TEXTE
146/2022

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE PELIGROS AMBIENTALES RELACIONADOS A LA EXTRACCIÓN PRIMARIA DE MATERIAS PRIMAS ABIÓTICAS – UN MÉTODO EN FUNCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

German Environment Agency

Umwelt Bundesamt

Project No. (FKZ) 3717 35 306 0

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE PELIGROS AMBIENTALES RELACIONADOS A LA EXTRACCIÓN PRIMARIA DE MATERIAS PRIMAS ABIÓTICAS – UN MÉTODO EN FUNCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Segunda edición revisada – Estado: 13 diciembre 2022

Aissa Rechlin, Christopher Demel
Projekt-Consult GmbH

Regine Vogt, Claudia Kämper
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH

Peter Dolega
Öko-Institut e.V.

Índice de contenidos

1 Introducción 8

2 Contexto 10

3 Método para la evaluación del potencial de peligros ambientales en función del emplazamiento 11

3.1 El nivel "Geología" 15

3.1.1 El nivel "Geología", campo "Relativo a la materia prima", indicadores de riesgos de contaminación derivados de la composición geoquímica del yacimiento geológico 15

3.1.1.1 Indicador: Condiciones previas para el drenaje ácido de minas (AMD) 15

3.1.1.2 Indicador: Paragénesis con metales pesados 25

3.1.1.3 Indicador: Paragénesis con materiales radiactivos 27

3.1.2 El nivel "Geología", campo "Información específica al yacimiento", indicador "Tamaño del yacimiento" 31

3.1.3 El nivel "Geología", campo "Información específica al yacimiento", indicador "Ley de mineral" 35

3.2 El nivel "Tecnología" 37

3.2.1 El nivel "Tecnología", campo "Información específica a la minería", indicador "Tipo de minería" 37

3.2.2 El nivel "Tecnología", campo "Información específica al tipo de procesamiento ", indicador "Uso de sustancias auxiliares 38

3.2.3 El nivel "Tecnología", campo "Información específica a la gestión", indicador "Residuos mineros" 39

3.2.4 El nivel "Tecnología", campo "Relativo a la gestión", indicador "Medidas de remediación" 41

3.3 El nivel "Emplazamiento (entorno)" 42

3.3.1 El nivel "Emplazamiento (entorno)", campo "Entorno natural", indicador "Peligro de accidentes causados por desastres naturales" 45

3.3.1.1 Peligro sísmico 46

3.3.1.2 Peligro de deslizamientos 48

3.3.1.3 Peligro de tormentas tropicales 49

3.3.1.4 Peligro de inundaciones 51

3.3.1.5 Norma especial: Peligros para las regiones del Ártico y la Antártida 52

3.3.1.6 Combinación de los sub-indicadores - evaluación de "Peligro de accidentes causados por desastres naturales" 54

3.3.2 Nivel "Emplazamiento (entorno)", campo "Entorno natural", indicador "Índice de estrés hídrico (WSI) y áreas desérticas" 55

3.3.3 Nivel "Entorno", campo "Entorno natural", indicador "Áreas protegidas y sitios AZE" 58

3.3.4 Nivel "Emplazamiento (entorno)", campo "Contexto social", indicador "Potencial de conflictos con la población aledaña" 61

4 Evaluación de la calidad de los datos 64

5 Resultados de la aplicación del métado 65

6 Conclusión y recomendaciones de acción 68

6.1 Clasificación de los resultados de la evaluación y límites de las lecciones posibles 68

6.2 Recomendaciones de aplicación y acción 69

6.3 Propuestas para más investigaciones y mejoras en el futuro 72

7 Referencias bibliográficas 81

Listado de las figuras

Figura 3-1: Ilustración de la clasificación geoquímica de Goldschmidt 17
Figura 3-2: Distribución geoquímica de los elementos y de los principales minerales en los grupos de yacimientos 20
Figura 3-3: La Rueda de los Metales, basada en Reuter.....26
Figura 3-4: Enfoque para determinar la extensión territorial para evaluar el indicador "entorno natural". a: Enfoque simplificado utilizado en OekoRess I y II, b: Enfoque de polígonos utilizado en OekoRess III 43
Figura 3-5: Escala del potencial de peligros según GSHAP 47
Figura 3-6: Distribución del peligro sísmico según la evaluación de OekoRess (amarillo = "medio"; rojo = "alto").....48
Figura 3-7: Distribución del peligro de deslizamientos en base a la evaluación de OekoRess (amarillo = "medio"; rojo = "alto") ...49
Figura 3-8: Distribución del peligro de tormentas tropicales según la evaluación de OekoRess (amarillo = "medio"; rojo = "alto") ...51
Figura 3-9: Distribución del peligro de inundaciones según la evaluación de OekoRess (rojo = "alto") 52
Figura 3-10: La región del Ártico conforme a AMAP con las evaluaciones de OekoRess (amarillo = "medio") 54
Figura 3-11: Combinación de los sub-indicadores "Peligro de accidentes causados por desastres naturales" con la evaluación de OekoRess (amarillo = "medio"; rojo = "alto").....55
Figura 3-12: Relación entre el WSI y WTA* con la fórmula para calcular el WSI.....56
Figura 3-13: Eco-regiones terrestres en tierra firme según el WWF (las regiones desérticas aparecen en rojo) 57
Figura 3-14: Distribución del peligro de competencia por el uso del agua en base a la evaluación de OekoRess (amarillo = "medio"; rojo = "alto") 58
Figura 3-15: Distribución de áreas protegidas designadas y de los sitios AZE según la evaluación de OekoRess (potencial de peligro ambiental amarillo = "medio"; rojo = "alto") 61
Figura 3-16: Clasificación de los conflictos en base a su intensidad 62

