluación económica se extiende ese balance al conjunto de agentes económicos de la sociedad, tomando en cuenta los aspectos tangibles e intangibles.

Finalmente, el análisis social complementa el análisis económico al reevaluar la distribución de los costos y beneficios sociales entre todos los agentes de acuerdo con criterios socioeconómicos (véase el diagrama VI.2).

■ **Diagrama VI.2**
Organización y productos de la evaluación integral



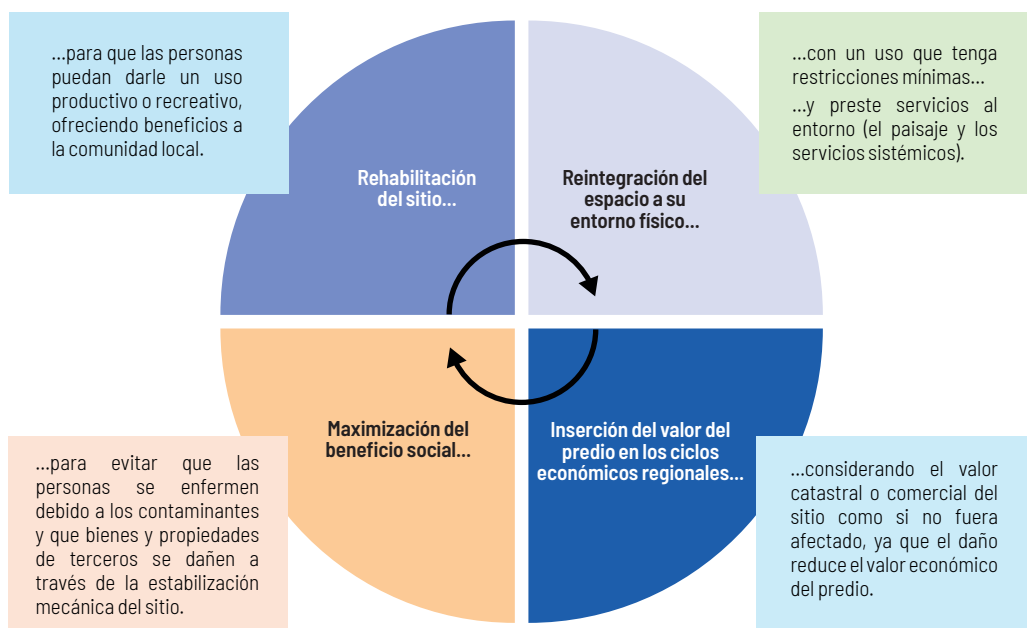
Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de G. Jenkins, K. Chun-Yan y A. Harberger, "The integrated analysis of investment projects", *Cost-Benefit Analysis for Investment Decisions*, Kingston, Queen's University, 2011.

A través del proyecto de remediación, se busca (re)insertar el sitio en los ecosistemas ecológicos y socioeconómicos de la región (véase el diagrama VI.3). Se deben identificar alternativas que permitan alcanzar los objetivos plasmados en el árbol de objetivos y que sean mayormente diferenciables en aspectos que se dilucidarán precisamente en la evaluación integral que se considere (véase el apartado IV.B). Las prácticas de remediación sostenible no son solo aquellas que reducen los impactos globales (como la contaminación de los suelos y los recursos hídricos), sino también las que inciden positivamente en los efectos ambientales locales, en los impactos potenciales sobre la seguridad de los trabajadores y en las opciones de actividades económicas en la comunidad.

La intervención debería permitir que las acciones, las obras y demás intervenciones conduzcan a que el sitio proporcione los recursos necesarios para mantenerse en buen estado y que, a largo plazo, reduzca los costos de operación y mantenimiento, así como sus impactos. En este ámbito, es preciso considerar también la participación de la comunidad directamente afectada para asegurar la mejor ejecución de la remediación (r3 Environmental Technology, 2014; véase el capítulo II).

■ Diagrama VI.3

Principales categorías consideradas en la evaluación integral con aspectos de sostenibilidad



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), *Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites*, Cincinnati, 2008; "Green remediation best management practices: mining sites", Washington, D.C., 2012.

B. Evaluación ambiental

La sostenibilidad ambiental es un requisito en cualquier alternativa de proyecto de remediación, pero puede haber diferencias de grado entre las alternativas individuales (véanse los capítulos II y V).

Todo proyecto de remediación ha de garantizar, en primer lugar, el cumplimiento de los objetivos de la remediación. El marco normativo vigente define los estándares mínimos y, de esta forma, determina los parámetros de la evaluación ambiental. Como principio general, se debe buscar minimizar el impacto de las obras en el medio ambiente y las comunidades vecinas.

Si el análisis se lleva a cabo mediante una clasificación, los datos ambientales deben incluirse en la evaluación como costos y beneficios pecuniarios. Luego, se debe elegir el proyecto que más beneficio social neto adicional aporte. Por lo tanto, es imprescindible que los agentes económicos midan de manera adecuada el valor de los recursos ambientales en todas sus formas (véase el apartado V.B.2).

Como alternativa, cada dimensión puede medirse en unidades específicas. En este caso, es importante que los elementos que permiten evaluar la sostenibilidad ambiental de un proyecto de remediación se incluyan en una evaluación ordenada y sistematizada (como una matriz), teniendo en cuenta los siguientes factores (Fortuna, Simion y Gavrilesco, 2011; EPA, 2008 y 2012)¹:

- La reintegración del sitio a su entorno, tanto en lo que respecta a su uso con restricciones mínimas como a los servicios que prestará (desde el punto de vista del paisaje o de los servicios sistémicos). Se aprovecha o imita un proceso natural.
- Los riesgos que conlleva el movimiento de materiales, el uso de materiales para la construcción y el consumo de agua, así como sus posibles mitigaciones.
- El volumen de combustibles fósiles u otros recursos naturales que se necesitarán en cada alternativa de remediación y, en consecuencia, el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, se puede considerar la generación de energía renovable.
- El nivel de reutilización o reciclaje de la tierra o de materiales indeseables.
- El porcentaje del sitio que contará con una cobertura vegetal.
- El potencial para el fomento de tecnologías de recuperación que destruyan los contaminantes.
- Las posibilidades de que, mediante el uso futuro del sitio, se ofrezcan servicios que compensen los impactos sociales del pasivo ambiental minero.
- La descontaminación del aire, los suelos y los recursos hídricos locales.
- La protección de la biodiversidad.
- El tratamiento de los residuos, incluida su reutilización.

La adopción de medidas adicionales a lo largo del ciclo de vida del proyecto puede reforzar el desempeño ambiental de las tecnologías aplicadas (véase el capítulo II) (Holland y otros, 2011):

- Implementar tecnologías *in situ* cuando sea posible.
- Reciclar o reutilizar el suelo no afectado o los materiales de demolición.
- Usar energía renovable para el funcionamiento del sistema de remediación.
- Reducir las necesidades de transporte.
- Impartir formación a los trabajadores locales.
- Organizar eventos comunitarios colaborativos.

¹ En Chile, el Brasil, México y el Perú existen disposiciones o regulaciones relativas a la evaluación de riesgos. Hasta la fecha, no se ha incluido la evaluación de aspectos que limiten o fomenten la sostenibilidad tanto de la remediación como del uso futuro.

C. Evaluación privada o financiera

En la evaluación financiera², se analizan todos los costos o egresos financieros de la remediación que debería afrontar el agente que se hace cargo de implementar la alternativa en cuestión, además de sus posibles ingresos. Este agente puede ser una institución estatal o municipal o un concesionario privado³.

Si bien las ganancias netas sociales determinan la deseabilidad (en relación con las demás alternativas y el *statu quo*) de un proyecto (véase el apartado “Evaluación económica” a continuación), la evaluación privada adquiere especial importancia en la búsqueda de financiamiento para la remediación (véase el capítulo II). Además del fondo de contingencias, los costos contribuyen a la posterior elaboración del presupuesto del proyecto.

Los costos y los ingresos deben detallarse y ordenarse en el tiempo para obtener los respectivos indicadores. La relevancia de las variables dependerá en gran medida de la naturaleza de la alternativa de remediación (véase el cuadro VI.1).

■ Cuadro VI.1

Variables financieras relevantes para el análisis de la relación costo-beneficio

Inversión	Operación y mantenimiento	Ingresos
Alquileres		Margen de beneficio unitario (y precio final del bien producido)
Inversión fija ^a y bienes de capital	Depreciación del bien o servicio	Nivel de producción óptimo
Suministros		Volumen de ventas
Empleados		
Impuestos		
Pago de seguros de responsabilidad civil		
Cotizaciones a la seguridad social de los empleados		
Costo de financiamiento de los créditos o los préstamos solicitados		

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

^a La inversión fija incluye los costos de los estudios, como el análisis técnico y topográfico del sitio, la caracterización y la evaluación de riesgos, entre otros. Estos estudios facilitan la información necesaria para la elaboración de la propuesta de remediación (plan de descontaminación), la planificación y la ingeniería detallada de la remediación, las estimaciones de costos y, posteriormente, el costo de las obras y los trabajos de remediación y posremediación.

² El análisis descrito constituye una evaluación financiera simplificada, ya que no considera los impuestos y los incentivos que pueden existir en los países para promover la inversión en activos fijos o el financiamiento externo para el proyecto (Sapag, Sapag y Sapag, 2014). La exclusión de la situación tributaria en los flujos del horizonte no plantea mayores complicaciones, pues estos se deben llevar a la evaluación económica (con un valor distinto, como se explicará más adelante).

³ Es menos probable que se trate de un concesionario privado porque el recurso que se ha de concesionar se considera un pasivo (no un activo). En el caso de los pasivos abandonados, el agente suele ser una institución estatal (véase el capítulo II).

1. Costos financieros de cada alternativa de remediación

En cada alternativa de proyecto, se deben detallar todos los egresos que demanda su implementación y operación, que son fundamentalmente de dos tipos (MIDEPLAN, 2010):

a) Inversión

Los costos de inversión son necesarios para poner en marcha la alternativa e incluyen la adquisición de activos, como terrenos para instalar unidades de operaciones o centros de acopio de materiales, además de maquinaria y equipos. Dentro de este rubro se incluyen solamente los desembolsos efectuados por el propio agente (por ejemplo, no se produce un egreso financiero si el agente, como el municipio, ya disponía de los terrenos o recintos o si estos se cedieron a un concesionario). La evaluación financiera y la evaluación económica difieren en este aspecto, ya que la última abarca todo el valor económico, independientemente del propietario.

Si se sabe *ex ante* que otros agentes o distintos agentes aportarán más activos, estos también deben tenerse en cuenta, sin incluir los egresos correspondientes (porque no se producen en términos financieros). En caso de incluir su valor en la evaluación, debe analizarse la opción de financiamiento de los activos que demande cada alternativa.

b) Operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento son recurrentes y deben afrontarse durante el plazo de la remediación, incluida la fase de poscierre. Estos incluyen, entre otros, el costo de contratación de mano de obra para las labores permanentes de remediación y la adquisición de elementos para tratar los sitios contaminados. Suponiendo que la entidad a cargo del proyecto de remediación se quede gestionando el sitio una vez finalizado el proyecto, los costos vinculados con el mantenimiento en las etapas futuras también se reflejarán en su hoja de balance.

Los gastos efectivos son los únicos que se consideran costos. Si la organización que asume la ejecución total o parcial del proyecto ya cuenta con personal preexistente (como líderes de proyecto, agentes de relaciones con la comunidad o personal administrativo), se considera la fracción de la remuneración total de los empleados que corresponde a las horas trabajadas en el proyecto. Por otro lado, en el caso del personal que pertenece a una empresa externa y presta el servicio de operación o mantenimiento, debe consignarse el valor de la contratación de ese servicio, no el valor de la mano de obra. A través de los costos también se puede buscar la mejor forma de combinar los servicios internos y externos, tomando en cuenta los costos de transacción y los riesgos que plantean los contratos incompletos (que no prevén todos los posibles riesgos) e incumplidos.

En el cuadro VI.2 se expone un ejemplo de costos financieros para una alternativa hipotética. A cada tipo de gasto se debe asociar su frecuencia o periodo de recurrencia, que podrían ser regulares (diarios, mensuales, anuales) o irregulares. De la misma manera, se especifica si el desembolso identificado variará en la frecuencia determinada y cuál

será la tasa de esa variación⁴. Al determinar la tasa de variación, se puede tener en cuenta cualquier fluctuación que se produzca debido a otro factor que no sea el cambio en el valor de la moneda (por ejemplo, cambios en los aranceles de insumos importados o suministros progresivos debido a razones técnicas).

■ Cuadro VI.2

Costos de inversión, operación y mantenimiento de la alternativa modelo

Inversión (partidas)	Cantidad (unidad)	Precio unitario	Costo total	Períodos o frecuencia	Proyección
Demoliciones	1 200 (m ²)	120 dólares/m ²	1 200 x 120 = 144 000	Año 0	...
Restablecimiento de terrenos	5 000 (m ²)	40 dólares/m ²	5 000 x 40 = 200 000	Años 0 y 1	...
Operación y mantenimiento					
Tratamiento de aguas ácidas	500 000 (m ³ /año)	0,70 dólares/m ³	500 000 x 0,7 = 350 000	Anual hasta el año 10	Decrecimiento con tasa x%
Monitoreo y evaluación	4 (unidades/año)	5 000 dólares/unidad	4 x 5 000 = 20 000	Cada 2 años hasta el año 10	Constante

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

2. Ingresos financieros de la remediación

La consideración de ingresos adquiere relevancia cuando las alternativas de remediación implican la reutilización, renovación o revitalización de sitios contaminados, lo que da lugar a una explotación mayor o nueva. Estos ingresos pueden obtenerse de forma recurrente (por ejemplo, si el sitio se explota para la producción agrícola, actividades turísticas u otro tipo de producción que tenga demanda) o mediante venta única (por ejemplo, venta del sitio o de los componentes reutilizados a una empresa explotadora de minerales).

En la explotación, ya sea turística, deportiva u otras, los ingresos netos se calculan descontando los costos de explotación más allá de la remediación. Esto incluye obras de infraestructura y costos administrativos y de mantenimiento, en especial si la agencia implementadora queda a cargo del sitio y saca provecho de los activos. Si no se dispone de un análisis detallado para la zona, los precios que se considerarán pueden estimarse mediante precios de actividades o explotaciones similares en otras regiones con características equivalentes.

Como ocurre con los egresos, se establecen períodos y frecuencias de obtención de ingresos y se muestra su variación en el tiempo. Los datos se consignan en el mismo tipo de tabla.

⁴ Las fuentes de posibles variaciones solo serán de carácter técnico, ya que también se consideran todos los montos al valor constante de la moneda utilizada para simplificar.

3. Flujo de caja privado

En el sistema de flujo de caja (véase el cuadro VI.3), se detallan los egresos e ingresos relacionados con cada alternativa de remediación, junto con sus respectivos períodos de ocurrencia. Este sistema se enfoca en períodos anuales. En el año cero se analiza el proyecto mediante estudios y se ejecuta la inversión principal. Luego se incluyen los años posteriores hasta llegar al horizonte final. Si la inversión lleva más de un año, se asigna como corresponde a cada uno de ellos, siempre partiendo del año cero.

■ Cuadro VI.3

Flujo de caja financiero para la alternativa de proyecto de remediación A

Flujo de caja financiero para la alternativa de proyecto de remediación A					
Período (año)	0	1	2	3	N
Egresos (costos)	C_0	C_1	C_2	C_3	C_N
• Inversión					
- Partida 1 (terreno)					
- Partida 2 (obras)					
- Partida i (materiales)					
• Operación y mantenimiento					
- Suministro de nutrientes					
- Tratamiento del terreno					
• Otros costos de operación y mantenimiento					
Ingresos	I_0	I_1	I_2	I_3	I_N
• Ingresos tipo 1					
• Ingresos tipo 2					
• Ingresos tipo i					
Flujo de caja (ingresos menos egresos)	F_0	F_1	F_2	F_3	F_N

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

La configuración permite plasmar anualmente los costos (C_j) e ingresos totales (I_j). De esta manera, el flujo de caja (F_j) resulta de la diferencia entre C_j e I_j . Se emplean varios criterios, analizados conjunta o independientemente, para determinar el horizonte del flujo de fondos (N):

- i) Una vez finalizada la vida útil de la mayor parte de la inversión, que suele incluir maquinarias y equipos, se requieren nuevas inversiones. Esto lleva a revisar nuevamente esa decisión. Si los activos tienen distintas expectativas de vida útil, se debe considerar la posibilidad de reinvertir en activos con una vida útil más corta.

- ii) El plazo necesario para descontaminar el sitio. Se tienen en cuenta los años en los que se producen los egresos para alcanzar el nivel de descontaminación definido como el período de verificación (a menos que esto ocurra en el mismo plazo que la mayor parte de los egresos).
- iii) El plazo de concesión o contrato de cesión a terceros, que a su vez puede definirse en función de los criterios de optimización del financiamiento del proyecto. Si la alternativa que se trata incluye los ingresos, se puede definir un horizonte que asegure la cantidad de años suficientes de ingresos para que el concesionario recupere sus inversiones. De lo contrario, el horizonte puede determinar el monto de pago al concesionario, posiblemente anualizado.

4. Indicadores financieros

Los indicadores financieros permiten comparar las alternativas cuyos horizontes en sus respectivos flujos de fondos no necesariamente coinciden (por ejemplo, un tratamiento de más corto plazo que necesita de una inversión mayor; véanse el apartado anterior y el capítulo V). Dichos indicadores capturan, en una expresión o valor, valores distintos en años distintos mediante la tasa de descuento privada o financiera. Esta tasa representa el costo de postergar o anticipar flujos y permite derivar el valor actual de los flujos de costos y beneficios futuros. Es posible que para definir la tasa “ r ” se consideren alternativamente las siguientes opciones, según el agente encargado del proyecto:

- La tasa de endeudamiento a largo plazo imperante en el mercado financiero local, bajo el supuesto (teórico) de que el agente recurre al financiamiento externo para poner en marcha el proyecto.
- La tasa de rentabilidad relevante exigida por un potencial concesionario, en la medida en que se considere este agente.
- La tasa de oportunidad de los recursos del Estado, siempre que el agente sea una institución estatal. En este caso, las tasas de descuento financiera y social coinciden.

a) Valor futuro y valor presente neto

El valor futuro (VF), también conocido como valor capitalizado, muestra cuál será el valor de un flujo monetizado del presente en un punto determinado del futuro. El valor presente (VP), o valor descontado, es el valor hoy de una cierta cantidad en el futuro (véase el diagrama VI.4).

■ Diagrama VI.4

Equivalencias financieras intertemporales

$$\frac{VF_{\text{MAÑANA}}}{(1 + \text{Tasa de descuento})^{\text{No periodos}}} = VP_{\text{HOY}}$$

$$VF_{\text{HOY}} = \frac{VF_{\text{MAÑANA}}}{(1 + \text{Tasa de descuento})^{\text{No periodos}}}$$

Fuente: N. Sapag, R. Sapag y J. Sapag, *Preparación y evaluación de proyectos*, Ciudad de México, McGraw-Hill, 2014.

Con estas equivalencias, se obtienen los indicadores fundamentales del análisis intertemporal: el valor actual neto (VAN) o valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) (Sapag, Sapag y Sapag, 2014; véase el siguiente apartado).

De acuerdo con estos indicadores, en cada período del horizonte pueden surgir tanto costos como beneficios. Por lo tanto, es importante calcular un flujo resultante que descuenta los respectivos costos de los beneficios.

El valor presente neto captura en una sola cifra la diferencia entre los flujos de costos y los flujos de beneficios. Sobre la base de la tasa r , se logra la agregación de los flujos F_0 hasta F_N para obtener el valor presente neto privado o financiero:

$$VAN = VPN_p = \sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

N: el número de períodos incluidos en el horizonte de análisis.

r: la tasa de descuento relevante.

Los resultados posibles para cada alternativa son:

- $VPN_p > 0$: ganancia neta para el agente.
- $VPN_p < 0$: pérdida neta del agente.
- $VPN_p = 0$: el agente no gana, pero tampoco pierde con la implementación de la alternativa.

Si alguna alternativa necesita más años para alcanzar el objetivo, esto se refleja en el valor final. Cuando la evaluación privada considera ingresos, basta con este indicador para establecer la comparación entre las alternativas.

A partir del valor presente neto también se puede calcular la relación costo-beneficio. Un proyecto es deseable si la relación es mayor a 1. No obstante, el resultado varía según se categoricen los costos recurrentes como costos o beneficios netos (Nas, 2016).

En el caso particular de que no se obtengan beneficios, el valor presente neto se mantiene solo en términos de costos y se denomina valor presente de costos (VPC) o, si se lleva a una cuota uniforme anual en todo el período, valor anual de costos.

b) Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno está asociada al valor presente neto y se suele obtener como indicador complementario, que refleja el nivel de rentabilidad generado por la alternativa de proyecto. En otras palabras, hace referencia al premio en porcentaje respecto del monto invertido. Desde otra perspectiva, permite evaluar la tasa de descuento máxima para lograr flujos netos positivos del proyecto a lo largo del tiempo (con una tasa mayor, el valor presente neto sería negativo). Mishan y Quah (2021) plantean que tal vez sea conveniente tratar los desembolsos efectuados en el futuro como beneficios negativos, al igual que cualquier deterioro en el ambiente físico.

La tasa interna de retorno consigue que el valor presente neto se haga nulo y se igualen egresos e ingresos descontados:

$$0 = \sum_{t=0}^{t=n} F_t / (1 + TIR)^t$$

Al establecer una equivalencia con los criterios de decisión respecto del valor presente neto, los resultados posibles y las decisiones asociadas para la tasa interna de retorno incluyen:

- $TIR_p \geq r$: el premio porcentual (la rentabilidad intrínseca) de la alternativa de proyecto equivale o supera la rentabilidad mínima exigida por el agente privado, representada por la tasa relevante r .
- $TIR_p < r$: el premio porcentual no supera el mínimo exigido por el agente.
- La tasa interna de retorno, a diferencia del valor presente neto, puede arrojar múltiples resultados. En otras palabras, es posible que más de una tasa obtenga el valor presente neto igual a cero (cuando los flujos netos tienen más de un cambio de signo). En esos casos, la tasa interna de retorno no aporta interpretación alguna para la decisión. Teniendo en cuenta que el indicador no refleja el aumento de riqueza, sino únicamente el rendimiento del capital invertido, y según lo señalado anteriormente, este indicador se ha de utilizar siempre como complemento al valor presente neto y no como indicador exclusivo. Además, la tasa interna de retorno no incluye la escala. En consecuencia, no resulta útil para establecer una comparación entre proyectos de gran envergadura con beneficios netos esperados en (miles de) millones de dólares y proyectos más modestos con beneficios netos de miles de dólares (Nas, 2016).

c) Valor presente de costos

Si las alternativas no garantizan la generación de ingresos, el flujo de caja únicamente puede considerar los egresos o costos. En ese caso, los flujos F_i pasan a ser solo C_i , lo que da lugar al valor presente de costos:

$$VPC_p = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Cuando se aplica un criterio financiero, se debe optar por la alternativa de menor valor presente de costos, siempre que las alternativas logren el objetivo de remediación exactamente al mismo nivel. Al igual que el valor presente neto, el valor presente de costos permite comparar alternativas de horizontes distintos.

d) Costo anual equivalente

El costo anual equivalente (CAE) es complementario al valor presente de costos y, al contar solo con información de costos, convierte dicho valor en cuotas anuales iguales. El costo anual equivalente se obtiene a partir del valor presente de costos con la tasa r respectiva:

$$CAE = VPC \times \frac{r \times (1+r)^N}{(1+r)^N - 1}$$

Así se representa una situación ficticia con un flujo de costos constante en todos los años del horizonte, equivalente a una situación real. Independientemente de si la situación presenta una estructura de flujos distinta cada año, queda representada de manera adecuada en el valor presente de costos calculado. El costo anual equivalente se aplica para comparar las alternativas sin importar su horizonte (por ejemplo, para verificar si se ajusta a un presupuesto anual o para obtener una medida anual de costo prorrateado por habitante o por hectárea de terreno).

e) Valor presente neto: ¿es el criterio elegido?

La idoneidad del indicador para resumir el análisis de la relación costo-beneficio depende de las circunstancias. En general, el valor presente neto suele ser el indicador elegido para evaluar y comparar resultados. Sin embargo, el valor presente neto no ofrece una clasificación fiable de proyectos cuando estos no son mutuamente exclusivos (es decir, cuando existe codependencia) ni cuando hay una restricción de presupuestos activa. Este aspecto debe tenerse en cuenta al priorizar diferentes proyectos en diferentes sitios (Nas, 2016; véase el cuadro VI.4).

El valor presente neto puede favorecer alternativas que generen beneficios más abundantes, pero intermitentes, en lugar de flujos de beneficios más estables (Knoke, Gosling y Paul, 2020), lo que supone un perjuicio para algunas formas de reutilización (como minería secundaria, agricultura o turismo). Al tratar los beneficios futuros, tampoco se establece una diferencia entre el consumo y la reinversión (véanse el debate de ajustes metodológicos en Robison, Barry y Myers, 2015 y el valor terminal compuesto normalizado en Mishan y Quah, 2021).

■ Cuadro VI.4

Comparativa de alternativas de proyecto según los criterios de valor presente neto y relación costo-beneficio

Alternativa	Inversión (en el año 0)	Valor presente neto	Relación costo-beneficio
A	1 000	100	1,1
B	500	60	1,12
C	400	80	1,2
D	100	15	1,15

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de T. Nas, *Cost-Benefit Analysis: Theory and Application*, Lanham, Lexington Books, 2016.

D. Evaluación económica

En la evaluación económica se amplía la evaluación financiera, y se consignan en un flujo de caja los costos y beneficios que enfrenta la sociedad en su conjunto por la puesta en marcha de la alternativa de remediación que se analiza. Se toman como punto de partida los egresos y los ingresos de cada alternativa obtenidos a partir de la evaluación privada, pero se los transforma en costos y beneficios sociales. En estos flujos se incluyen los efectos económicos reales (no pecuniarios) y los efectos sociales y ambientales (véase el capítulo V). Todos los impactos positivos y negativos del proyecto se pueden expresar en términos monetarios mediante el uso de los precios sociales (véase el apartado III.A). La tasa social de descuento convierte los flujos futuros en unidades presentes. Se generan indicadores equivalentes a los financieros, pero con significación económica:

- VPNs: valor presente neto social.
- VPCs: valor presente de costos social.
- CAEs: costo anual equivalente social.

Los pagos por insumos para el proyecto se refieren al costo del uso de recursos que la economía destinaría a este proyecto, renunciando a su uso en proyectos alternativos, sin importar a quién pertenezcan en la práctica. No se tienen en cuenta las transacciones internas de la economía, salvo que se empleen los recursos señalados⁵. Además, se consideran otros agentes, como la población que puede verse afectada, ya sea de forma positiva o negativa, si la remediación no se lleva a cabo o si se lleva a cabo en ciertas condiciones (por ejemplo, los pobladores que se ven perjudicados o beneficiados por el transporte de maquinarias y vehículos para desarrollar faenas específicas).

⁵ Los pagos por servicios deben valorizarse en función de los recursos utilizados y deben descartarse las utilidades y los impuestos que son solo transferencias y que no extraen ni aportan recursos a la economía. En cambio, son recursos que se desplazan de un agente a otro (Contreras y Díez, 2015).

1. Costos sociales de la remediación

Los costos sociales de la remediación se relacionan exclusivamente con los costos asociados a la ejecución de las alternativas de remediación. No representan los costos de los pasivos ambientales mineros que se busca eliminar.

a) Corrección de egresos financieros a valor social

Los recursos, fácilmente identificables, utilizados para implementar y operar la alternativa correspondiente, según se señala en el paso previo (véase el apartado "Evaluación privada o financiera" más arriba), se corrigen para representar el valor social a través de los siguientes medios (véase el capítulo V):

i) Aplicación del factor de corrección

Como parte de los precios sociales, en la mayoría de los países de la región se recurre a los factores de corrección para conseguir el precio del recurso de mano de obra que se aplica en el mercado del trabajo. Se extraen impuestos, utilidades y cualquier otro tipo de cargo en los precios que supongan transferencia y no costo económico.

Para trasladar ese precio al valor social, se aplica el coeficiente de los precios de la oferta (que son observables y objeto de transacción) a través de la siguiente transformación:

$$PSMO = fcs * PPMO$$

Donde:

PSMO: precio social de la mano de obra (en unidades monetarias).

PPMO: precio privado de la mano de obra (salario bruto, en unidades monetarias).

fcs: factor de corrección a valor social (parámetro de precio social).

Se suelen emplear factores de corrección a nivel nacional que se actualizan periódicamente y se segmentan según el tipo de mano de obra (calificada, no calificada o semicalificada), teniendo en cuenta las diferencias entre zonas urbanas y rurales (véase el apartado V.B.1). Las distorsiones en el mercado de divisas que afectan los precios de los bienes transables, que se utilizan con frecuencia en proyectos de inversión pública, también se corrigen mediante la aplicación de un factor.

ii) Determinación directa de los precios sociales

En algunos casos, debido a que no se cuenta con un precio privado, los precios sociales se determinan directamente. Se refiere, por ejemplo, al valor social del tiempo o el carbono y al valor estadístico de la vida. Este último se emplea, entre otras cosas, para cuantificar los beneficios de una mejora ambiental sobre la vida humana.

iii) Extracción de cargos de transferencia

Cuando se trata de recursos que carecen de factores de corrección o de precios sociales, el valor social se calcula deduciendo impuestos, aranceles, utilidades y otros componentes asociados a una transferencia, y no al valor observable del recurso en el mercado. La extracción de cargos (que no conlleven un costo económico) no se aplica sobre los precios de recursos para los que se maneja un factor de corrección, puesto que este factor ya refleja la extracción.

b) Incorporación de costos adicionales a los egresos de inversión y operación

Los costos indirectos y secundarios surgen como consecuencia del efecto que puede producirse en las actividades relacionadas con la remediación (como el transporte de suministros o la producción de nutrientes). Estos costos no están estrechamente relacionados con los recursos directos que se utilizan en el proyecto. Es fundamental que los costos sean cuantificados y valorados para consignar los montos respectivos y la frecuencia con la que se presentan.

c) Proyección de costos

Al igual que en la evaluación privada, y en relación con la evolución de los costos sociales en el tiempo, se establecen elementos distintos a la evolución de la moneda incluida para la determinación de los valores. Esta debe ser la misma y debe referirse al mismo período para todos los costos consignados (véase el apartado “Evaluación privada o financiera” más arriba).

Si se determinan costos sociales para la población, es posible que los costos varíen según las tendencias demográficas. Por lo tanto, se incorpora la tasa de crecimiento o decrecimiento de la población en el área de influencia.

2. Beneficios sociales de la remediación

a) Ingresos que representan un aumento de la productividad o del consumo

En el marco de la remediación de pasivos ambientales mineros, las principales fuentes de ingresos económicos incluyen:

- Los ingresos señalados en la evaluación privada que no implican una mera transferencia entre agentes (véase el apartado “Evaluación privada o financiera”). Se cuantifican y valoran los ingresos procedentes de un aumento en la productividad. Estos se manifestarán en la eventual venta de terrenos remediados. Los precios anotados para las ventas en la evaluación privada responden al incremento de la productividad⁶.

⁶ Si terceros adquieren terrenos con fines de explotación, es razonable considerar que el precio respectivo es una cuota mínima del nuevo valor económico de esos terrenos. A este precio el comprador deberá sumar los costos de producción, bajo la premisa de que dicha producción será marginal para que no afecte ni altere sus precios. En consecuencia, una cuota mínima del beneficio social de los terrenos remediados será la diferencia de los precios de terceros antes y después de la remediación.

- En los estudios con enfoque regional se pueden reflejar actividades turísticas o de otra índole que se llevan a cabo en el sitio (por ejemplo, embalses artificiales aptos para el baño o la pesca deportiva). El beneficio social del aumento de bienestar se calcula como el precio del acceso a las actividades multiplicado por la cantidad de accesos. No obstante, estas actividades pueden desplazar un consumo similar en otras áreas de la economía. En estudios que abarcan toda la economía, no se considerarán beneficios, ya que representan transferencias entre agentes a nivel nacional (Boardman y otros, 2018).
- En el caso de que no se disponga de información de precios, se registran los aumentos en la productividad en términos de las cantidades adicionales de productos que se generan como consecuencia de la remediación de los terrenos.

b) Beneficios sociales adicionales

Los beneficios sociales adicionales hacen referencia a la eliminación de las pérdidas provocadas por la inacción. Se evalúan todos los problemas detectados y las áreas afectadas (véase el capítulo IV). Con base en los impactos observados, se estiman los probables daños y costos asociados que podrían evitarse (véase el recuadro VI.1), lo que incluye las externalidades. Se construye la secuencia desde los problemas de los pasivos ambientales mineros hasta los beneficios de las alternativas de remediación. Si la valoración es costosa o compleja, se puede llegar solo hasta la cuantificación.

■ Recuadro VI.1

Ejemplos de costos a evitar derivados de impactos identificados y formas de valorar

Área de impacto	Tipo de impacto	Daños y costos probables (con cuantificación)	Mecanismos de valoración
Población	Enfermedades respiratorias por contaminación del aire y de los suelos	Disminución de días laborales	Estadísticas de licencias médicas y valor del día laboral
		Aumento de gastos personales en salud	Estadísticas de seguros de salud
		Aumento de gasto público en salud	Estadísticas del sistema público de salud
	Riesgo de un desastre	Impacto sobre la seguridad y la salud de las personas	Valor estadístico de la vida
Actividades económicas (empresariales)	Pérdida de producción agrícola	Cultivos que no se pueden producir	Precios y cantidades
		Cultivos con deterioro de calidad	Precios y cantidades
		Cultivos con deterioro de rendimiento	Precios y cantidades

Área de impacto	Tipo de impacto	Daños y costos probables (con cuantificación)	Mecanismos de valoración
Medio ambiente y naturaleza	Disminución de la calidad de aguas superficiales y subterráneas	Disminución de la variedad de flora y fauna Malos olores	Encuestas de valoración: valoración contingente y precios hedónicos
	Deterioro del paisaje debido a botaderos y relaves	Pérdida del valor natural de la zona	
	Protección de la biodiversidad	Pérdida de especies endémicas	
	Emisiones de gases de efecto invernadero	Cambios climáticos globales y locales	Precio social del carbono

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Siguiendo el ejemplo de la estimación de los daños y costos del ausentismo laboral debido a los efectos negativos del pasivo ambiental minero, se calcula la proporción de las licencias médicas en la zona que corresponde a las enfermedades respiratorias atribuibles a la contaminación del aire provocada por el sitio. Luego, se estima en qué medida se reduciría mediante la alternativa de remediación tratada. Por último, el valor anual se obtiene al multiplicar los días resultantes de ausentismo por el salario promedio de las personas en cuestión. En cuanto a la merma de la productividad laboral, que se relaciona con un mayor gasto en salud, se lleva a cabo un proceso similar, con estadísticas de gasto promedio anual y porciones asignadas a las enfermedades producidas por el pasivo ambiental minero.

En el ejemplo de actividades económicas, como la producción agrícola afectada por la reducción del rendimiento de los terrenos, se establece una diferencia entre los efectos sobre la calidad, la cantidad y el tipo de producción. En el primer caso, la aproximación al beneficio social se obtiene multiplicando las brechas de precios entre la primera calidad y la que se produce por efecto del pasivo ambiental minero por las cantidades producidas. Si la cantidad producida se reduce, se multiplica la diferencia entre la cantidad actual y la óptima por el precio del producto. Por último, si el pasivo ambiental minero no permite la explotación de ciertos tipos de cultivos de mayor valor, pero que, de ocurrir la remediación, podrían reemplazar a los cultivos actuales de menor valor, se considerarían tanto cantidades como precios antes y después de la remediación.

La estimación de los impactos al medio ambiente que afectan a las actividades y a la población de manera indirecta (como la disminución de la variedad de flora y fauna en la zona) se obtendría mediante la disposición a pagar (demanda) de la población para resolver este déficit natural y ambiental. No obstante, los métodos basados en encuestas (véase el capítulo V) resultan complejos y costosos, y tal vez no sean adecuados para un estudio a nivel de perfil (propuesto en la presente guía). Una alternativa más simple consiste en referirse a estudios ya realizados.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Las alternativas se distinguen, entre otros aspectos, por su capacidad para reducir los daños probables. A cada una de ellas se asigna la proporción de reducción del daño que produce para aplicar esta misma proporción a los beneficios cuantificados o valorados. La proporción aplicada puede variar con el tiempo, según la capacidad de la alternativa para remediar el sitio de forma paulatina o una vez que se haya alcanzado un cierto nivel de tratamiento o acciones permanentes. En función de lo mencionado anteriormente, se asigna a cada año del horizonte de análisis la porción que corresponda (véase el recuadro VI.2).

■ **Recuadro VI.2**

Progresión de reducción para el beneficio de reducción del costo *i*
(Expresado en valor del impacto totalmente reducido)

Año	Alternativa de remediación 1		Alternativa de remediación 2	
	Porcentaje de reducción	Valor del beneficio	Porcentaje de reducción	Valor del beneficio
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	p_m	$p_m \times$ valor del impacto totalmente reducido	0	0
4	p_m	$p_m \times$ valor del impacto totalmente reducido	0	0
5	p_y	$p_y \times$ valor del impacto totalmente reducido	p_u	$p_u \times$ valor del impacto totalmente reducido
6	p_z	$p_z \times$ valor del impacto totalmente reducido	p_u	$p_u \times$ valor del impacto totalmente reducido
N	p_q	$p_q \times$ valor del impacto totalmente reducido	p_u	$p_u \times$ valor del impacto totalmente reducido

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Nota: $p_m, p_y, p_z, p_q \dots$ solo porcentajes distintos.

Se toma como referencia el costo del impacto, como si este se redujera completamente según se ha calculado; valor expresado como valor del impacto totalmente reducido. Los efectos de la remediación en la primera alternativa empiezan en el tercer año. El valor del beneficio para cada año se obtiene a partir del porcentaje de reducción (p_m) aplicado al valor del impacto totalmente reducido. Los valores del beneficio pueden variar con el tiempo según los porcentajes de reducción que se determinan para cada alternativa. Es imprescindible efectuar este análisis de progresión para cada tipo de impacto y su correspondiente costo evitado convertido en beneficio.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

c) Proyección de los beneficios sociales

La mayor parte de los beneficios sociales del proyecto de remediación se asocian a la población del área de influencia, y la evolución esperada de la población se aplica como índice para valorar dichos beneficios. Los datos relevantes procedentes de las estadísticas censales se obtienen mediante registros municipales (proyectos habitacionales) o información cartográfica. La cartografía digital satelital disponible en internet permite además visualizar áreas de expansión poblacional.