Listado de las tablas

Tabla 3- 1: Cuadro [tipo matriz] para evaluar los potenciales impactos ambientales de la minería - evaluación específica del emplazamiento.....13
Tabla 3-2: Dosis límite para la evaluación radiológica de los yacimientos29
Tabla 3- 3: Concentraciones medias de radiactividad de U y Th en yacimientos chinos y conclusión de la correspondiente evaluación.....31
Tabla 3- 4: Clasificación rusa de "Tamaño de yacimiento" 32
Tabla 3- 5: Categorías por ley mineral.....36
Tabla 3- 6: Indicadores seleccionados para el objetivo "Evitar accidentes por causas naturales" 46
Tabla 3- 7: Evaluación del sub-indicador "Peligro sísmico".....47
Tabla 3- 8: Evaluación del sub-indicador "Peligro de deslizamientos" 49
Tabla 3- 9: Evaluación del sub-indicador "Peligro de tormentas tropicales" 50
Tabla 3- 10: Evaluación del sub-indicador "Peligro de inundaciones" 52
Tabla 3- 11: Indicador para la evaluación del "Índice de estrés hídrico y áreas desérticas" 57
Tabla 3- 12: Evaluación del indicador "Áreas protegidas y sitios AZE" 60

Lista de siglas y abreviaturas

AMAP	Programa de Vigilancia y Evaluación del Ártico (por sus siglas en inglés:: *Arctic Monitoring and Assessment Programme*)
AMD	Drenaje ácido de minas (por sus siglas en inglés: *Acid Mine Drainage*)
AZE	Alianza para la Extinción Cero (por sus siglas en inglés*: Alliance for Zero Extinction*)
BREF	Documentos de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (inglés: *Best Available Techniques Reference Document*)
EHP	Potencial de riesgos para el medioambiente (por sus siglas en inglés:: *Environmental hazard potential)*
EIA	Estudio del Impacto Ambiental (por sus siglas en inglés: *Environmetal Impact Assessment*)
EITI	[Iniciativa de Transparencia en la Industria Extractiva] (por sus siglas en inglés: *Extractive Industries Transparency Initiative*l
CLPI	El Consentimiento libre, previo e informado (FPIC por sus siglas en inglés: *Free, Prior and Informed Consent*)
GAR	Informe de Evaluación global de la reducción del riesgo de desastres (por sus siglas en inglés: *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*)
GARD	Guía global para el drenaje ácido de roca (por sus siglas en inglés: *Global Acid Rock Drainage Guide*)
GRI	Iniciativa del Reporte Global (por sus siglas en inglés: *Global Reporting Initiative*)
GSHAP	Programa Mundial de Evaluación de Riesgos Sísmicos (por sus siglas en inglés: *Global Seismic Hazard Assessment Program*l
OIEA (IAEA por sus siglas en inglés:)	Organismo Internacional de Energía Atómica (en inglés: *International Atomic Energy Agency*)
IBA	Área Importante para la Conservación de las Aves (por sus siglas en inglés: *Important Bird Area)*
ICCA	Áreas Conservadas por Pueblos Indígenas y Comunidades Locales (por sus siglas en inglés: *Indigenous and Community Conserved Areas)*
ICME	Consejo Internacional de Metales y Medioambiente (por sus siglas en inglés: *International Council on Metals and the Environment)*
ICMI	Código Internacional para el Manejo del Cianuro para la Fabricación, el Transporte y el Uso del Cianuro en la Producción de Oro) (por sus siglas en inglés: *International Cyanide Management Code For the Manufacture, Transport and Use of Cyanide In the Production of Gold)*
ICMM	Consejo Internacional de Minería y Metales (por sus siglas en inglés: *International Council on Mining and Metals*
CIGB (ICOLD por sus siglas en inglés:)	Comisión Internacional de Grandes Presas CIGB (en inglés: *International Commission on Large Dams*/ICOLD)
INAP	Red Internacional para la Prevención del Ácido (por sus siglas en inglés: *International Network for Acid Prevention)*

AMAP	Programa de Vigilancia y Evaluación del Ártico (por sus siglas en inglés:: *Arctic Monitoring and Assessment Programme*)
IRMA	Iniciativa para Asegurar una Minería Responsable (por sus siglas en inglés: *Initiative for Responsible Mining Assurance*)
UICN (IUCN *por sus siglas en inglés*)	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (en inglés: *International Union for Conservation of Nature)*
THI (por sus siglas en inglés)	Índice de peligrosidad de lo relaves (en inglés: *Tailings Hazard Index*)
TSM	Hacia una Minería Sostenible (por sus siglas en inglés: *Towards Sustainable Mining*, iniciativa de la Asociación Minera de Canadá)
PNUMA (UNEP por sus siglas en inglés:)	Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (en inglés: *United Nations Environmental Program*)
EISDR o EISDR/ONU (UNISDR, por sus siglas en inglés)	Estrategia Internacional para la Reducción del Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas (en inglés: *United Nations International Strategy for Disaster Reduction*)
UBA	Agencia Federal de Medioambiente de Alemania (por sus siglas en alemán: *Umweltbundesamt*)
VF	Coeficiente de variación (por sus siglas en inglés: *Variation factor*)
USGS	Servicio Geológico de Estados Unidos (por sus siglas en inglés: *U.S. Geological Survey*)
WDPA	Base de Datos Mundial sobre Áreas Protegidas (por sus siglas en inglés: *World Database on Protected Areas*)
WGI	Indicador de gobernanza global (por sus siglas en inglés: World Governance Indicator)
WSI	Indicador de estrés hídrico (por sus siglas en inglés: *Water Stress Index)*
WTA	Captación de Acuerdo a Disponibilidad (por sus siglas en inglés: *Withdrawal to Availability*)

1 Introducción

Este informe presenta la nueva edición de la publicación "Evaluación del potencial de peligros ambientales relacionados a la extracción primaria de materias primas abióticas - Un método en función del emplazamiento" y forma parte del proyecto OekoRess III[1]. Fue elaborado por el Oeko-Institut e.V. (Instituto de Ecología Aplicada), el ifeu-Institut für Energie-und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (Instituto de Investigación Energética y Medioambiental) y Projekt-Consult GmbH por encargo de la Agencia Federal de Medioambiente de Alemania [UBA, por sus siglas en alemán]. Actualiza el método de evaluación en función del emplazamiento, elaborado en el proyecto previo OekoRess I y puede emplearse para evaluar y comparar los riesgos ambientales potenciales para emplazamientos(o sitios) mineros.

A continuación citamos los informes que se recopilaron y publicaron en el marco de los proyectos de OekoRess:[2]

- "OekoRess Phase I Concept Volume - Discussion of the environmental limits of primary raw material extraction and development of a method for assessing the environmental availability of raw materials to further develop the criticality concept" [Discusión de los límites ambientales para la extracción primaria de materias primas y elaboración de un método para la evaluación de la disponibilidad ambiental de las materias primas para desarrollar un concepto de criticidad - Volumen conceptual de la fase I de OekoRess].
- "Evaluation of the Environmental Hazard Potentials Involved in the Extraction of Abiotic Primary Raw Materials – A Method for a Raw Material-Related Approach" [Evaluación del potencial de peligros ambientales en la extracción primaria de materias primas abióticas — Un método en función de las materias primas].[3]
- "Mining Residues" *(*Residuos mineros); este documento no es de la Agencia Federal de Medioambiente de Alemania (UBA, por sus siglas en inglés), sino una publicación del equipo del proyecto del informe preliminar durante la fase I de OekoRess[4].
- "Evaluation of the Environmental Hazard Potentials Involved in The Extraction of Abiotic Primary Raw Materials – A Method for a Site-Related Approach" [Evaluación de potenciales peligros medio ambientales en la extracción primaria de materias primas abióticas — Un método en función del emplazamiento, Edición 1] (Estado: 29 de junio de 2017)][5].
- "Further Development of Policy Options for an Ecological Raw Materials Policy —Summary', in the Oekoress II Project" [Optimización de opciones para una política ecológica de materias primas— Resumen], del proyecto OekoRess II[6].