3. Flujo de caja social e indicadores

Con los valores obtenidos, se calcula el flujo de caja respectivo de forma similar a lo indicado para la evaluación privada, pero con los conceptos apropiados (véase el cuadro VI.5):

■ Cuadro VI.5

Modelo simplificado de flujo de caja social

Flujo de caja social para la alternativa de proyecto de remediación A					
Período (año)	0	1	2	3	N
Costos sociales	CS_0	CS_1	CS_2	CS_3	CS_N
Inversión corregida a valor social					
Costo oportunidad del terreno					
Valor social de las obras					
Otros (corregidos)					
Operación y mantenimiento					
Suministro de nutrientes					
Tratamiento del terreno					
Otros (corregidos)					
Beneficios sociales	BS_0	BS_1	BS_2	BS_3	BS_N
Beneficios sociales tipo 1					
Beneficios sociales tipo 2					
Beneficios sociales i					
Flujo de caja (beneficios menos costos)	FS_0	FS_1	FS_2	FS_3	FS_N

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Nota: Como ocurre en la evaluación privada, el horizonte N, es decir, el número de años a considerar para el análisis, tiene en cuenta el plazo para alcanzar el nivel de remediación deseado y la vida útil de los principales elementos de la inversión.

a) Indicadores de rentabilidad social

i) Tasa de descuento

Al igual que en la evaluación privada, la implementación del proyecto genera flujos de valor económico en cada período anual. Por lo tanto, se necesita una tasa de descuento que permita homologar las cifras de los distintos períodos. El Estado asume el rol del agente inversionista. Al representar al conjunto de la sociedad, se utiliza la tasa social de descuento para sus inversiones (véase el capítulo V).

En la mayor parte de los países de la región, la tasa social se calcula como una suma ponderada del valor entre generaciones, que consiste en la tasa de preferencia intertemporal del consumo (mide cuánto se deja de consumir hoy para consumir mañana) y la tasa de rendimiento del capital (del erario fiscal). En el caso de los países que acceden a créditos de organismos internacionales para financiar parte de sus inversiones públicas, se consideran asimismo las respectivas tasas de esos créditos.

ii) Consideraciones de sustentabilidad en la tasa de descuento

El nivel de las tasas de descuento de los flujos determina si los beneficios futuros superan los costos de los primeros años, condición necesaria para obtener un indicador que favorezca la ejecución del proyecto.

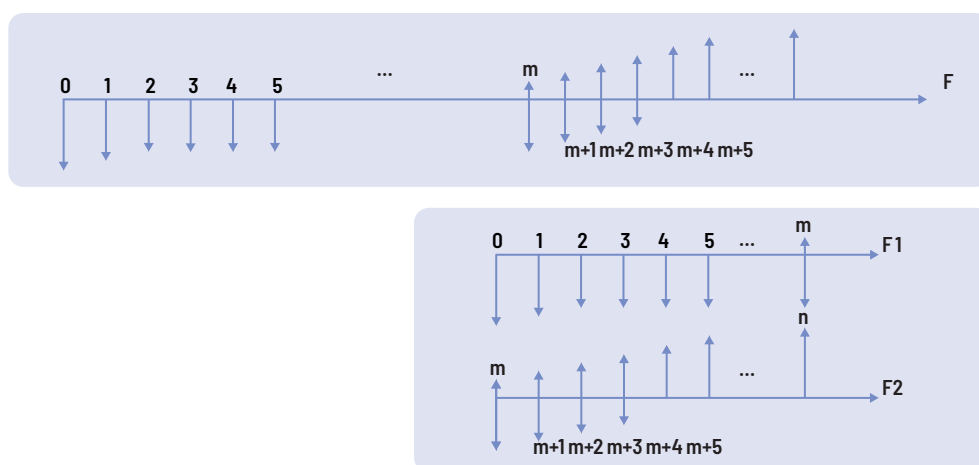
En comparación con los países desarrollados, en la región las tasas sociales de descuento suelen ser elevadas debido al mayor peso de las tasas de interés como consecuencia de la escasez de capital. Por esa razón, se propone considerar la aplicación de alguno de los siguientes ajustes en lo que respecta a la tasa social de descuento que se aplicará en el análisis de la relación costo-beneficio de un proyecto de remediación de pasivos ambientales mineros. Si estas opciones no se ponen en práctica de forma directa, pueden servir asimismo como análisis de sensibilidad para respaldar alguna alternativa.

Partición de períodos de costos y períodos de beneficios

El horizonte de análisis se divide en dos tramos: uno de corto plazo e intensivo en costos y otro de largo plazo y más intensivo en beneficios. En el diagrama VI.5 se muestra que, en los años iniciales hasta un determinado período m , los flujos resultantes de cada año son principalmente negativos, y los beneficios son menores a los costos. A partir del período $m+1$, el flujo resultante pasa a ser positivo. En los gráficos F1 y F2 (en el diagrama VI.5) a continuación se indica la equivalencia de esta situación separada en dos flujos como si ambos partieran desde el período cero. En otras palabras, los flujos del segundo tramo se consideran como si partieran desde hoy en lugar de partir desde el período correspondiente, con lo que se les impone una tasa de descuento menor.

■ Diagrama VI.5

Equivalencia de flujos para un proyecto de capital ambiental



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

De este modo, el flujo se hace equivalente a la suma de los flujos de ambos períodos como si estos fueran paralelos ($F = F_1 + F_2$). El resultado final del indicador respectivo es la suma de los indicadores de ambos flujos a valor presente hoy con la tasa social de descuento única:

$$VPN(F, r) \equiv VPN(F1, r) + VPN(F2, r) = \sum_{t=0}^{t=m} \frac{Ft}{(1+r)^t} + \sum_{i=0}^{i=N-m} \frac{Ft}{(1+r)^i}$$

Donde:

r : tasa social de descuento aplicable a proyectos públicos

m : número del período en que se divide el horizonte

N : horizonte final del proyecto

Ft : flujo neto (beneficios menos costos) correspondiente al período t

Aplicación de la tasa cero

Si se usa una tasa de descuento $r = 0^7$, la generación presente valora el bienestar de todas las generaciones por igual (Torche y otros, 2009). Si $r = 0$, el denominador $(1+r)^t$ siempre será igual a la unidad. El valor presente neto se convierte en la suma simple de los flujos netos de cada período:

$$VPN(F) = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_i + \dots + F_N = \sum_{t=0}^{t=N} Ft$$

b) Alternativa de contar solo con costos valorados (análisis de costo-efectividad)

Si los parámetros del escenario requieren el análisis de costo-efectividad en lugar del análisis de la relación costo-beneficio (véase el apartado III.D), no es necesario aplicar un tratamiento a la tasa de descuento en las alternativas para su comparación. En ese caso, el valor presente de costos social y el costo anual equivalente social se determinan de la siguiente forma:

$$VPCs = \sum_{t=0}^{t=N} \frac{Cst}{(1+rs)^t}$$

$$CAEs = VPCs \times \frac{rs \times (1+rs)^N}{(1+rs)^N - 1}$$

⁷ Este enfoque sigue las directrices establecidas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) al sumar los futuros flujos de proyectos ambientales sin aplicar descuento (Edwards, 2014).

Donde:

VPCs: valor presente de costos social

CAEs: costo anual equivalente social

rs: tasa de descuento social

N: número de períodos del horizonte

Si las alternativas cumplen de manera equivalente (no igual, pero con el mismo resultado final) con la remediación requerida, el valor presente de costos social solo determinará las preferencias, al revelar su intensidad en los recursos requeridos. No obstante, podría considerarse una alternativa que, aunque implique un valor presente de costos social más alto, incluya una composición menor en costos para las personas, sobre todo si estas pertenecen a grupos socioeconómicos vulnerables (véase el apartado "Evaluación social").

En el caso de que las alternativas de remediación no tengan el mismo nivel de cumplimiento de la remediación⁸, se sugiere el uso del costo anual equivalente social, que permite estudiar las diferencias y respaldar la elección de las alternativas. De no valorar los beneficios, se asocia el indicador de costos a las estimaciones de los cambios en dimensiones relevantes (véase el cuadro VI.6).

■ Cuadro VI.6

Ejemplos de indicadores de costo-eficiencia para la aplicación del análisis de costo-efectividad

Tipo de costo evitado con diferencia entre alternativas	Indicador de costo-eficiencia
Enfermedades respiratorias por contaminación de suelos	Costo anual equivalente/núm. de enfermos reducidos
Pérdida de producción agrícola	Costo anual equivalente/núm. de hectáreas recuperadas
Contaminación del agua superficial	Costo anual equivalente/m ³ de caudales recuperados
Elementos nocivos presentes en el ambiente	Costo anual equivalente/núm. de elementos reducidos
Variedades bióticas amenazadas	Costo anual equivalente/núm. de variedades recuperadas

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

E. Evaluación social

El análisis social complementa las evaluaciones anteriores, ya que al evaluar las alternativas de remediación puede optarse por aquellas que favorezcan más a los grupos de menores ingresos y, de esta forma, introducir el elemento distributivo. Para lograrlo, es necesario tener claridad sobre el costo o beneficio social (o porción de ellos) asociado a los distintos agentes económicos que los enfrentan.

⁸ Incluso cuando los beneficios no sean valorados, su identificación y posible cuantificación ponen de manifiesto las diferencias entre las alternativas que se están estudiando (por ejemplo, sus efectos sobre los ecosistemas son distintos).

1. Caracterización de las partes afectadas

En la sección anterior, se mostró y analizó la forma de estimar costos y beneficios sociales y el cálculo de los indicadores derivados de ellos. En esta sección, se profundiza el análisis y se establece la importancia de definir sobre quiénes recaen los costos y beneficios.

La identificación de las partes relacionadas con el proyecto se lleva a cabo en las fases iniciales del mecanismo integrado de análisis (véase el capítulo II). El análisis de las partes afectadas se basa en el criterio de equidad, pues en general los denominados ganadores de la intervención no suelen coincidir con los grupos que asumen sus costos. Además, entre los beneficiados es posible encontrar grupos dispuestos a contribuir con aportes para el financiamiento del proyecto.

Si algunas de las partes afectadas aumentan su productividad gracias a un proyecto de remediación (por ejemplo, mediante la recuperación de suelos), estas podrían convertirse en proveedoras de financiamiento para proyectos de remediación, y parte de la ganancia se traspasaría al financiamiento de los costos de inversión o gastos. Otros grupos pueden identificarse como aquellos que efectivamente absorben los impactos socioambientales de los pasivos mineros⁹. Su caracterización social, así como la intensidad o magnitud de los impactos asociados, podrían implicar una consideración especial a los efectos de la toma de decisiones (consideraciones distributivas).

En esta instancia, se profundiza el análisis llevado a cabo en el marco de la vulnerabilidad social, en el que se desagregan con mayor precisión los grupos de las poblaciones afectadas (por ejemplo, si son mayoritariamente de ingresos bajos, medios o altos). La población afectada se identifica por grupos (véase el cuadro VI.7)¹⁰. El árbol de causas y efectos ayuda a identificar los principales grupos afectados y sus características (véase el capítulo IV). Los grupos se definen también en función de la información disponible en cada país. Por lo general, se cuenta a nivel nacional con criterios e información a partir de los cuales se pueden establecer límites.

■ Cuadro VI.7

Mecanismos de clasificación de las partes afectadas

Grupo general	Fuente para la clasificación específica	Criterios de corte
Estado	Ley de presupuestos o leyes orgánicas que establecen atribuciones y limitaciones	Presupuestos de inversión, ingresos autónomos o responsabilidad legal
Empresas	Ministerio de economía o institución de fomento empresarial	Nivel de ventas anuales, rangos de empleados o rangos de impuestos
Población	Ministerios de desarrollo o planificación o instituciones de estudios sociales	Percentiles según el nivel de ingresos o estratificación comercial

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

⁹ Los efectos ambientales pueden implicar un daño posterior a la población plasmado en el análisis social. Por lo tanto, el análisis ambiental se plantea como parte del análisis técnico de alternativas.

¹⁰ Según el Análisis General de Impacto Económico y Social para instrumentos de calidad del aire del Ministerio del Medio Ambiente de Chile, se utiliza la agrupación de población, sector privado y Estado. Estos grupos, a su vez, pueden subdividirse, lo que está en línea con la diferenciación entre organizaciones del estado y empresas, además de la población.

Los principales grupos pueden desglosarse en pobladores, agricultores y grupos étnicos o etarios, o según las condiciones de vulnerabilidad u otras características significativas. Es posible que surjan más grupos en relación con el análisis de alternativas (entre ellos, proveedores de tecnologías e insumos para la remediación, grupos asociados al reaprovechamiento de los elementos del pasivo ambiental minero, empresas de minería secundaria y beneficiarios adicionales de la remediación).

La decisión de hasta qué punto se puede sacrificar la eficiencia económica para incorporar una mayor equidad es una cuestión tanto política como económica. Habida cuenta de las brechas y rigideces estructurales de inequidad social y territorial en los países de la región (por ejemplo, los mayores costos que enfrenta la población rural con respecto a la urbana; véase CEPAL, 2022c), el hecho de que en la evaluación de las partes afectadas se asignen proporciones de costos y beneficios a los distintos agentes participantes ya ofrece información importante al considerar el resultado de un indicador de valor presente neto global, sin incluir los factores distributivos (véase el recuadro VI.3).

■ Recuadro VI.3

Ejemplo del uso de los ponderadores

Se analizan dos alternativas de proyecto para remediar un pasivo ambiental minero, que reducen los riesgos de manera equivalente. Sin embargo, estos riesgos son difíciles de convertir en costos valorados, por lo que se aplica un análisis de costo-efectividad. Si los costos sociales totales son CsA y CsB , donde $CsA < CsB$, el análisis económico sugeriría optar por la alternativa A. Sin embargo, al incorporar la evaluación de las partes afectadas, se verifica que el costo social calculado para ambas alternativas se compone de un costo social para los pequeños agricultores (Cs_{agric}) y otro para el municipio (Cs_{munic}). Es decir, tanto para A como para B: $Cs = Cs_{agric} + Cs_{munic}$.

En la alternativa A, los agricultores perderían una parte de sus ingresos, puesto que los cultivos que suelen plantar no son compatibles con los elementos adquiridos por el municipio para remediar los efectos del pasivo ambiental minero, o se ven perjudicados por ellos. En cambio, en la alternativa B, no se ven obligados a cambiar los cultivos, pero la adquisición de los elementos conlleva un mayor costo, lo que supone también un mayor desembolso para el municipio. Entonces, para A: $Cs_{agric} > Cs_{munic}$, mientras que para B es válido el inverso.

Antes de aplicar cualquier factor o ponderador, el encargado de tomar decisiones podría adoptar un criterio de equidad frente al de eficiencia. En función de los montos y de las características socioeconómicas, el encargado de tomar decisiones puede inclinarse por la alternativa que no perjudique a los pequeños agricultores. La importancia de evaluar las partes afectadas radica en poner a disposición del encargado de tomar decisiones la información relevante y complementaria al análisis económico.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

En vista de lo anterior, la evaluación de las partes interesadas comienza por una clasificación general. Luego, se propone una clasificación específica para cada una de ellas, y se les asignan los montos de beneficios netos o costos, según el tipo de análisis que se escoja (análisis de la relación costo-beneficio o análisis de costo-efectividad; véanse el cuadro VI.8 y el capítulo II). Cabe señalar que no todas las partes interesadas se consideran partes afectadas en el análisis social.

■ Cuadro VI.8

Asignación de beneficios y costos sociales a las partes interesadas identificadas

Clasificación general	Clasificación específica	Partes interesadas	Beneficio neto social asociado ^a
Estado	Ministerio u organismo dependiente	Ministerio sectorial	Monto de gasto en estudios
	Empresa estatal		
	Municipio	Departamento de recursos naturales y ambiente	Monto de inversión física
Sector privado	Corporaciones y grandes empresas	N Grandes empresas agropecuarias	Porción de beneficios debido a mayor producción
	Pequeñas y medianas empresas		
	Microempresas	N Agricultores individuales	Porción de beneficios debido a mayor producción
Población	Grupo socioeconómico alto	X Pobladores del área de influencia	Porción de beneficios debido a reducción de enfermedades
	Grupo socioeconómico medio		
	Grupo socioeconómico bajo	X Pobladores del área de influencia	Porción de beneficios debido a reducción de enfermedades
	Grupo socioeconómico intermedio ^b	X Pobladores del área de influencia	Porción de beneficios debido a reducción de enfermedades

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Ministerio del Medio Ambiente de Chile (MMA), *Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire*, Santiago, 2013.

^a Los costos se incluyen cuando la evaluación no considera valoración de beneficios.

^b Se pueden agregar más grupos dependiendo de la caracterización propia del país.

Con el objetivo de garantizar un grado de equidad intergeneracional, es aconsejable incluir a las generaciones futuras en los niveles general, específico y de las partes afectadas cuando los costos o beneficios repercutan en ellas (como la reducción de pérdida de biodiversidad). Aunque los beneficios sean de difícil valoración, este aspecto cobra especial relevancia si los efectos sobre las generaciones futuras son propios de solo algunas alternativas de remediación.

2. Métodos de análisis social

Los aspectos de equidad pueden incorporarse en las evaluaciones económicas mediante varias alternativas¹¹. Si se dispone de datos de distribución socioeconómica de la población se puede establecer una distinción entre grupos de agentes y plasmar el beneficio social

¹¹ Las consideraciones de equidad pueden incorporarse en el análisis económico sin la necesidad de agregar un paso formal.

neto que recae en cada uno de ellos¹². Después de la identificación de las partes afectadas, se especifican los criterios de clasificación por nivel socioeconómico, grado de afectación y estimación de la cantidad que conforma cada grupo. Esta información se sistematiza (véase el cuadro VI.9), y se prepara un análisis de equidad o distributivo.

■ Cuadro VI.9

Caracterización de las partes afectadas

Parte afectada	Nivel socioeconómico	Grado de afectación	Estimación de cantidad
Grupo 1 de agricultores de remolacha	Bajo, producción de subsistencia	Alto, debido a la creciente contaminación de aguas superficiales como consecuencia de pasivos ambientales mineros	500 familias
Agricultores industriales	Medio alto		
Pobladores del sector rural			
Otros			

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Algunos proyectos pueden presentar oportunidades de mejora en la equidad y de fomento del entorno empresarial local. Es probable que se dé preferencia a aquellas alternativas de remediación que tengan el potencial de atraer fuentes de financiamiento alternativas, aumenten el uso de mano obra y favorezcan la actividad económica enfocada tanto en microempresas como en pequeñas y medianas empresas.

3. Evaluación de consideraciones de equidad

Hasta este punto, el análisis permite introducir variaciones o confirmar una decisión de alternativa que respalde el resultado de la evaluación económica. Además, para obtener indicadores contrastables con los obtenidos en las dos evaluaciones anteriores, se debe calcular el valor presente neto o el valor presente de costos de los grupos individuales relacionados con las partes interesadas. Es decir, se debe dividir el flujo social previamente construido para cada uno de los agentes de tal forma que:

$$VPN_i = \sum_{t=0}^N \frac{Fit}{(1+r)^t}$$

Donde:

VPN_i: valor presente neto de la parte interesada i

Fit: flujos en cada período t de la parte interesada i

rs: tasa social de descuento utilizada (podría ser la diferenciada por grupos)

¹² Véase el apartado II.E. sobre el análisis de las partes interesadas.

Se deberá cumplir que el valor presente neto global calculado en la evaluación previa sea tal que:

$$VPN^g = \sum_{i=1}^K VPN_i$$

Donde:

VPN^g: valor presente neto global previamente calculado con la tasa correspondiente

VPN_i: valor presente neto de cada parte interesada

K: número de partes interesadas

A partir de lo mencionado anteriormente, se pueden aplicar distintas evaluaciones de las consideraciones de equidad:

a) Simular valores para externalidades que favorezcan la equidad

En este paso, se simulan los valores de las externalidades asociadas a las alternativas de proyectos que favorecen la equidad y que no son cuantificables (es decir, no están incorporados en los indicadores previamente descritos).

Si una alternativa presenta una externalidad positiva que promueve una mayor equidad, se le deben otorgar valores simulados. Un primer mecanismo de análisis para incorporar dicho elemento es el ejercicio de sensibilización que se realiza al comparar escenarios (Gómez, 1998; Ortegón, Pacheco y Roura, 2005; véase el recuadro VI.4).

■ Recuadro VI.4

Ejemplo del uso de los ponderadores (continuación)

Retomando el ejemplo del recuadro VI.3, supongamos que la alternativa más costosa permite potenciar la productividad de los pequeños agricultores al recuperar terrenos e incrementar su rendimiento. Además, existe otro grupo de agricultores industriales que también serán beneficiados.

Los agricultores industriales ya se benefician del rendimiento adicional, por lo que les basta una alternativa de menor costo que les permita recuperar terrenos.

Si la diferencia en valor presente de costos de ambas alternativas equivale a 1 000 unidades monetarias, se registra la alternativa que favorece a los pequeños agricultores con un valor exacto a este como valor de externalidad de equidad para dejar ambas alternativas con un resultado de indiferencia. Ahora las dos tienen el mismo valor presente de costos.

La anterior sería como preguntarse si, para favorecer a un grupo de menores ingresos, se sacrificará una eficiencia equivalente a 1 000 unidades monetarias. El encargado de tomar de decisiones puede comparar este valor con otros montos relevantes (por ejemplo, los montos de asistencia ofrecidos, el mayor nivel productivo de ese grupo en el horizonte de análisis o el costo total de la solución). Nuevamente, el valor del análisis consiste en poner el resultado a disposición de los encargados de tomar decisiones.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

b) Verificar compensaciones

Se verifica en cada valor presente neto de la parte interesada i quiénes son los perdedores (con $VPNi < 0$) y los ganadores ($VPNi > 0$). Luego, se establecen mecanismos efectivos para que los segundos compensen a los primeros (véase el recuadro VI.4). En este punto, se trata de concretar e incorporar en los términos del proyecto la compensación que se plantea de acuerdo con el criterio de Kaldor-Hicks (véase un ejemplo en el recuadro VI.5).

Si bien se recomienda aplicar compensaciones, la dispersión de los agentes económicos afectados por el proyecto y los costos de transacción pueden impedir que los ganadores compensen a los perdedores en el marco de un proyecto (Nyborg, 2012).

■ Recuadro VI.5

Ejemplo de compensación de grupos específicos

Los mecanismos de compensación se aplican en alternativas de proyectos de remediación que resultan económicamente convenientes ($VPNs > 0$). Cada alternativa de proyecto puede generar ganadores (como los agricultores que aumentan su producción) y perdedores (como los pobladores que ven reducido el valor de sus propiedades por la instalación aledaña de plantas de tratamiento). Un mecanismo de compensación efectivo incluiría medidas enfocadas en los perjudicados (por ejemplo, medidas que permitan aumentar los ingresos de los pobladores).

Una aplicación de compensaciones a nivel de organismos multilaterales, como el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo, tiene lugar a través de las salvaguardas socioambientales de los proyectos que financian. Un proyecto sostenible debe considerar la posibilidad de desplazamiento físico o económico de una comunidad debido a sus actividades. Por lo tanto, es necesario crear un espacio participativo de toma de decisiones entre las partes interesadas en el proyecto, que incluya especialmente a la comunidad afectada, a fin de establecer un acuerdo de indemnización del valor de sus propiedades de forma equitativa y adecuada.

Las compensaciones pueden ser de tipo monetario o, si no es posible otorgar un valor monetario a los bienes sacrificados por la comunidad, en especie. Por ejemplo, pueden existir paquetes de compensación que incluyan una nueva vivienda y asistencia para la mudanza en caso de que las tierras utilizadas para la producción agrícola estuvieran habitadas antes del reasentamiento.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Banco Mundial, "EAS 5: adquisición de tierras, restricciones sobre el uso de la tierra y reasentamiento involuntario", *Nota de Orientación para los Prestatarios*, Washington, D.C., 2018; Banco Interamericano de Desarrollo (BID), *Marco de Política Ambiental y Social*, Washington, D.C., 2020.

c) Utilizar ponderadores

Los ponderadores se aplican de manera diferenciada a los agentes que conforman grupos sociales vulnerables. Se emplea un ponderador mayor que la unidad para los valores presentes netos de las partes interesadas i de los grupos que se busque favorecer (como microempresas o pobladores vulnerables; Contreras, 2004), con el propósito de amplificar el peso relativo de esa parte afectada¹³. El nuevo valor presente neto global, agregado por medio de los ponderadores, puede cambiar el orden de selección de las alternativas recomendadas (véase el recuadro VI.6). Los ponderadores se definen antes de llevar a cabo el análisis de la relación costo-beneficio o el análisis de costo-efectividad (véase el capítulo V).

¹³ Independientemente de si $VPNi > 0$ o $VPNi < 0$, el resultado será mayor en términos absolutos.

■ Recuadro VI.6

Utilización de los ponderadores en el cálculo del valor presente neto

Si siguiendo el ejemplo de la alternativa A en el cuadro VI.4, se puede suponer que el proyecto tiene un horizonte de 100 años, que la inversión inicial y única de 1 000 unidades monetarias se efectúa íntegramente en el año 0 y que los encargados de tomar decisiones aplican una tasa social de descuento del 3,8%.

Además, se supone que todos los beneficios del proyecto favorecerán a las poblaciones locales, cuyo tamaño o distribución no cambiarán en el tiempo. Finalmente, se espera que la inversión inicial se pague del presupuesto del gobierno central y que el peso de las poblaciones locales en el presupuesto central sea marginal (equivalente a cero).

Si a partir del primer año los beneficios que aporta el proyecto aumentan en 5 unidades, llegando hasta un potencial de 100 unidades en el año 10, entonces el valor presente neto será de 100, la relación costo-beneficio será de 1,1 y la tasa interna de retorno será del 4% (véase el cuadro).

Flujo neto de costos y beneficios en el horizonte de análisis de la alternativa A (años 0-100)

Año	No ponderado	Grupo de bajos recursos	Grupo de altos recursos	Ponderado
0	-1000	0	0	-1000
1	5	6	4	15
2	10	12	8	30
3	15	18	12	44
4	20	24	16	59
10	50	60	40	148
99	50	60	40	148
100	50	60	40	148

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Ahora bien, si asumimos que tres quintos de los beneficios recaen sobre los grupos locales de menores recursos (por ejemplo, debido a su exposición a la contaminación por estar más cerca al pasivo ambiental minero) y el resto favorece a los grupos locales de mayores recursos, se puede recalcular el valor presente neto utilizando un ponderador predeterminando de 1,8 para los grupos de bajos ingresos. De esta forma, el valor presente neto aumentará de 100 a 628, la relación costo-beneficio será de 1,6 y la tasa interna de retorno será del 6%. El valor presente neto más alto se basa en el bienestar social, que prioriza la equidad. Para poder comparar esta alternativa con las demás, es imprescindible evaluar los efectos de cada una sobre los grupos de interés y aplicar la metodología de forma consistente.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

F. Análisis de sensibilidad

Para encontrar un rango que refleje los flujos futuros de costos y beneficios, se incorporan en las estimaciones el riesgo y la incertidumbre (McSweeney, 2006). El análisis de sensibilidad sirve para cuantificar los impactos de los cambios en los supuestos (véase el capítulo IV). De esta forma, encargados de tomar decisiones pueden apreciar mejor los potenciales efectos de la implementación del proyecto mientras consideran los supuestos de la construcción de los escenarios.

Según Bonner (2022), en cada análisis de la relación costo-beneficio se debe, como mínimo, evaluar la sensibilidad de los resultados a la tasa de descuento social, el horizonte de análisis, los salarios, el valor de la vida estadística (si se emplea en el análisis), los impactos ambientales, las tasas de crecimiento y los beneficios. En el caso de que se conozcan los posibles eventos y sus respectivas probabilidades, se puede llevar a cabo un análisis del valor esperado (véase el recuadro VI.7).

■ Recuadro VI.7

Ejemplos de análisis de sensibilidad

En cuanto al ejemplo hipotético de la alternativa A planteado en el cuadro VI.4, el valor presente neto obtenido se puede someter a un análisis parcial en función del cambio de la tasa de descuento social (asumiendo, por ejemplo, que la tasa aplicada por defecto representa el punto promedio entre las tasas de los consumidores y el rendimiento del capital; véase el cuadro 1).

■ Cuadro 1

Análisis parcial de la sensibilidad a las variaciones en la tasa de descuento social

Tasa de descuento social	Escenario 1: 1.8%	Escenario 2: 3.8%	Escenario 3: 5.8%
Valor presente neto (ponderado)	2 160	628	7
Relación costo-beneficio (ponderada)	3,16	1,63	0,7
Valor presente neto (sin ponderación)	1 135	100	-320
Relación costo-beneficio (sin ponderación)	2,1	1,1	0,7

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

El análisis del valor esperado se puede combinar con el análisis de escenarios (véase en el cuadro 2 un ejemplo en el que se supone que el principal riesgo, junto con los costos, surge de una variación en el tipo de cambio, que se reflejaría en el valor de los bienes importados utilizados en el proyecto de remediación).

■ Cuadro 2

Análisis del valor esperado de acuerdo con los cambios en el tipo de interés

Supuestos		
Cambio en el valor de la moneda	Costo de inversión	Probabilidad del evento ^a
Depreciación	1 200	0,3
Estabilidad	1 000	0,55
Apreciación	800	0,15
Valor esperado		

Escenario 1				
Cambio en el valor de la moneda	Valor presente neto	Relación costo-beneficio	Valor presente neto ^a	Relación costo-beneficio ^a
Depreciación	1 960	2,63	588	0,79
Estabilidad	2 160	3,16	1 188	1,74
Apreciación	2 360	3,95	354	0,59
Valor esperado			2 130	3,12

Escenario 2				
Cambio en el valor de la moneda	Valor presente neto	Relación costo-beneficio	Valor presente neto ^a	Relación costo-beneficio ^a
Depreciación	428	1,36	128	0,41
Estabilidad	628	1,63	345	0,90
Apreciación	828	2,04	124	0,31
Valor esperado			598	1,61

Escenario 3				
Cambio en el valor de la moneda	Valor presente neto	Relación costo-beneficio	Valor presente neto ^a	Relación costo-beneficio ^a
Depreciación	-193	0,84	-58	0,25
Estabilidad	7	1,01	4	0,55
Apreciación	207	1,26	31	0,19
Valor esperado			-23	0,99

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Australian Transport Assessment and Planning (ATAP), *Australian Transport Assessment and Planning Guidelines: T2 Cost Benefit Analysis*, Canberra, 2022.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Australian Transport Assessment and Planning (ATAP), *Australian Transport Assessment and Planning Guidelines: T2 Cost Benefit Analysis*, Canberra, 2022.

^a Ponderado.

G. Interdependencia con otros proyectos

Habida cuenta de la existencia de múltiples proyectos en una zona, se han de comparar, en la medida de lo posible, las evaluaciones de los proyectos cercanos al de remediación. Por lo tanto, se recomienda tener en cuenta los potenciales efectos sobre el resultado del análisis de la relación costo-beneficio de otros proyectos en cartera o en curso. Estos pueden ser públicos, privados, de remediación o de cualquier otra índole.

Los efectos sinérgicos se producen cuando la implementación de otro proyecto conduce a un aumento de los beneficios o a una disminución de los costos. Un aumento de los beneficios puede ocurrir cuando la conversión del pasivo ambiental minero, por ejemplo, cercano a un lago, genera nuevas actividades económicas. En términos de costos, la puesta en marcha de un proyecto de remediación local puede fomentar la capacitación de la fuerza laboral del lugar o incluir la compra de bienes de capital, que pueden reutilizarse en otro proyecto.

Por el contrario, los beneficios del proyecto disminuyen si se ejecutan proyectos con objetivos contradictorios o que acumulan externalidades negativas, que muchas veces no se contabilizan de manera individual. Es posible que esto dé lugar a un aumento de los costos, por ejemplo, si un tipo de infraestructura se vuelve inaccesible o si la implementación simultánea de dos o más proyectos genera una sobreutilización de los recursos productivos. Los efectos positivos y negativos no son mutuamente excluyentes y pueden afectar múltiples proyectos de diferentes formas.

Cuando se trata de proyectos cuyos efectos no se materializan (o no lo hacen en el grado esperado), se sugiere considerar la incertidumbre mediante un análisis de sensibilidad de los efectos de los demás proyectos (véase el apartado anterior). La puesta en marcha del proyecto puede retrasarse o incluso no prosperar, en especial si se trata de proyectos de gran envergadura, novedosos o complejos, en los cuales los beneficios netos no se corresponden con las expectativas. Si bien al contabilizar los efectos en otros proyectos el valor presente neto del proyecto en particular podría ser el mismo, si se identifican costos externos que pueden ser importantes para ajustar los indicadores financieros (véanse el apartado VI.D y el recuadro VI.8).

■ Recuadro VI.8

Efectos sinérgicos entre los proyectos de remediación

Se asume que los encargados de tomar de decisiones eligen los proyectos de remediación y que estos se implementarán según su prioridad. El presupuesto es de 1 000 unidades monetarias. Se han preseleccionado las alternativas A, B, C y D que figuran en el cuadro VI.4 y que representan cuatro proyectos de remediación para cuatro pasivos ambientales mineros similares. Los sitios A y B se ubican en la misma zona, mientras que los demás se encuentran dispersos.

Por otro lado, se dio luz verde a otro proyecto (E), financiado con fuentes externas. Está ubicado cerca de los sitios A y B, y su implementación influiría positivamente en el análisis de la relación costo-beneficio de esos dos proyectos (véase el cuadro). Se busca convertir el sitio E en un lugar de ocio y cultura de renombre mundial, que atraería a turistas nacionales y extranjeros. Los futuros ingresos financieros del proyecto A también dependerían del turismo. La remediación del sitio E aumentaría los flujos futuros de beneficios del proyecto A. Al mismo tiempo, en el marco del proyecto se comprarían bienes de capital que podrían reutilizarse, y se capacitaría a la fuerza laboral local en las nuevas tecnologías de remediación. Esto daría lugar a una reducción de costos de formación y de plazos de ejecución en los proyectos A y B. Los proyectos C y D no se verían afectados por el proyecto E.

Análisis de los efectos sinérgicos de un proyecto

Alternativas	Sin proyecto E (0% de efectividad)			Con proyecto E (100% de efectividad)		
	Inversión	Valor presente neto	Relación costo-beneficio	Inversión	Valor presente neto	Valor presente neto
A	1 000	100	1,1	900	310	1,34
B	500	60	1,12	450	110	1,24
C	400	80	1,2	400	80	1,20
D	100	15	1,15	100	15	1,15
E	1 200	155	1,13	1 200	155	1,13

Alternativas	Con proyecto E (50% de efectividad)			Con proyecto E (25% de efectividad)		
	Inversión	Valor presente neto	Relación costo-beneficio	Inversión	Valor presente neto	Valor presente neto
A	950	215	1,23	980	153	1,16
B	480	90	1,23	490	70	1,14
C	400	80	1,20	400	80	1,20
D	100	15	1,15	100	15	1,15
E	1 200	155	1,13	1 200	1 200	1,13

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de T. Nas, *Cost-Benefit Analysis: Theory and Application*, Lanham, Lexington Books, 2016.

Nota: Para simplificar, se utilizan los valores presentes netos no ponderados, y se supone que los coeficientes de efectividad son uniformes tanto para los costos como para los beneficios. Además, no se considera la posibilidad de establecer un circuito de retroalimentación entre los proyectos A y E, con aumentos adicionales (aunque decrecientes) en el futuro flujo de beneficios.

Al sensibilizar los impactos positivos del proyecto E, se asume que, en el mejor de los casos, los beneficios anuales del proyecto A aumentarán en un 10% y, al mismo tiempo, los costos de inversión de los proyectos A y B disminuirán en un 10%. Si esto ocurre, en lugar de escoger los proyectos B, C y D, el valor presente neto se maximiza al implementar las alternativas A, C y D. Sin embargo, a medida que disminuyen los coeficientes de efectividad, cambia también el orden de preferencia. Con una tasa de efectividad del 25%, el valor presente neto del proyecto A y el valor presente neto combinado de los proyectos B y D es casi idéntico. A partir de la asignación de probabilidades o de una función de densidad de probabilidad, se pueden calcular los valores esperados para los proyectos A y B.

Si la ejecución conjunta de los proyectos A y E aumenta la demanda final más que la ejecución individual del proyecto E, es posible que los flujos de beneficios del E también aumenten gracias a la implementación del proyecto A. Estos efectos se verían reflejados en una evaluación *ex post*. En el caso de que no se haya adoptado una decisión final sobre el proyecto E y el presupuesto permita su implementación en combinación con otros proyectos de remediación, se deberían considerar los efectos combinados de los proyectos (por ejemplo, mediante modelos estadísticos basados en probabilidades condicionales).

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de T. Nas, *Cost-Benefit Analysis: Theory and Application*, Lanham, Lexington Books, 2016.

Capítulo VII

Retroalimentación en el proceso de seguimiento del proyecto

Introducción

En este capítulo se introducen las directrices para dar seguimiento a un proyecto de remediación. Se aclara la diferencia entre monitoreo y evaluación, y se plantea la necesidad de elegir indicadores pertinentes para que tanto el seguimiento como la evaluación del proyecto se lleven a cabo de manera adecuada. Los indicadores oportunos permitirán poner en práctica una remediación sostenible y monitorear apropiadamente el alcance de los objetivos preestablecidos, así como los impactos socioambientales y económicos del proyecto.

Puesto que la remediación de un pasivo ambiental minero no se efectúa de manera inmediata, un proyecto de remediación requiere un monitoreo constante y un seguimiento de las acciones llevadas a cabo con el objetivo de evitar riesgos y posibles impactos socioambientales negativos. En el seguimiento se debe considerar e incluir a todas las partes interesadas, en particular a las comunidades aledañas, durante todo el ciclo de vida del proyecto, a fin de asegurar una participación adecuada en la toma de decisiones. Será necesario mantener las actividades de monitoreo después de la remediación del pasivo ambiental minero.

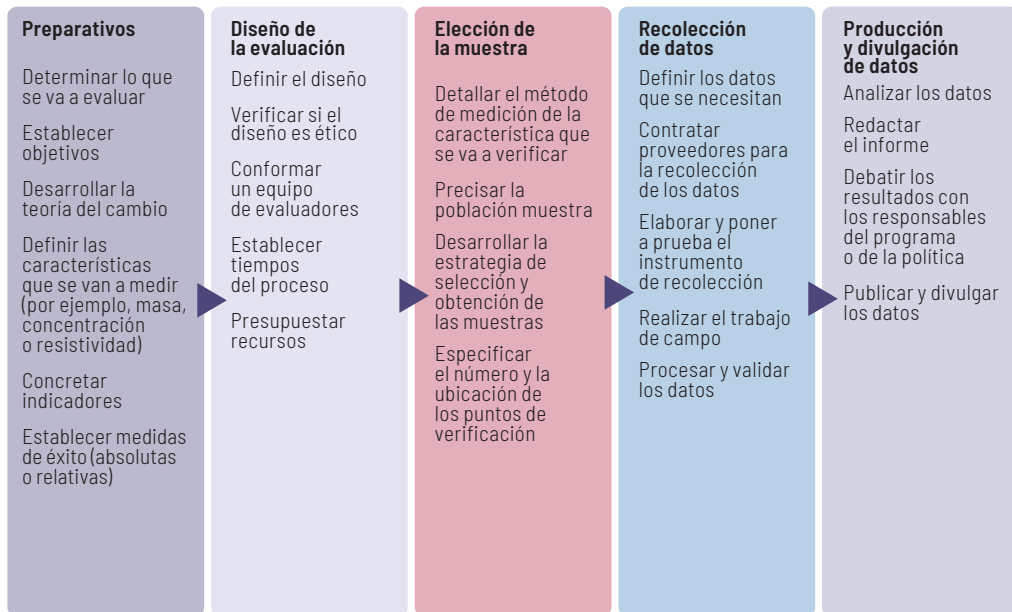
A. Tipos de retroalimentación

Para los encargados de tomar decisiones de la región, y en sintonía con las tendencias mundiales, los resultados obtenidos en un proyecto son cada vez más importantes en relación con los productos entregados. La importancia de los resultados alcanzados radica en su vínculo con la política pública basada en datos y la gestión por resultados. La política pública basada en datos permite hacer el seguimiento de un proyecto para rendir cuentas, informar

a los ciudadanos sobre las asignaciones presupuestarias y orientar la toma de decisiones (CEPEP/SHCP, 2019; véase el diagrama VII.1). Del mismo modo, la gestión por resultados proporciona un conjunto de principios, pautas y herramientas para guiar las acciones públicas en lo que respecta a la planificación estratégica, la gestión de riesgos y el seguimiento del desempeño y la evaluación de un proyecto. Se trata de un modelo participativo que busca mejorar el cumplimiento de los programas y reforzar la toma de decisiones, la eficacia y la eficiencia de la gestión del proyecto, el aprendizaje y la rendición de cuentas (OCDE, 2023).

■ Diagrama VII.1

Etapas para la instrumentación de una evaluación basada en datos



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos/Secretaría de Hacienda y Crédito Público (CEPEP/SHCP), "Diplomado Evaluación de Políticas y Programas Públicos 2023", Ciudad de México, 2019 [en línea] https://mexicox.gob.mx/courses/course-v1:SHCP+EDPY23095X+2023_09/about.

La evaluación de un proyecto consiste en aplicar un análisis sistemático para determinar si existe congruencia entre los objetivos planteados y las acciones llevadas a cabo. Además, permite identificar la eficiencia, la eficacia, la calidad, los resultados y el impacto del proyecto ejecutado o algunos de sus elementos (por ejemplo, los esfuerzos de participación comunitaria; EPA, 2020). Todo esto contribuye a definir la sostenibilidad de las acciones (CEPEP/SHCP, 2019).

Es preciso establecer una diferenciación conceptual entre evaluación y seguimiento o monitoreo. La evaluación se realiza en momentos puntuales y claramente definidos. Puede tener lugar *ex ante*, como herramienta de ayuda para la toma de decisiones, o *ex post*, como método para medir los resultados e impactos del proyecto. Además, es habitual realizar

evaluaciones intermedias para verificar si las actividades se están llevando a cabo según lo esperado o planificado o si es necesario introducir ajustes. Sería conveniente que la evaluación esté a cargo de un agente externo a la ejecución del proyecto a fin de garantizar su objetividad.

En cambio, el seguimiento o monitoreo es un proceso que consiste en generar y analizar información sobre el cumplimiento de las metas de un programa a través de indicadores y sobre la gestión de los recursos asignados a los programas. Se trata de una actividad que se realiza de manera continua durante la etapa de ejecución del proyecto para identificar aspectos que puedan ajustarse, generalmente, a corto plazo. El monitoreo suele llevarlo a cabo el mismo agente que ejecuta el programa (véase el cuadro VII.1).

■ Cuadro VII.1

Diferencias entre seguimiento o monitoreo y evaluación

Aspecto	Seguimiento o monitoreo	Evaluación
Frecuencia	Continua	Periódica, con cortes específicos
Finalidad	Mejora continua de la gestión del programa	Influencia en las principales decisiones del programa
Método	Identificación de áreas de mejora (por lo general, a corto plazo) a través de la generación y el análisis de datos sobre el cumplimiento de las metas	Evaluación de la pertinencia del programa o de la política pública (o de uno de sus elementos)
Utilidad	El seguimiento de los indicadores permite determinar si: <ul style="list-style-type: none"> - Se están aplicando los recursos según lo previsto - Se están realizando las actividades programadas - Se están resolviendo los problemas que se esperaba resolver - Se están llevando a cabo las actividades de forma sustentable 	La evaluación de los indicadores ayuda a determinar si: <ul style="list-style-type: none"> - El programa o proyecto produce los impactos esperados en la población beneficiada - El programa o proyecto se ha ejecutado de forma sustentable y contribuye a otros objetivos, como la mitigación del cambio climático, o si los recursos se aplican de forma eficiente - El programa o proyecto está cumpliendo con los objetivos para los que fue diseñado
Agentes	Ejecutores del programa	Externos por circunstancias ajenas a la operación del programa
Instrumentos	Indicadores, matrices, sistemas de información, entre otros	Metodologías, términos de referencia, cuestionarios, encuestas, entrevistas, software estadístico, entre otros
Profundidad de la información	Énfasis en la implementación, responde a la pregunta: ¿qué?	Personalizada; frecuentemente centrada en el desempeño o el impacto y en las preguntas: ¿por qué? o ¿cómo?
Costo	Generalmente, el costo es bajo, pues los ejecutores cuentan con información producto de su quehacer cotidiano	Según el trabajo en cuestión, puede ser alto

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos/Secretaría de Hacienda y Crédito Público (CEPEP/SHCP), "Diplomado Evaluación de Políticas y Programas Públicos 2023", Ciudad de México, 2019 [en línea] https://mexicox.gob.mx/courses/course-v1:SHCP+EDPY23095X+2023_09/about.

Uno de los principales instrumentos relacionados con el análisis y el seguimiento del proyecto, tanto durante su ciclo de vida como una vez implementada la remediación, son los indicadores de desempeño. Un indicador es una característica específica, observable y medible que puede utilizarse para mostrar los cambios y progresos de un parámetro, una característica o un programa hacia el logro de un resultado específico.

En la etapa de seguimiento o monitoreo, los indicadores se utilizan a lo largo del ciclo de vida del proyecto, mientras que en la etapa de evaluación, su uso permitirá fundamentalmente estimar los resultados y el impacto del proyecto (véase el recuadro VII.1).

■ Recuadro VII.1

Utilidad de los indicadores en el seguimiento y la evaluación

El seguimiento de los indicadores permitirá determinar si:

- Se están aplicando los recursos según lo previsto.
- Se están realizando las actividades programadas.
- Se están resolviendo los problemas que se esperaba resolver.
- Se están llevando a cabo las actividades de forma sustentable.

La evaluación de los indicadores ayudará a determinar si el programa o proyecto:

- Produce los impactos esperados en la población beneficiada.
- Se ha ejecutado de forma sustentable y contribuye a otros objetivos, como la mitigación del cambio climático o la aplicación eficiente de los recursos.
- Está cumpliendo con los objetivos para los que fue diseñado.

Finalmente, los indicadores pueden mostrar los aspectos susceptibles de mejora, ya sea durante la ejecución o después de esta.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos/Secretaría de Hacienda y Crédito Público (CEPEP/SHCP), "Diplomado Evaluación de Políticas y Programas Públicos 2023", Ciudad de México, 2019 [en línea] https://mexicox.gob.mx/courses/course-v1:SHCP+EDPY23095X+2023_09/about.

La selección de indicadores de desempeño oportunos y relevantes es clave para i) facilitar la toma de decisiones e introducir ajustes durante el proceso de seguimiento en la ejecución del proyecto, y ii) determinar la congruencia entre los resultados y los objetivos o el impacto socioambiental del proyecto después de su implementación a través de una evaluación *ex post*.

B. Selección de indicadores relevantes

La eficacia operativa y la eficiencia de una medida de remediación pueden medirse de diferentes formas, y se necesita un sistema de verificación o de monitoreo para conocer el estado del sistema evaluado. El monitoreo debe diseñarse con cuidado, para lo cual es preciso considerar las características que se van a medir (por ejemplo, masa, concentración

o medidas indirectas, como la resistividad por métodos geofísicos), el número de puntos de verificación, su ubicación, la obtención de las muestras y el método de medición de la característica que se va a verificar.

De acuerdo con el Gobierno de Australia (2016), para que un plan de seguimiento sea robusto ha de cumplir los siguientes pasos (Green, 1979; Legg y Nagy, 2006; Lindenmayer y Likens, 2010):

- Definir objetivos claros e inequívocos de seguimiento y remediación¹.
- Identificar sitios de referencia adecuados para hacer comparaciones con las áreas remediadas.
- Seleccionar indicadores de muestreo y métodos apropiados.
- Establecer una cobertura espacial y temporal adecuada para lograr los objetivos.
- Utilizar suficiente replicación para posibilitar el análisis estadístico de los resultados.
- Evitar o minimizar el sesgo (margen de error) al seleccionar los lugares de monitoreo.
- Poner en marcha pruebas piloto para evaluar la efectividad del diseño de muestreo según las condiciones del sitio.
- Impartir capacitación y aportar pruebas para garantizar que los métodos sean repetibles y comparables a largo plazo y entre diferentes observadores.
- Mantener el control de calidad para que se puedan llevar a cabo inferencias y análisis estadísticos con los datos.

Con respecto a los métodos de medición, es fundamental determinar la forma en que el seguimiento facilitará información sobre el progreso de las acciones de remediación, las técnicas costo-efectivas adecuadas según las condiciones del sitio y si existen deficiencias en las técnicas de monitoreo. La ausencia de un análisis cuantitativo que aporte evidencia convincente dificulta la toma de decisiones (Gobierno de Australia, 2016).

En el caso de la evaluación de la remediación sostenible de sitios contaminados, los indicadores de desempeño deben ser (Coffey, 2018; Gobierno de Australia, 2016):

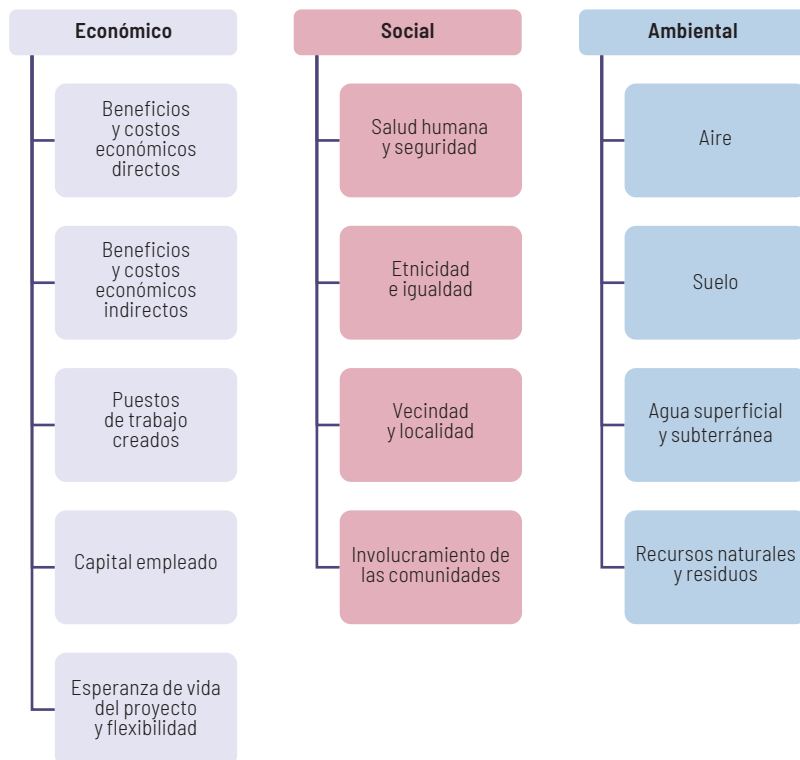
- Específicos del sitio y relevantes para la estrategia de remediación evaluada (por ejemplo, deben explorar factores abióticos y bióticos).
- Equilibrados en las tres dimensiones (es decir, se emplea el mismo número de indicadores en materia económica, social y ambiental).
- Acordados con las partes interesadas desde el principio.

Dado que los indicadores suponen un compromiso de los recursos públicos, forman parte integral del programa nacional de remediación de pasivos ambientales mineros. Solo una buena selección de indicadores de desempeño garantiza que su eficacia y su efectividad se midan de forma clara y transparente (véase el diagrama VII.2).

¹ El documento elaborado por el Gobierno de Australia (2016) hace referencia a la rehabilitación, que está incluida en el concepto de remediación sostenible explicado a lo largo de esta guía (véanse los capítulos I y II).

■ Diagrama VII.2

Dimensiones de elementos a evaluar con algunos ejemplos dentro de los indicadores de remediación sostenible



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Coffey, "Incorporating sustainability into contaminated land management", 2018 [en línea] <https://www.eianz.org/document/item/4720>.

Al seleccionar los indicadores para el seguimiento de un proyecto, es recomendable considerar el tipo de proyecto, su ubicación y los objetivos preestablecidos. Una vez definidos esos factores, se deben aplicar criterios específicos que cumplan las tres dimensiones del desarrollo sostenible y que incluyan a las partes interesadas (véase el cuadro VII.2). Esto se puede matizar con más criterios en casos particulares y complementar durante el proceso de seguimiento (Gobierno de Australia, 2016; CEPEP/SHCP, 2019).

Los indicadores de monitoreo deben seleccionarse cuidadosamente, y es necesario contar con recursos suficientes para garantizar un seguimiento y una evaluación útiles y a largo plazo. En un proyecto de remediación suelen monitorearse, entre otras cosas, el contenido y la calidad del agua, la estabilidad y la erosión del suelo, la calidad del aire y las emisiones de gases, así como las modificaciones en la flora y la fauna. Algunas de las

técnicas empleadas para recopilar información sobre estos elementos incluyen campañas de muestreo, densidades y estimaciones de cobertura vegetal e inventarios y recuento de especies (Gobierno de Australia, 2016).

■ Cuadro VII.2

Ejemplo de matriz de selección de indicadores

Crterios	Indicadores que se van a aplicar
C1: ¿Existen una o varias comunidades que resultan beneficiadas con el proyecto de remediación?	En caso de que se responda afirmativamente al criterio C1, entonces se pueden utilizar los indicadores respecto de la remediación y los indicadores respecto a los aspectos sociales.
C2: ¿Será posible un proyecto de reutilización o reúso del sitio una vez remediado, en el que se pueda incluir a la comunidad?	En caso de que se responda afirmativamente a los criterios C1 y C2, se podrán utilizar además los indicadores sociales de sustentabilidad.
C3: ¿Será posible llevar a cabo una remediación y una reutilización del sitio bajo criterios de sustentabilidad?	En caso de que se responda afirmativamente a los tres criterios, se podrán utilizar los cuatro tipos de indicadores: indicadores respecto de la remediación, indicadores respecto a los aspectos sociales, indicadores sociales de sustentabilidad e indicadores de contaminación.
C4: ¿Es el responsable de la remediación un ente privado o público (gobierno)?	<p>Cuando el responsable de la remediación es un ente privado, no se aplicarán los indicadores generales relacionados con el gasto. Cuando el responsable de la remediación es el gobierno, se aplicarán los indicadores de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gasto - Contrataciones - Estudios realizados - Estudios de factibilidad - Indicadores para ecosistemas

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos/Secretaría de Hacienda y Crédito Público (CEPEP/SHCP), "Diplomado Evaluación de Políticas y Programas Públicos 2023", Ciudad de México, 2019 [en línea] https://mexicox.gob.mx/courses/course-v1:SHCP+EDPY23095X+2023_09/about.

1. Indicadores de sostenibilidad

La evaluación de la sostenibilidad y el modelo conceptual del sitio (véase el capítulo IV) permiten a los profesionales de la remediación identificar las actividades en un sitio que se asocian con impactos de sostenibilidad pertinentes. La remediación será exitosa si se logran sus objetivos y se cumplen los criterios ambientales.

Song y otros (2017) recomiendan verificar que las concentraciones se sitúen por debajo de un límite máximo permisible, procurar que el suelo mantenga lo más posible los servicios ecosistémicos y asegurar que el riesgo para los receptores ecológicos y humanos sea aceptable. Por lo tanto, se tienen en cuenta el contenido de contaminantes, las características del suelo y la evaluación del riesgo ecológico y del riesgo para la salud humana (véase el cuadro VII.3).

■ Cuadro VII.3

Indicadores relevantes para la gestión y la remediación sustentable de pasivos ambientales mineros

Aspecto al que se debe dar seguimiento	Indicador	Denominación y descripción
Remediación de pasivos ambientales mineros	Indicador respecto de la remediación 1	Número de minas abandonadas, escombreras y relaveras generadas en el sistema minero, registradas para un período y una unidad de análisis determinados.
	Indicador respecto de la remediación 2	Número de reclamos por fuente de contaminación minera (minas abandonadas, escombreras y relaveras) ocurridos en el área investigada, registrados para un período y una unidad de análisis determinados.
	Indicador respecto de la remediación 3	Número de convenios por actividad minera.
	Indicador respecto de la remediación 4	Número de minas abandonadas, escombreras y relaves remediados y avalados por la autoridad ambiental nacional.
Problemas sociales derivados de la contaminación	Indicador respecto a los aspectos sociales 1	Número de medidas de satisfacción implementadas por minas abandonadas, escombreras y relaveras. Se refiere al número de disculpas o reconocimientos públicos del hecho dañoso efectuados por el causante de la afectación, más las sanciones impuestas por los organismos estatales (locales o nacionales) o internacionales debido a la presencia de minas abandonadas, escombreras y relaveras en el sistema minero.
	Indicador respecto a los aspectos sociales 2	Porcentaje de problemas sociales detectados en la comunidad atendidos en el período i, que se relacionan con la contaminación del pasivo ambiental minero.
	Indicador social de sustentabilidad 3	Número de servicios que el predio ofrece a la comunidad una vez que se ha llevado a cabo la remediación o se ha puesto en marcha un proyecto de reutilización.
	Indicador social de sustentabilidad 1	Participación comunitaria en la gestión del sitio después de la remediación, que se refleja en el número de actividades desarrolladas por la comunidad en el sitio. Esto depende de si existe un proyecto de reúso y de sus características.
Sustentabilidad de la remediación y del uso futuro del sitio	Indicador de contaminación 1	Cantidad de combustibles fósiles consumidos durante la remediación por cada medida específica de las alternativas de remediación.
	Indicador de contaminación 2	Cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero en toneladas de dióxido de carbono equivalente emitidas por cada alternativa de remediación considerada.
	Indicador de contaminación 3	Cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero debido al uso futuro del sitio por cada tipo de fuente (por ejemplo, los servicios que se prestan en el sitio o el mantenimiento de instalaciones o construcciones). La revegetación del predio puede reducir las emisiones.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de G. Gálvez, "Generación de indicadores de pasivos ambientales y sociales para el SIPAS del Programa de Reparación Ambiental y Social del Ministerio del Ambiente del Ecuador aplicado a las actividades hidrocarbúferas y mineras a nivel nacional", Quito, Universidad Central del Ecuador (UCE), 2015.

Una vez seleccionados los indicadores que se van a evaluar, se definen sus particularidades, que incluyen, entre otras cosas, las métricas (véase el cuadro VII.4). Estas hacen referencia a los valores medibles que se correlacionan con un parámetro objeto de evaluación, como las emisiones de dióxido de carbono (en toneladas de CO₂), la contaminación del agua subterránea (en mg/L de contaminante), el uso de energía (en kWh), los trabajadores locales capacitados (en número de trabajadores por unidad de tiempo) o los proveedores locales utilizados. En un proyecto, las métricas se seleccionan según las consideraciones de sostenibilidad aplicadas.

■ Cuadro VII.4

Indicadores de pasivos ambientales para actividades mineras

Indicadores pertenecientes al Sistema de Indicadores de Pasivos Ambientales y Sociales del Ecuador	
Nombre del indicador	Número de minas abandonadas, escombreras y relaveras.
Definición	Se trata del número de minas abandonadas, escombreras y relaveras generadas en el sistema minero, registradas para un período y una unidad de análisis determinados.
Fórmula de cálculo:	$\text{Número de minas abandonadas, escombreras y relaveras} = \sum \text{minas abandonadas}_i + \text{escombreras}_i + \text{relaveras}_i$
Nombre del indicador:	Número de reclamos por fuente de contaminación minera.
Definición:	Se refiere al número de reclamos por fuente de contaminación (minas abandonadas, escombreras y relaveras) ocurridos en el área investigada, registrados para un período y una unidad de análisis determinados.
Fórmula de cálculo:	$\text{Número de reclamos} = \sum \text{queja/reclamo}_i + \text{denuncia pública}_i + \text{proceso judicial nacional}_i + \text{proceso judicial internacional}_i$
Nombre del indicador:	Número de medidas de satisfacción implementadas por minas abandonadas, escombreras y relaveras.
Definición:	Hace referencia al número de disculpas o reconocimientos públicos del hecho dañoso efectuados por el causante de la afectación, más las sanciones impuestas por los organismos estatales (locales o nacionales) o internacionales debido a la presencia de minas abandonadas, escombreras y relaveras en el sistema minero.
Fórmula de cálculo:	$\text{Número de medidas de satisfacción} = \sum \text{número de disculpas y reconocimientos públicos de la afectación por contaminación}_i + \text{número de sanciones por contaminación}_i$
Indicador:	Número de convenios por actividad minera.
Definición:	Los convenios son los instrumentos legales mediante los cuales las distintas partes implicadas en la resolución de un problema plantean sus obligaciones y los beneficios esperados.
Fórmula de cálculo:	$\text{Número de convenios} = \sum \text{realización de proyectos mineros}_i + \text{contingencia/accidentes}_i + \text{renegociación}_i + \text{otros}_i$
Nombre del indicador:	Número de minas abandonadas, escombreras y relaves remediados y avalados por la autoridad ambiental nacional.
Definición:	Se trata del número de minas abandonadas, escombreras y relaves remediados y avalados por la autoridad ambiental nacional.
Fórmula de cálculo:	$\text{Número de derrames, piscinas y fosas remediadas avaladas} = \sum \text{minas abandonadas rehabilitadas}_i + \text{escombreras remediadas}_i + \text{relaveras remediadas}_i$

Indicadores de pasivos ambientales para las actividades mineras propuestos para estimar la sustentabilidad del proyecto de remediación	
Nombre del indicador:	Consumo de combustibles fósiles durante la remediación.
Definición:	Se refiere a la cantidad de combustibles fósiles consumidos en la ejecución de cada medida específica de las alternativas de remediación.
Fórmula de cálculo:	Combustible: suma en kilogramos del combustible <i>i</i> en el vehículo <i>j</i> durante el período de remediación.
Nombre del indicador:	Emisiones de gases de efecto invernadero.
Definición:	Hace referencia a la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero en toneladas de dióxido de carbono equivalente emitidas por cada alternativa de remediación considerada.
Fórmula de cálculo:	Suma de emisiones por el uso del combustible <i>i</i> en el vehículo <i>j</i> durante el período de remediación + el uso de energía eléctrica + el consumo de energía por kilogramo de material utilizado durante la construcción de obras civiles.
Nombre del indicador:	Emisiones de gases de efecto invernadero debido al uso futuro del sitio.
Definición:	Se trata de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que se generarán a partir del uso futuro del sitio como consecuencia de los servicios que se presten en el sitio, el mantenimiento de instalaciones y construcciones, los sumideros de emisiones debido a sistemas de energías renovables variables o la revegetación, entre otros.
Fórmula de cálculo:	Suma de emisiones = consumo de combustibles + consumo de energía + sumideros de emisiones.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de G. Gálvez, "Generación de indicadores de pasivos ambientales y sociales para el SIPAS del Programa de Reparación Ambiental y Social del Ministerio del Ambiente del Ecuador aplicado a las actividades hidrocarburíferas y mineras a nivel nacional", Quito, Universidad Central del Ecuador (UCE), 2015.

Por otro lado, los indicadores presupuestarios corresponden a las variables financieras (véase el capítulo VI). Su objetivo principal es verificar que los recursos financieros se hayan utilizado o comprometido de forma razonable, efectiva y eficiente (véase el cuadro VII.5).

■ Cuadro VII.5

Ejemplos de indicadores presupuestarios de la gestión y la remediación sustentable de un pasivo ambiental minero

Tipo de indicador	Denominación y descripción
Preinversión	Elaboración de fichas técnicas y de análisis de la relación costo-beneficio que justifiquen la necesidad de resolver un problema de contaminación
	Estudios de factibilidad de infraestructura autorizados para pasar a la etapa de ejecución
	Contratación de estudios de factibilidad de infraestructura
	Número de estudios de factibilidad de infraestructura realizados en el año
	Recursos aprobados
Inversión	Recursos modificados
	Recursos pagados

Tipo de indicador	Denominación y descripción
Seguimiento	Porcentaje de comités de comunidades que permanecen operativos dos años después de haber recibido el apoyo de inversión
	Porcentaje de personas con empleo efectivo en las comunidades
Transversal	Porcentaje de hectáreas prioritarias sometidas a acciones de restauración sistémica
	Porcentaje de especies prioritarias para las que se han emprendido acciones enfocadas en su recuperación

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Secretaría de Hacienda y Crédito Público de México (SHCP), "Sistema de evaluación del desempeño" [en línea] <https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/Sistema-Evaluacion-Desempeno>.

Asimismo, es posible sintetizar la información de los indicadores mediante el empleo de índices. Entre los distintos métodos que existen para generarlos se incluyen el análisis multicriterio (véase el capítulo III), la medida directa de los componentes de los indicadores con pesos (ponderaciones) implícitos en el modelo o el análisis de componentes principales. De este modo, se alcanza el objetivo de reunir en un solo índice global todas las dimensiones de la deuda ambiental.

C. Uso de indicadores en la etapa de seguimiento o monitoreo

El seguimiento (o monitoreo) se lleva a cabo mediante indicadores de desempeño y se enfoca en el uso de los recursos asignados. La selección de los criterios e indicadores, así como del tipo de seguimiento que se va a implementar, dependerá del responsable de la remediación. Por lo general, está a cargo del mismo ejecutor del proyecto, y debería considerarse en la fase de planificación para garantizar la aplicación de soluciones oportunas y costo-efectivas durante todo el ciclo de vida de la actividad (Gobierno de Australia, 2016).

Si el responsable del monitoreo es un ente privado, el seguimiento se acuerda dentro de la autorización del plan de remediación. En caso de que no existan obligaciones legales para el seguimiento con indicadores, la autoridad no podrá solicitar a un particular que genere la información para los indicadores ni podrá pedir que se le facilite dicha información. Por lo tanto, para avanzar en esta materia, es preciso tener en cuenta los marcos legales.

La existencia de un fundamento jurídico impulsaría la puesta en marcha de un sistema de monitoreo, informe y verificación, que tiene por objeto proporcionar claridad y previsibilidad y que actualmente solo es válido cuando el responsable de la remediación es un ente público gubernamental. El hecho de disponer de un fundamento legal para exigir a los responsables la preparación de informes de seguimiento permitiría aplicarlo tanto en entes públicos como

privados. Como alternativa, y de forma más inmediata, se pueden aplicar las competencias de la autoridad fiscalizadora y señalar en la autorización del plan o programa de remediación que dicha autoridad acuerde con el responsable las modalidades para dar seguimiento (fiscalización) a los aspectos derivados del proceso de remediación².

El sistema de monitoreo, informe y verificación debe ser compatible con las matrices de indicadores por resultados que se aplican en los informes de avance de los programas presupuestarios gubernamentales. El sistema de monitoreo, informe y verificación para la remediación de pasivos ambientales mineros a cargo del gobierno se crea mediante la asignación de funciones, tareas y obligaciones a cada parte implicada, así como mediante la definición de reglas de coordinación y presentación de información (véase el diagrama VII.3).

■ Diagrama VII.3

Etapas de trabajo en la implementación de un sistema de seguimiento de indicadores



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Secretaría sobre el Cambio Climático, *Manual sobre medición, notificación y verificación para las partes que son países en desarrollo*, Bonn, 2014.

Del mismo modo, se debería establecer un marco de disposiciones jurídicas destinado a la generación y presentación de información oportuna, y al manejo de datos. Ante la ausencia de disposiciones, se debería suscribir un convenio de coordinación entre los distintos actores implicados, entre los que se incluyen las autoridades ambientales, financieras, locales y de fiscalización, así como quienes se encargan de llevar a cabo los estudios y las comunidades beneficiadas por el proyecto.

² Se destaca la Red Latinoamericana de Fiscalización y Cumplimiento Ambiental (REDLAFICA), cuya misión es mejorar la fiscalización y el cumplimiento ambiental en toda la región. La red está integrada por la Argentina, el Brasil, Bolivia (Estado Plurinacional de), Colombia, Costa Rica, Chile, el Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Panamá, el Paraguay, el Perú y la República Dominicana.

Para monitorear el desempeño de los indicadores durante un proyecto se utilizan las fichas de indicadores de desempeño. Normalmente, existen tres estrategias de seguimiento de los indicadores de desempeño (Gobierno de Australia, 2016):

- i) Comparación directa: se mide respecto a los datos de referencia del sitio.
- ii) Análisis de atributos: se comparan estadísticas e información de los indicadores equiparables con los objetivos de remediación y criterios de cierre.
- iii) Análisis de trayectoria: se examinan las tendencias en la estructura y la función de los ecosistemas en estudio.

Entre las técnicas que se pueden emplear para hacer el seguimiento de los indicadores de desempeño se destacan: i) el análisis de la función del paisaje (*landscape function analysis*), que determina el estado funcional del área remediada; ii) los sensores remotos, como fotografías aéreas, satélites y escaneos láser aéreos y terrestres (véase Gholizadeh and others, 2018), y iii) el seguimiento del inventario de la fauna y la flora (Gobierno de Australia, 2016).

Una vez que se cuenta con un programa de monitoreo y se ha concluido la remediación, es posible establecer medidas absolutas o relativas de su éxito, que pueden incluir consideraciones estadísticas. Este aspecto se profundizará en la próxima sección.

D. Uso de indicadores en la etapa de evaluación

Al completar las actividades de remediación, se evalúa el desempeño del proyecto y se estima el cumplimiento de sus objetivos utilizando indicadores estructurados en una matriz de indicadores por resultados (véase el cuadro VII.6). La evaluación puede incluir criterios semicuantitativos que asocien un valor al grado de avance del indicador (por ejemplo, cumplimiento bajo, medio o alto o no satisfactorio, satisfactorio, bueno o excelente).

■ Cuadro VII.6

Ejemplo de matriz de evaluación de indicadores

Etapa de evaluación	Indicador	Meta del indicador para el periodo <i>i</i>	Evaluación
Consistencia y resultados	Indicador respecto de la remediación 1 Número de minas abandonadas, escombreras y relaveras	50	Se han registrado 30 pasivos ambientales mineros $30/50 = 0,6$ Cumplimiento medio
	Indicador respecto de la remediación 4 Número de minas abandonadas, escombreras y relaves remediados y avalados por la autoridad ambiental nacional	3	Se ha remediado 1 pasivo ambiental minero $1/3 = 0,33$ Cumplimiento bajo

Etapa de evaluación	Indicador	Meta del indicador para el período <i>i</i>	Evaluación
	Indicador respecto a los aspectos sociales 2 Porcentaje de problemas sociales detectados en la comunidad atendidos en el período <i>i</i>	10	Se han resuelto 7 de los problemas detectados en el pasivo ambiental minero remediado $7/10 = 0,7$ Cumplimiento alto
	Indicador de contaminación 1 Consumo de combustibles fósiles durante la remediación	Reducción del 30% en el consumo con respecto al consumo de vehículos en mal estado o con más de 10 años de uso	Se ha reducido en un 25% $0.25/0.30 = 0,83$ Cumplimiento alto

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de L. Alvarado y E. Morín, "Guía para la preparación de proyectos por fases (PPF), 2018", Ciudad de México, Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), 2018; Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos/Secretaría de Hacienda y Crédito Público (CEPEP/SHCP), "Diplomado Evaluación de Políticas y Programas Públicos 2023", Ciudad de México, 2019 [en línea] https://mexicox.gob.mx/courses/course-v1:SHCP+EDPY23095X+2023_09/about.

Existen medidas absolutas y relativas para evaluar el éxito de las operaciones de remediación. Algunos ejemplos de medidas absolutas incluyen verificar si ha disminuido la concentración de un contaminante en el suelo hasta un valor límite máximo permisible o si se ha extraído un volumen predeterminado de un producto en un acuífero. Es fundamental evaluar si la remediación, además de mejorar las condiciones del ambiente (a través de la remoción de la masa del contaminante), protege realmente la salud humana o el entorno ecológico. En este contexto, es preciso considerar la aplicación del enfoque de riesgos (adaptado de EPA, 1992b). Las medidas absolutas presentan más dificultades en cuanto al cumplimiento para los responsables de la remediación, ya que los límites máximos permisibles suelen ser valores genéricos fijos, que pueden ser difíciles de alcanzar con la tecnología disponible.

Por otro lado, las medidas relativas incluyen una especificación de la eficiencia de la tecnología de remoción (por ejemplo, una reducción del 80% del contaminante). Este tipo de medición puede traducirse en una reducción del riesgo para la salud humana y el ambiente.

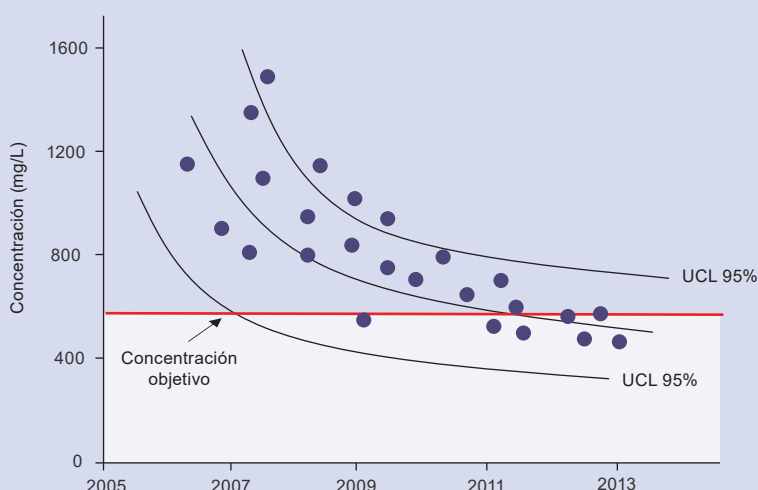
Independientemente de la medida que se aplique, para determinar si en la remediación se alcanzaron realmente los objetivos planteados, es necesario llevar a cabo múltiples campañas de muestreo para asegurar la persistencia de los efectos de la remediación. Una sola campaña de medición de las características que se van a monitorear no es suficiente para establecer la terminación (liberación) de un sitio contaminado, sobre todo en lo que respecta al suelo. Al tratarse de un medio heterogéneo, los valores de los datos varían inevitablemente entre las diferentes campañas de muestreo. Por consiguiente, los resultados de cada campaña no pueden evaluarse de manera rígida. La frecuencia de los muestreos tiende a disminuir con el tiempo (véase el recuadro VII.2).

■ Recuadro VII.2

Verificación estadística de los resultados de la remediación

Según EPA (1992a), para remediar el agua subterránea con la técnica de bombeo y tratamiento se recomienda que el muestreo posremediación sea una continuación de los muestreos realizados durante el seguimiento de la remediación. Asimismo, se sugiere que se haga un seguimiento estadístico de las concentraciones, en el que se indique la concentración del contaminante frente al tiempo. Posteriormente, se ajusta una línea de regresión múltiple o no lineal a los valores graficados (véase el gráfico).

Presentación gráfica de la concentración frente al tiempo y curva de regresión múltiple que indica la persistencia de la reducción de la concentración



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), *General Methods for Remedial Operation Performance Evaluations*, Ada, 1992.

Nota: UCL 95% = Límite superior del intervalo de confianza (upper confidence limit (UCL)) del 95%.
LCL 95% = Límite inferior del intervalo de confianza (lower confidence limit (LCL)) del 95%.

La remediación puede considerarse concluida cuando las concentraciones de contaminantes se hayan estabilizado. En este caso, la línea de regresión tiene una pendiente igual a cero en un punto en el que la concentración promedio del contaminante es igual o menor que la concentración objetivo, o una pendiente negativa, y las concentraciones están por debajo de la concentración objetivo. Siempre debe realizarse una prueba estadística (por ejemplo, la distribución t de Student) para determinar que la pendiente de la línea de regresión ajustada no es mayor que cero a un nivel de confianza del 95%.

Los gráficos de regresión deben actualizarse con los datos obtenidos durante los eventos de muestreo. La reactivación de las acciones correctivas o la reevaluación de la necesidad de volver a aplicar la tecnología de remediación pueden indicarse cuando la pendiente ya no es estadísticamente igual o inferior a cero, o cuando dos o más valores de datos sucesivos están por encima del límite superior del intervalo de confianza del 95% de la línea de regresión.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), *General Methods for Remedial Operation Performance Evaluations*, Ada, 1992.

Para concluir, el seguimiento y la evaluación de un proyecto mediante indicadores resultan útiles para i) identificar aspectos susceptibles de mejora durante la ejecución y realizar los ajustes necesarios; ii) determinar el éxito de las acciones de remediación, e iii) identificar el impacto socioambiental en la fase de posremediación.

En vista de lo anterior, es fundamental elegir indicadores de desempeño oportunos y relevantes y considerar su selección desde la etapa de planificación del proyecto. Asimismo, es esencial monitorearlos tanto en la fase de implementación como en la de posremediación.

Capítulo VIII

Reflexiones finales

Si bien los países han incorporado directrices para que las empresas se hagan cargo de sus procesos de cierre para evitar nuevos pasivos ambientales, aún quedan muchos sitios contaminados cuya remediación o gestión no puede esperar. Sin embargo, la escasez de recursos públicos y otros desafíos económicos y sociales obliga a los Gobiernos a escoger y ejecutar proyectos con el mejor desempeño. El manejo y remediación de pasivos ambientales mineros requieren de una metodología que permita priorizar los proyectos de inversión utilizando una visión amplia de la sostenibilidad. Junto con tener en cuenta los riesgos para la salud y el medio ambiente, y evaluar las distintas opciones tecnológicas, se debe incentivar una participación significativa de todas las partes interesadas.

Esta guía proporciona lineamientos, información y metodologías a los encargados de elaborar o aplicar políticas públicas vinculadas con la priorización de las inversiones en remediación. La priorización recomendada en la guía para los pasivos ambientales mineros se basa en una serie de pasos que comienzan con el análisis de riesgos y su posterior priorización. Para cada opción de remediación se recomienda hacer una evaluación integral, es decir, que aborde las dimensiones ambiental, financiera, económica y social.

La evaluación ambiental busca la remediación y rehabilitación del sitio, la reducción y mitigación del riesgo, considerar las emisiones y opciones de reciclaje de cada alternativa, y valorar si el uso futuro del sitio proporciona servicios para compensar los impactos del pasivo ambiental minero. La evaluación financiera busca considerar los egresos financieros de la remediación, así como sus posibles ingresos. La evaluación económica amplía la evaluación financiera incluidos los costos y beneficios que enfrenta la sociedad en su totalidad por la implementación de la alternativa de remediación. Finalmente, la evaluación social complementa la anterior al analizar los resultados económicos con una mirada de igualdad social.

Más allá de la remediación de los legados existentes, es necesario avanzar en el desarrollo y fortalecimiento de los marcos regulatorios e institucionales para evitar la creación de pasivos ambientales mineros en el futuro.

Bibliografía

- ACNUDH (Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos) (2022), *Remedy in Development Finance: Guidance and Practice*, Nueva York.
- Adler, M. (2016), "Benefit-cost analysis and distributional weights: an overview", *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 10, N° 2, Oxford, Oxford University Press.
- Alberruche, M. y otros (2014), *Manual para la evaluación de riesgos de instalaciones de residuos de industrias extractivas cerradas o abandonadas*, Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente/Instituto Geológico y Minero de España.
- Alvarado, L. y E. Morín (2018), "Guía para la preparación de proyectos por fases (PPF), 2018", Ciudad de México, Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP).
- Arancibia, V. (2017), *Inventariación, Caracterización y Evaluación de Riesgos por Pasivos Ambientales Minero Metalúrgicos y su Influencia en el Recurso Hídrico: Reserva Nacional de Fauna Andina Eduardo Avaroa*, Lima, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).
- Arranz-González, J. y otros (2022), "Polluting potential from mining wastes: proposal for application a global contamination index", *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 194, Berlín, Springer.
- (2020a), *Glosario técnico en materia de gestión de pasivos ambientales mineros*, Madrid, Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI).
- (2020b), *Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas*, Madrid, Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI).
- (2019), *Guía para la rehabilitación de instalaciones abandonadas de residuos mineros*, Madrid, Ministerio para la Transición Ecológica.
- Arrow, K. y otros (2014), "Should governments use a declining discount rate in project analysis?", *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 8, N° 2, Chicago, University of Chicago Press.
- (1993), "Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation", Washington, D.C., Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA).

- Asamblea Constituyente del Ecuador (2008), *Constitución de la República del Ecuador*, Quito.
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador (2017), "Código Orgánico del Ambiente", *Registro Oficial*, N° 983, Quito, 12 de abril.
- ATAP (Australian Transport Assessment and Planning) (2022), *Australian Transport Assessment and Planning Guidelines: T2 Cost Benefit Analysis*, Canberra.
- Atkinson, G. y S. Mourato (2008), "Environmental cost-benefit analysis", *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 33, San Mateo, Annual Reviews.
- Australia, Gobierno de (2016), *Mine Rehabilitation: Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry*, Canberra.
- Azqueta, D. (1994), *Valoración económica de la calidad ambiental*, Madrid, McGraw-Hill.
- Banco Mundial (2018), "EAS 5: adquisición de tierras, restricciones sobre el uso de la tierra y reasentamiento involuntario", *Nota de Orientación para los Prestatarios*, Washington, D.C.
- (2015), *¿Qué son los bonos verdes?*, Washington, D.C.
- (2005), *Wealth and Sustainability: The Environmental and Social Dimensions of the Mining Sector in Peru*, Washington, D.C.
- (2001), "Interactive community planning. ZOPP: Goal Oriented Project Planning", Washington, D.C. [en línea] <http://web.mit.edu/urbanupgrading/upgrading/issues-tools/tools/ZOPP.html>.
- Barba-Romero, S. (1996), *Manual para la toma de decisiones multicriterio (LC/IP/L.122)*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Barros, E. (2010), *Tratado de responsabilidad extracontractual*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile.
- Baum, S. (2012), "Value typology in cost-benefit analysis", *Environmental Values*, vol. 21, N° 4, Thousand Oaks, Sage Publications.
- Berger, A. (2007), "Arboles de decisión", Buenos Aires, Universidad del CEMA (UCEMA) [en línea] <https://ucema.edu.ar/~aberger/Arboles/Arboles.pdf>.
- Bezama, A. y otros (2007), "Application of a balanced scorecard system for supporting decision-making in contaminated sites remediation", *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 181, Berlín, Springer.
- BGR/SERNAGEOMIN (Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales/Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile)(2008), *Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas FMA/P*, Santiago.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo) (2020), *Marco de Política Ambiental y Social*, Washington, D.C.
- Biddix, J. (2018), *Research Methods and Applications for Student Affairs*, Hoboken, Wiley.
- Boardman, A. y otros (2018), *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Bongaerts, E., E. Casals y H. Domsch (2018), "Estudio comparativo de experiencias positivas en la gestión de sitios contaminados", *Informe*, N° 1, Santiago, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit/Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales/ Comisión Económica para América Latina y el Caribe (GIZ/BGR/CEPAL).
- Bonner, S. (2022), *Social Cost Benefit Analysis and Economic Evaluation*, Brisbane, Universidad de Queensland.

- Bourne, L. (2016), *Stakeholder Relationship Management: A Maturity Model for Organisational Implementation*, Londres, Routledge.
- Brent, R. (2008), *Applied Cost-Benefit Analysis*, Cheltenham, Edward Elgar Publishing.
- Brusseau, M. (2019), "Sustainable development and other solutions to pollution and global change", *Environmental and Pollution Science*, M. Brusseau, I. Pepper y C. Gerba (eds.), Cambridge, Academic Press.
- Cabanillas, A. (1996), *La reparación de los daños al medio ambiente*, Pamplona, Editorial Aranzadi.
- Castellanos, L. (2015), "Árboles y tablas de decisiones: guía de estudio", Maracaibo [en línea] <https://luiscastellanos.files.wordpress.com/2015/02/arboles-y-tablas-decisiones-luis-castellanos.pdf>.
- Cavanillas, S. (1996), "Tendencias en materia de responsabilidad civil", *Responsabilidad civil del empresario*, F. McKay (ed.), Santiago, Universidad de los Andes.
- CCME (Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente) (2024), "Canadian Environmental Quality Guidelines" [en línea] <https://ccme.ca/en/current-activities/canadian-environmental-quality-guidelines>.
- CDC (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades) (2023), "Cómo prevenir la exposición de los niños al plomo", Atlanta [en línea] <https://www.cdc.gov/spanish/nceh/especiales/envenenamientooporplomo/index.html>.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2023a), *Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe: guía de implementación* (LC/TS.2021/221/Rev.2), Santiago.
- (2023b), *Panorama Social de América Latina y el Caribe, 2023* (LC/PUB.2023/18-P/Rev.1), Santiago.
- (2022a), *Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe* (LC/PUB.2018/8/Rev.1), Santiago.
- (2022b), *Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe: guía de implementación* (LC/TS.2021/221/Rev.2), Santiago.
- (2022c), *Panorama Social de América Latina y el Caribe, 2022* (LC/PUB.2022/15-P), Santiago.
- (2021), "Nuevo contenido sobre inversión pública y red SNIP", Santiago, 4 de febrero [en línea] <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/news/nuevo-contenido-sobre-inversion-publica-y-red-snip>.
- (2018), *La ineficiencia de la desigualdad* (LC/SES.37/3-P), Santiago.
- CEPEP/SHCP (Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos/Secretaría de Hacienda y Crédito Público) (2019), "Diplomado Evaluación de Políticas y Programas Públicos 2023", Ciudad de México [en línea] https://mexicox.gob.mx/courses/course-v1:SHCP+EDPY23095X+2023_09/about.
- CETESB (Compañía Ambiental del Estado de São Paulo) (2023), "Relação de áreas contaminadas", São Paulo [en línea] <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>.

- Chappuis, M. (2020), "Remediación y activación de pasivos ambientales mineros (PAM) en el Perú", *serie Medio Ambiente y Desarrollo*, N° 168 (LC/TS.2019/126), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Cinelli, M. y otros (2021), "Supporting contaminated sites management with Multiple Criteria Decision Analysis: demonstration of a regulation-consistent approach", *Journal of Cleaner Production*, vol. 316, Ámsterdam, Elsevier.
- CL:AIRE (Contaminated Land: Applications in Real Environments) (2020), *Supplementary Report 1 of the SuRF-UK Framework: A General Approach to Sustainability Assessment for Use in Achieving Sustainable Remediation*, Haddenham.
- (2010), *A Framework for Assessing the Sustainability of Soil and Groundwater Remediation*, Londres.
- Clerc, J. (2022), "Mecanismos de financiamiento para la remediación de PAMs", Santiago, E2BIZ/Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) [en línea] https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/jacques_clerc.pdf.
- Coffey (2018), "Incorporating sustainability into contaminated land management" [en línea] <https://www.eianz.org/document/item/4720>.
- Collinao, M. P. y otros (2015), "Guía metodológica: medición del gasto en protección ambiental del gobierno general", *Documentos de Proyectos* (LC/W.653), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Comisión Europea (2015), "Presentación detallada", Bruselas [en línea] https://europa.eu/capacity4dev/evaluation_guidelines/wiki/presentacion-detallada-9.
- (2010), "Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)", *Guidance Document*, N° 26, Luxemburgo.
- (2006), "Life Cycle Assessment (LCA) as a decision support tool (DST) for the eco-production of olive oil", Bruselas [en línea] https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=2743&docType=pdf.
- CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile) (1997), *Análisis y Desarrollo de Metodologías de Evaluación Económica para Planes de Descontaminación y Normas de Calidad Ambiental*, Santiago.
- Congreso de la República de Colombia (2023), *Ley 2327 de 2023 (Septiembre 13) por medio de la cual se establece la definición de pasivo ambiental, se fijan lineamientos para su gestión y se dictan otras disposiciones*, Bogotá.
- Congreso de la República del Perú (2017), "Aprueban criterios para la gestión de sitios contaminados: decreto supremo N° 012-2017-MINAM", *El Peruano*, Lima, 2 de diciembre.
- (2014), "Aprueban disposiciones complementarias para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo: decreto supremo N° 002-2014-MINAM", *El Peruano*, Lima, 24 de marzo.
- (2005), "Ley No 28611: Ley General del Ambiente", *El Peruano*, Lima, 15 de octubre.
- (2004), *Ley N° 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera*, Lima.
- Congreso Nacional de Chile (2012), "Proyecto de ley de la remediación de pasivos ambientales mineros", Santiago.
- (2011), Ley núm. 20.551. *Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras*, Santiago.

- Contreras, E. (2018), "Precios sociales: marco teórico para el cálculo de tasa social de descuento, divisa y mano de obra", *Documento de Trabajo*, Santiago, Universidad de Chile, inédito.
- (2004), "Evaluación social de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica", *serie Manuales*, N° 37 (LC/L.2210-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Contreras, E. y C. Díez (2015), *Diseño y evaluación de proyectos: un enfoque integrado*, Santiago, JC Sáez Editor.
- Corral, H. (2011), *Lecciones de responsabilidad civil extracontractual*, Santiago, Editorial Jurídica de Chile.
- CrcCARE (Cooperative Research Centre for Contamination Assessment and Remediation of the Environment) (2019), *Remediation Action Plan Development: Guideline on Performing Cost-benefit and Sustainability Analysis*, Newcastle.
- Crespo, R. (2008), "La responsabilidad objetiva por daños ambientales y la inversión de la carga de la prueba en la nueva constitución", *Letras Verdes*, N° 2, Quito, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO).
- Cross, F. (1989), "Natural resource damage valuation", *Vanderbilt Law Review*, vol. 42, N° 2, Nashville, Universidad de Vanderbilt.
- Cuadros, J. y otros (2012), "Elementos conceptuales y aplicaciones de microeconomía para la evaluación de proyectos", *serie Manuales*, N° 77 (LC/L.3511), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- DCLG (Departamento de Comunidades y Gobiernos Locales) (2009), *Multi-criteria Analysis: A Manual*, Londres.
- Dean, M. (2022), *A Practical Guide to Multi-Criteria Analysis*, Londres, University College London.
- De las Casas, J. (2019), "Participación del sector privado para la remediación de los pasivos ambientales mineros bajo administración del estado", Lima, Universidad de Lima.
- De Miguel, C. y M. Pereira (2019), "Pasivos ambientales mineros: retos para la sostenibilidad", *La bonanza de los recursos naturales para el desarrollo: dilemas de gobernanza*, Libros de la CEPAL, N° 157 (LC/PUB.2019/13-P), R. Sánchez (ed.), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- DEQ (Departamento de Calidad Ambiental de Montana) (2020), *Montana Limestone Resources Environmental Assessment*, Drummond.
- Doroni, G. (2015), "Responsabilidad por pasivos ambientales mineros y cierre de minas: breve análisis de los marcos normativos de Bolivia, Chile y Perú", *Anuario del Centro de Investigaciones Jurídicas y Sociales*, N° 12, Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba (UNC).
- Dufey, A. y P. Zamorano (2023), "Estándares y certificaciones internacionales voluntarias en materia de minería sostenible en los países andinos", *serie Medio Ambiente y Desarrollo*, N° 175 (LC/TS.2023/67), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Dupuit, J. (1995), "De la mesure de l'utilité des travaux publics", *Revue française d'économie*, vol. 10, N° 2, Lyon, Persée.
- Earley III, D. (2020), *In Situ Recovery & Remediation of Metals*, Englewood, Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración (SME).
- Edwards, G. (2014), "Estimación de la tasa social de descuento de largo plazo en el marco del sistema nacional de inversiones", Santiago, Ministerio de Desarrollo Social (MDS).

- Efroymsen, R., J. Nicolette y G. Suter (2004), "A framework for net environmental benefit analysis for remediation or restoration of contaminated sites", *Environmental Management*, vol. 34, Berlín, Springer.
- Environmental Protection Scotland (2017), "Introduction to land contamination and development management. Guidance for assessing and addressing land contamination issues to meet the requirements of local planning authorities in Scotland", Glasgow.
- EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) (2024), "Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): part A", Washington, D.C. [en línea] <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>.
- (2023), "Superfund soil screening guidance", Washington, D.C. [en línea] <https://www.epa.gov/superfund/superfund-soil-screening-guidance#user>.
- (2022), "Risk assessment guidance: EPA guidance", Washington, D.C. [en línea] <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance>.
- (2020), *Superfund Community Involvement Handbook*, Washington, D.C.
- (2018), *Proteger a los niños de la exposición al plomo*, Washington, D.C.
- (2014), *Framework for Human Health Risk Assessment to Inform Decision Making*, Washington, D.C.
- (2012), "Green remediation best management practices: mining sites", Washington, D.C.
- (2008), *Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites*, Cincinnati.
- (2000), *Abandoned Mine Site Characterization and Cleanup Handbook*, Seattle.
- (1992a), *General Methods for Remedial Operation Performance Evaluations*, Ada.
- (1992b), *Guidelines for Exposure Assessment*, Washington, D.C.
- (1989), "The feasibility study: development and screening of remedial action alternatives", Washington, D.C. [en línea] <https://semspub.epa.gov/work/HQ/174411.pdf>.
- Farmer, A. (1993), "The effects of dust on vegetation - a review", *Environmental Pollution*, vol. 79, N° 1, Ámsterdam, Elsevier.
- Farrow, S. y M. Toman (1998), "Using environmental benefit-cost analysis to improve government performance", *Discussion Paper*, N° 99-11, Washington, D.C., Resources for the Future.
- FIO/CEPAL/GIZ (Federación Iberoamericana del Ombudsman/Comisión Económica para América Latina y el Caribe/Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) (2020), "Recomendaciones para la incorporación del enfoque de derechos humanos en la evaluación de impacto ambiental de proyectos mineros", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2020/97), Santiago.
- Fortuna, M., I. Simion y M. Gavrilescu (2011), "Sustainability in environmental remediation", *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 10, N° 12, Iași, Universidad Técnica Gheorghe Asachi de Iași.
- Fundación Chile (2015), *Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados*, Santiago.
- Galindo, L. y otros (2017), "Portafolio de políticas públicas de adaptación al cambio climático y mitigación de sus efectos con beneficios adicionales o 'sin arrepentimiento' en América Latina", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2017/127), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

- Gálvez, G. (2015), "Generación de indicadores de pasivos ambientales y sociales para el SIPAS del Programa de Reparación Ambiental y Social del Ministerio del Ambiente del Ecuador aplicado a las actividades hidrocarburíferas y mineras a nivel nacional", Quito, Universidad Central del Ecuador (UCE).
- Garbarino, E. y otros (2018), *Best Available Techniques (BAT): Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries in accordance with Directive 2006/21/EC*, Luxemburgo, Comisión Europea.
- Garber, A. y C. Phelps (1997), "Economic foundations of cost-effectiveness analysis", *Journal of Health Economics*, vol. 16, N° 1, Ámsterdam, Elsevier.
- GEF (Global Environment Facility) (2019), "Celebrating women's contribution to global environmental sustainability", Washington, D.C., 8 de marzo [en línea] <https://www.thegef.org/blog/celebrating-womens-contribution-global-environmental-sustainability>.
- Gholizadeh, A. y otros (2018), "Monitoring of selected soil contaminants using proximal and remote sensing techniques: background, state-of-the-art and future perspectives", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 48, Milton Park, Taylor & Francis.
- Gobierno del Estado de México (2014), *Estudio costo beneficio para el proyecto: Puente Fresnos - Río Córdoba (segunda etapa) y conexión a la autopista: México - Querétaro*, Toluca de Lerdo.
- Gómez, C. (1998), "Profundizando y renovando las bases de la economía marginalista", Madrid, Universidad de Alcalá [en línea] <https://econ.web.uah.es/hpeweb/marg2/HPE9811.htm>.
- (1994), "El análisis costo-beneficio y el medio ambiente", *Documentos de Proyectos (LC/IP/L.101)*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Green, R. (1979), *Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists*, Nueva York, Wiley.
- Grupo de Trabajo "Acceso a la información de certificaciones mineras" (2022), "Recomendaciones para mejorar la gobernanza local por medio de las certificaciones mineras", Stilleweg, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit/Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales/Instituto de Gobernanza de los Recursos Naturales (GIZ/BGR/NRGI).
- Holland, K. y otros (2011), "Framework for integrating sustainability into remediation projects", *Remediation*, vol. 21, N° 3, Hoboken, Wiley.
- Iglesias, D. (2007), "Costos económicos por la generación y manejo de residuos sólidos en el municipio de Toluca, Estado de México", *Equilibrio Económico*, vol. 3, N° 2, Saltillo, Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC).
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2016), *Clasificador Nacional de Ocupaciones 2015*, Lima.
- ISO (Organización Internacional de Normalización) (2023a), *Mine closure and reclamation - Managing mining legacies - Part 1: requirements and recommendations*, Ginebra.
- (2023b), *Mine closure and reclamation - Managing mining legacies - Part 2: case studies and bibliography*, Ginebra.

- ITRC (Consejo Regulador de Tecnología Interestatal) (2010), "Technology overview as part of a web-based technical and regulatory guidance: re-use and reprocess (R2) technologies", Washington, D.C. [en línea] https://projects.itrcweb.org/miningwaste-guidance/to_reuse.htm.
- Iturbe, R. y R. Flores (2014), "Evaluación de riesgo ambiental", *Suelos y acuíferos contaminados: evaluación y limpieza*, R. Iturbe (ed.), Ciudad de México, Trillas.
- Jenkins, G., K. Chun-Yan y A. Harberger (2011), "The integrated analysis of investment projects", *Cost-Benefit Analysis for Investment Decisions*, Kingston, Queen's University.
- Jiliberto Herrera, R. J. y M. Bonilla Madriñán (2009), "Guía de evaluación ambiental estratégica", *Documentos de Proyectos (LC/W.287)*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Jouini, M. y otros (2020), "Performances of stabilization/solidification process of acid mine drainage passive treatment residues: assessment of the environmental and mechanical behaviors", *Journal of Environmental Management*, vol. 269, N° 1, Ámsterdam, Elsevier.
- Karaca, O., C. Cameselle y K. Reddy (2018), "Mine tailing disposal sites: contamination problems, remedial options and phytocaps for sustainable remediation", *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 17, Berlín, Springer.
- Kendrick, T. (2010), *Project Management Tool Kit: 100 Tips and Techniques for Getting the Job Done Right*, Nashville, AMACOM.
- Knoke, T., E. Gosling y C. Paul (2020), "Use and misuse of the net present value in environmental studies", *Ecological Economics*, vol. 174, Ámsterdam, Elsevier.
- Legg, C. y L. Nagy (2006), "Why most conservation monitoring is, but need not be, a waste of time", *Journal of Environmental Management*, vol. 78, N° 2, Ámsterdam, Elsevier.
- Le Tourneau, P. (2004), *La responsabilidad civil*, Bogotá, Legis Editores.
- Lewis, L. y T. Tietenberg (2020), *Environmental Economics and Policy*, Londres, Routledge.
- Limón, B. y M. Herrejón (2013), "Remediación y revitalización del predio de Peñoles, Compañía Minera, Fundidora y Afinadora Monterrey, S. A. y su conversión en el Paseo de Santa Lucía, 2ª etapa, en Monterrey, Nuevo León", *Remediación y revitalización de sitios contaminados: casos exitosos en México*, W. Schmidt, R. Flores y U. Ruiz (eds.), Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit/Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (GIZ/SEMARNAT).
- Lindell, A. (2009), *Revitalización urbana de sitios contaminados a través de ejemplos en México*, Ciudad de México, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- Lindenmayer, D. y G. Likens (2010), *Effective Ecological Monitoring*, Clayton, CSIRO Publishing.
- Lián, J. y T. Rötting (2013), "Estudio mineralógico y geoquímico de la optimización de un sistema de tratamiento pasivo de drenaje ácido de mina con alta carga metálica", tesis de doctorado en geología, Huelva, Universidad de Huelva.
- Livermore, M. (2012), "Can cost-benefit analysis of environmental policy go global?", *New York University Environmental Law Journal*, vol. 19, N° 1, Nueva York, Universidad de Nueva York.
- López, P. y otros (2003), "La minería y su pasivo ambiental", *Análisis de Políticas Públicas*, N° 24, Santiago, Fundación Terram.

- Manning, C. (2023), "Technology readiness levels", Washington, D.C., Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), 27 de septiembre [en línea] https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level.
- Martínez-Alier, J. y M. O'Connor (1996), "Ecological and economic distribution conflicts", *Getting Down to Earth: Practical Application of Ecological Economics*, R. Costanza, O. Segura y J. Martínez-Alier (eds.), Washington, D.C., Island Press.
- McSweeney, B. (2006), "Net present value: the illusion of certainty", *Strategic Change*, vol. 15, Hoboken, Wiley.
- Meixueiro, J. y otros (2015), "Guía general para la presentación de estudios de evaluación socioeconómica de programas y proyectos de inversión: análisis costo-beneficio. Actualización 2015", Ciudad de México, Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP).
- Meixueiro, J. y M. Pérez (2008), *Metodología general para la evaluación de proyectos*, Ciudad de México, Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP).
- MIDEPLAN (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica) (2010), *Guía metodológica general para la identificación, formulación y evaluación de proyectos de inversión pública*, San José.
- MINEM (Ministerio de Energía y Minas del Perú) (2023), "Inventario de Pasivos Ambientales Mineros", Lima [en línea] <https://www.gob.pe/institucion/minem/colecciones/24670-inventario-de-pasivos-ambientales-mineros>.
- (2018), "La intervención del Estado en la remediación de pasivos ambientales mineros", *Informativo Minero*, N° 12, Lima.
- (2015), *Remediación de pasivos ambientales mineros en el Perú*, Lima.
- (2006), *Guía para la elaboración de planes de cierre de minas*, Lima.
- Minería Chilena (2013), "PAM: ideando mecanismos de financiamiento", Santiago, marzo.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (2024), "Programa de Reparación Ambiental y Social (PRAS)", Quito [en línea] <http://pras.ambiente.gob.ec/web/siesap/informacion-em>.
- (2020), *Guía metodológica de peritaje ambiental: herramienta para la reparación integral de daños ambientales*, Quito.
- (2004), "Ley de Gestión Ambiental, codificación", Quito [en línea] <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>.
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia de Chile (2023), *Informe Precios Sociales 2023*, Santiago.
- (2017), *Metodología formulación y evaluación de proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias*, Santiago.
- Ministerio de Salud de Costa Rica/Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica (2018), *Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos*, San José.
- Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección de los Consumidores de Alemania (2002), *German Federal Government Soil Protection Report*, Bonn.
- Mishan, E. y E. Quah (2021), *Cost-Benefit Analysis*, Abington, Routledge.

- Mitchell, R. y R. Carson (1989), *Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method*, Londres, Routledge.
- MMA (Ministerio del Medio Ambiente de Chile) (2013a), *Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire*, Santiago.
- (2013b), *Resolución Exenta N° 406/2013. Aprueba Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes y sus Anexos, y deja sin efecto resolución que indica*, Santiago.
- Morales, A. (2023), “Complemento de la guía metodológica de cierre de minas”, *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2023/139), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Morales, A. y M. Hantke (2020), “Guía metodológica de cierre de minas”, *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2020/166), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Morín, E. (2018), *Guía general para la presentación de evaluaciones costo y beneficio de programas y proyectos de inversión, 2018*, Ciudad de México, Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP).
- Naciones Unidas (2015), *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (A/RES/70/1), Nueva York.
- (1987), *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: nota del Secretario General* (A/42/427), Nueva York.
- Nas, T. (2016), *Cost-Benefit Analysis: Theory and Application*, Lanham, Lexington Books.
- Niroshika, K. y otros (2020), “Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: a critical review”, *Environment International*, vol. 134, Ámsterdam, Elsevier.
- Nyborg, K. (2012), *The Ethics and Politics of Environmental Cost-Benefit Analysis*, Nueva York, Routledge.
- Nyborg, K. y I. Spangen (2000), “Cost-benefit analysis and the democratic ideal”, *Nordic Journal of Political Economy*, vol. 26, Cambridge, Cambridge University Press.
- Oblasser, A. (2016), “Estudio sobre lineamientos, incentivos y regulación para el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), incluyendo cierre de faenas mineras: Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile, Colombia y el Perú”, *serie Medio Ambiente y Desarrollo*, N° 163 (LC/L.4208), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- OCDE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos) (2023), *Glosario de términos clave en evaluación y gestión basada en resultados para el desarrollo durable*, París.
- (2018), *Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use*, París.
- OCDE/BID (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos/Banco Interamericano de Desarrollo) (2016), *Panorama de las Administraciones Públicas: América Latina y el Caribe 2017*, París.
- OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) (2009), “Decision making process for remediation activities”, *IAEA Safety Report Series*, N° 792, Viena.
- OIT (Organización Internacional del Trabajo) (1989), *Convenio sobre Pueblos Indígenas y Tribales, 1989* (núm. 169), Ginebra.

- OLACEFS (Organización Latinoamericana y del Caribe de Entidades Fiscalizadoras Superiores)(2021), *Auditoría coordinada sobre estructuras de gobernanza para el manejo integral de los pasivos ambientales mineros*, Santiago.
- O'Mahony, T. (2021), "Cost-benefit analysis and the environment: the time horizon is of the essence", *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 89, Ámsterdam, Elsevier.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2021a), *Directriz de la OMS para el tratamiento clínico de la exposición al plomo*, Ginebra.
- (2021b), *Protecting Health through Urban Redevelopment of Contaminated Sites: Planning Brief*, Copenhague.
- Ortegón, E., J. Pacheco y H. Roura(2005), "Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública", *serie Manuales*, N° 39 (LC/L.2326-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- OSWER (Oficina de Residuos Sólidos y Respuesta a Emergencias) (2012a), "Green remediation best management practices: mining sites" [en línea] https://clu-in.org/greenremediation/docs/GR_factsheet_miningsites.pdf.
- (2012b), "Guía comunitaria sobre la cobertura" [en línea] https://clu-in.org/download/citizens/EPA-542-F-12-004S_guia_del_ciudadano_sobre_el_recubrimiento.pdf.
- Oxfam Intermón (2020), "Definición de sostenibilidad: ¿sabes qué es y sobre qué trata?", Barcelona [en línea] <https://blog.oxfamintermon.org/definicion-de-sostenibilidad-sabes-que-es-y-sobre-que-trata/>.
- Pacheco, J. y E. Contreras (2008), "Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos", *serie Manuales*, N° 58(LC/L.2957-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Palma, J. y otros (2007), "Estabilización de taludes de tranques de relaves afectados por la erosión eólica", documento presentado en el VI Congreso Chileno de Geotecnia, Valparaíso, Sociedad Chilena de Geotecnia (SOCHIGE), 28 a 30 de noviembre.
- Pantaleón, C., M. Pereira y C. de Miguel (2015), "Guía metodológica: instrumentos económicos para la gestión ambiental", *Documentos de Proyectos* (LC/W.651), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Perú, Gobierno del (2021), "Corea apoyará a Perú en proyecto de remediación de pasivos ambientales mineros", Lima, 2 de julio [en línea] <https://www.gob.pe/institucion/apci/noticias/503960-corea-apoyara-a-peru-en-proyecto-de-remediacion-de-pasivos-ambientales-mineros>.
- Petek, G. (2020), *Improving California's Response to the Environmental and Safety Hazards Caused by Abandoned Mines*, Sacramento, Oficina del Analista Legislativo (LAO).
- PIRAMID Consortium (2003), *Engineering Guidelines for the Passive Remediation of Acidic and/or Metalliferous Mine Drainage and Similar Wastewaters*, Newcastle upon Tyne, Universidad de Newcastle.
- Polackova, H. (2000), "Government contingent liabilities: a hidden risk to fiscal stability", Washington, D.C., Banco Mundial.
- Posner, E. y M. Adler (1999), "Rethinking cost-benefit analysis", *Yale Law Journal*, vol. 109, New Haven, Universidad de Yale.

- Presidencia de la República de México (2024), *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que reforma la de 5 de Febrero de 1857*, Ciudad de México.
- (2016), “Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano”, *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 28 de noviembre.
- (2013), “Ley Federal de Responsabilidad Ambiental”, *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 7 de junio.
- (2006), *Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, Ciudad de México.
- Prieto, L. y otros (2004), “Análisis coste-efectividad en la evaluación económica de intervenciones sanitarias”, *Medicina Clínica*, vol. 122, N° 13, Ámsterdam, Elsevier.
- r3 Environmental Technology (2017), *Estrategias para la rehabilitación de tierras mineras contaminadas con mercurio para su reutilización en energía renovable y otras estrategias de reutilización autosostenibles. Producto 1: un plan de pruebas de campo in situ de técnicas que prometen ser replicables a otros sitios contaminados de manera similar, con base en evaluaciones de tecnología y trabajo de pruebas a escala de laboratorio*, Bogotá.
- (2014), “Remediación sostenible”, Bogotá [en línea] <http://www.r3environmental.com.co/es/servicios/remedacion-sostenible.html>.
- Revez, R. y M. Livermore (2023), *Retaking rationality: How Cost-benefit Analysis Can Better Protect the Environment and Our Health*, Oxford, Oxford University Press.
- Rico, M. y otros (2008), “Reported tailings dam failures: a review of the European incidents in the worldwide context”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 152, N° 2, Ámsterdam, Elsevier.
- Robison, L., P. Barry y R. Myers (2015), “Consistent IRR and NPV rankings”, *Agricultural Finance Review*, vol. 75, N° 4, Bradford, Emerald Publishing.
- Roseke, H. (2019), “How to develop a stakeholder engagement plan”, Calgary, ProjectEngineer, 18 de marzo [en línea] <https://www.projectengineer.net/how-to-develop-a-stakeholder-engagement-plan/>.
- Ruíz, U. (2006), *Guía técnica para orientar la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental de sitios contaminados*, Ciudad de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- Sánchez, R. (ed.) (2019), *La bonanza de los recursos naturales para el desarrollo: dilemas de gobernanza*, Libros de la CEPAL, N° 157 (LC/PUB.2019/13-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Sánchez-Pedraza, R., O. Gamboa y J. Díaz (2008), “Modelos empleados para la toma de decisiones en el cuidado de la salud”, *Revista de Salud Pública*, vol. 10, N° 1, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia.
- Santé, I. y R. Crecente (2005), “Evaluación de métodos para la obtención de mapas continuos de aptitud para usos agroforestales”, *GeoFocus*, N° 5, Barcelona, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Sapag, N., R. Sapag y J. Sapag (2014), *Preparación y evaluación de proyectos*, Ciudad de México, McGraw-Hill.

- Schmidt, W., R. Flores y U. Ruiz (eds.) (2013), *Remediación y revitalización de sitios contaminados: casos exitosos en México*, Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit/Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (GIZ/SEMARNAT).
- Schuschny, A. y H. Soto (2009), "Guía metodológica: diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible", *Documentos de Proyectos* (LC/W.255), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Schuyler, J. (1994), "Decision analysis in projects: modeling techniques", *PM Network*, vol. 8, N° 7, Pensilvania, Project Management Institute (PMI).
- SCJN (Suprema Corte de Justicia de la Nación) (2020), "Amparo en revisión 640/2019", Ciudad de México, 15 de enero.
- Secretaría sobre el Cambio Climático (2014), *Manual sobre medición, notificación y verificación para las partes que son países en desarrollo*, Bonn.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2017), "Procedimiento de identificación y caracterización de sitios contaminados", Ciudad de México [en línea] https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/249157/4._Procedimiento_de_caracterizacio_n_de_sitios_contaminados.pdf.
- (2008), "Guía de llenado para la ficha del sistema informático de sitios contaminados", Ciudad de México, inédito.
- (2007), "Norma oficial mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio", *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 2 de marzo.
- (2006), *Guía técnica para orientar la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental de sitios contaminados*, Ciudad de México.
- Sen, A. (2000), "The discipline of cost-benefit analysis", *Journal of Legal Studies*, vol. 29, Chicago, University of Chicago Press.
- SENER/FSUE/FIDE (Secretaría de Energía/Fondo de Servicio Universal Eléctrico/Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica) (2017), "Sección F: análisis de mecanismos de sostenibilidad y corresponsabilidad de proyectos de electrificación con sistemas aislados", Ciudad de México [en línea] <http://fsueconvocatoriaaislados.fide.org.mx/manuales/Anexo9-Analisis-Mecanismos-Sostenibilidad.pdf>.
- SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile) (2019), "Catastro de Faenas Abandonadas Actualizado a 2019", Santiago [en línea] <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.sernageomin.cl%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F09%2FCatastro-de-Faenas-Abandonadas-Actualizado-a-2019.xlsx>.
- (2014), *Guía Metodológica de Evaluación de Riesgos para el Cierre de Faenas Mineras*, Santiago.
- (2007), *Catastro de faenas mineras abandonadas o paralizadas y análisis preliminar de riesgo*, Santiago.
- SHCP (Secretaría de Hacienda y Crédito Público de México) (2024), "Sistema de evaluación del desempeño" [en línea] <https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/Sistema-Evaluacion-Desempeno>.
- (2018), "Clasificador por objeto del gasto para la Administración Pública Federal", *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 26 de junio.

- Silva, M. y G. Suazo (2020), "Metodologías para el uso de factores de emisión: material particulado en depósitos de relaves abandonados", *serie Medio Ambiente y Desarrollo*, N° 170 (LC/TS.2020/92), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Song, B. y otros (2017), "Evaluation methods for assessing effectiveness of in situ remediation of soil and sediment contaminated with organic pollutants and heavy metals", *Environment International*, vol. 105, Ámsterdam, Elsevier.
- Squire, L. y H. van der Tak (1975), *Economic Analysis of Projects*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press.
- Stefanovic, M. y I. Stefanovic (2005), "Decisions, decisions", Pensilvania, Project Management Institute (PMI) [en línea] <https://www.pmi.org/learning/library/decisions-quantitative-making-process-7466>.
- Stiglitz, J. y J. Rosengard (2015), *Economics of the Public Sector*, Nueva York, W. W. Norton & Company.
- SURF (Sustainable Remediation Forum) (2009), "Sustainable remediation white paper—integrating sustainable principles, practices, and metrics into remediation projects", *Remediation*, vol. 19, N° 3, Hoboken, Wiley.
- Taylor, A. y otros (2019), "Five-step approach to stakeholder engagement", *Reports*, San Francisco, Business for Social Responsibility (BSR), 29 de abril.
- Terán, L. (2017), "Memoria. Proyecto 'Gestión de Pasivos Ambientales en Áreas Protegidas y su Influencia en el Recurso Hídrico'", La Paz, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).
- The Economist* (2014), "Why doing a cost-benefit analysis is harder than it looks", Londres, 24 de abril [en línea] <https://www.economist.com/the-economist-explains/2014/04/23/why-doing-a-cost-benefit-analysis-is-harder-than-it-looks>.
- Torche, A. y otros (2009), "La inversión pública: su impacto en crecimiento y bienestar", *Camino al bicentenario: propuestas para Chile*, Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) y otros.
- Toskano, G. (2005), "El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores: aplicación en la selección del proveedor para la empresa gráfica comercial MYE S.R.L.", Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).
- Treadwell & Rollo (2011), *Environmental Site Investigation Report. Pier 70 Master Plan Area. San Francisco, California*, San Francisco.
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (2009), "Agua y minería en cuencas áridas y semiáridas: guía para la gestión integral", *Documento Técnico del PHI-LAC*, N° 17, Montevideo.
- Unión Europea (2009), "Decisión de la Comisión, de 30 de abril de 2009, por la que se completa la definición de residuos inertes en aplicación del artículo 22, apartado 1, letra f), de la Directiva 2006/21/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas", *Diario Oficial de la Unión Europea*, Luxemburgo, 1 de mayo.

- Universidad de Maastricht/RIVM/Instituto Trimbos (Universidad de Maastricht/Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente/Instituto Holandés de Salud Mental y Adicciones) (2016), *Social Cost-benefit Analysis of Tobacco Control Policies in the Netherlands*, Maastricht.
- Velásquez, J. (2012), "Buenas prácticas ambientales y sociales en la minería", Bogotá, PazdelRío [en línea] <http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/eventos/2012/cim/documentos/bpracticass.pdf>.
- Vidal, F. (2001), "La responsabilidad civil", *Derecho PUCP*, N° 54, Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).
- Viscusi, W. (1993), "The value of risks to life and death", *Journal of Economic Literature*, vol. 31, N° 4, Nashville, Asociación Estadounidense de Economía (AEA).
- Youmatter (2018), "Stakeholder engagement - meaning, definition & strategies", París, 1 de octubre [en línea] <https://youmatter.world/en/definition/stakeholder-engagement-meaning-definition-and-strategies/>.
- Younger, P., S. Banwart y R. Hedin (2002), *Mine Water: Hydrology, Pollution, Remediation*, Nueva York, Springer.
- Yupari, A. (2004), "Pasivos ambientales mineros en Sudamérica", Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe/Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales/Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (CEPAL/BGR/SERNAGEOMIN), inédito.
- Wang, L. y otros (2019), "Green remediation of As and Pb contaminated soil using cement-free clay-based stabilization/solidification", *Environment International*, vol. 126, Ámsterdam, Elsevier.
- Watkins, R., M. Meiers y Y. Visser (2012), *A Guide to Assessing Needs: Essential Tools for Collecting Information, Making Decisions, and Achieving Development Results*, Washington, D.C., Banco Mundial.
- Watzlaf, G. y otros (2004), *The Passive Treatment of Coal Mine Drainage*, Pittsburgh, National Energy Technology Laboratory (NETL).
- Williams, C. (2007), "Research methods", *Journal of Business & Economic Research*, vol. 5, N° 3, Littleton, Clute Institute.
- Wood, C. (1996), "Evaluación de impacto ambiental: un análisis comparativo de ocho sistemas de EIA", *Estudios Públicos*, N° 61, Santiago, Centro de Estudios Públicos (CEP).
- Zuniga, C. y N. Abgar (2011), "Breve aproximación a la técnica de árbol de decisiones" [en línea] <https://niefcz.files.wordpress.com/2011/07/breve-aproximacion-a-la-tecnica-de-arbol-de-decisiones.pdf>.

La presente guía incluye información, metodologías y lineamientos dirigidos a los encargados de formular o aplicar políticas públicas encaminadas hacia la priorización de inversiones enfocadas en proyectos de remediación ambiental. Se exploran los conceptos de pasivo ambiental minero y remediación, así como sus aspectos más importantes, teniendo en cuenta la heterogeneidad de las definiciones planteadas en los distintos países de América Latina y el Caribe. Se hace hincapié en la salvaguarda de los derechos humanos, la protección ambiental, la responsabilidad de la remediación de un daño y el análisis económico y financiero. En particular, se brindan definiciones comunes y marcos orientadores para homogenizar el análisis económico y financiero relacionado con la gestión ambiental, basada en el análisis de riesgos. Como punto de partida, todo proyecto de remediación debe primero controlar el riesgo hacia las personas y el medio ambiente. Posteriormente, los análisis financiero, económico y social ayudan a determinar los proyectos más adecuados de acuerdo con las condiciones prevalentes. Los conceptos presentados a lo largo de este trabajo se aplican y se entienden en el marco de la economía del sector público, la economía ambiental, la economía del bienestar y la esfera económico-financiera.

La colección *Metodologías de la CEPAL* se orienta a la divulgación de los fundamentos conceptuales, las especificaciones técnicas de elaboración y las aplicaciones de los instrumentos cuantitativos y cualitativos producidos y utilizados en el ámbito de la CEPAL. Su propósito central es contribuir mediante más y mejores instrumentos al diseño de políticas públicas basadas en datos empíricos que generen un desarrollo sostenible con igualdad.