[1] Título completo: "Discussion of the environmental limits of primary raw material extraction and development of a method for assessing the environmental availability of raw materials to further develop the criticality concept" (Discusión de los límites ambientales de la extracción de materias primas primarias y desarrollo de un método para evaluación de la disponibilidad ambiental de las materias primas para seguir desarrollando el concepto de criticidad), FKZ 3713 93 302

[2] Los títulos figuran en el idioma de publicación para facilitar su localización en caso sea interesante, y se traducen al castellano para este informe (nota de la traductora).

[3] Fuente para los tres documentos de ÖkoRess I: https://www.umweltbundesamt.de/umweltfragen-oekoress

[4] Fuente: https://www.umweltbundesamt.de/dokument/oekoress-teilbericht-bergbauliche-reststoffe-dr

[5] Fuente: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-17_texte_87-2020_oekoress1_site-related-evaluation.pdf

[6] Fuente: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-17_texte_79-2020_oekoressii_kurz_.pdf

- "Environmental Criticality of Raw Materials — An Assessment of Environmental Hazard Potentials of Raw Materials from Mining and Recommendations for an Ecological Raw Materials Policy" [Criticidad ambiental de materias primas —Evaluación de peligros ambientales potenciales de materias primas procedentes de la minería y recomendaciones para una política ecológica de materias primas, informe del proyecto OekoRess II .[7]
- "Comparative Analysis of Case Studies for Mining Sites Worldwide Oekoress II — Working Report on Environmental Hazards and Impacts, Governance Challenges and Indicators" [Análisis comparativo de estudios de casos de emplazamientos mineros a nivel mundial OekoRess II —Informe de trabajo sobre los impactos y riesgos ambientales, retos para la gobernanza e indicadores][8].

Esta segunda edición del "Método en función del emplazamiento para evaluar y comparar el potencial de peligros ambientales de emplazamientos mineros" incluye varias actualizaciones y especificaciones en base a la primera edición de 2017. El cambio más significativo es la eliminación del indicador "Potencial de conflictos con la población aledaña", debido a que los datos subyacentes no reflejan el potencial de los conflictos a nivel de emplazamientos mineros individuales, sino a conflictos de mayor escala. La actualización de las bases de datos y de la metodología de los indicadores a nivel del "entorno del emplazamiento" resulta ser menos importante. Además, la herramienta de evaluación del indicador "Ley de mineral" se volvió a ampliar, para incluir los elementos hierro, estaño, manganeso y aluminio así como los metales del grupo del platino (MGP).

El Método de evaluación en función del emplazamiento fue descrito en 40 estudios de casos en el proyecto OekoRess I y se aplicó también a 100 emplazamientos mineros en el proyecto OekoRess III.

Los principales estudios de casos del citado proyecto OekoRess I, basados en el método en función del emplazamiento descrito en la primera edición (2017) se encuentran en el sitio web de la UBA [Agencia Federal de Medioambiente de Alemania, por sus siglas en alemán]. Además, el procedimiento de selección, descripción y evaluación de los estudios de casos se describe en el volumen conceptual de OekoRess I. Los resultados de las 100 evaluaciones de minas del proyecto OekoRess III se basan en la 2ª edición de las "instrucciones de medición", tal como se describen en este informe y pueden visualizarse en el mapa interactivo que se encuentra en el sitio web de la UBA, con excepción de los resultados del indicador "Tamaño del yacimiento" debido a que la nueva base de datos se elaboró después en el proyecto.

[7] Fuente:https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/environmental-criticality-of-raw-materials

[8] Fuente: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/comparative-analysis-of-case-studies-for-mining

2 Contexto

La extracción primaria de materias primas abióticas, como minerales de mena, carbón, minerales industriales y materiales de construcción, siempre implica una intervención en el medio natural y, en muchos casos, conlleva importantes impactos ambientales. Dependiendo del tipo de minería, éstas causan una alteración del entorno natural a gran escala, pérdida de ecosistemas, alteraciones del balance hídrico y la contaminación de suelo, aire y agua.

Los impactos de las actividades mineras dependen en gran medida de las condiciones iniciales existentes en relación a las condiciones geológicas del área, la tecnología utilizada y las condiciones del entorno natural y social en el respectivo emplazamiento.

La metodología que presentamos a continuación fue concebida para ayudar a evaluar "a grandes rasgos" los aspectos más importantes, incluso cuando sea imposible realizar los estudios pertinentes en el sitio.

3 Método para la evaluación del potencial de peligros ambientales en función del emplazamiento

Por lo general, la evaluación de los impactos ambientales potenciales o existentes del sector minero requiere el uso de métodos exhaustivos y análisis detallados, incluyendo la consideración de datos de las condiciones geológicas, hidrológicas y climáticas locales, la evaluación de la sensibilidad del emplazamiento con respecto a su entorno natural, y de las medidas preventivas y correctivas, tanto las adoptadas como las planificadas.

Una evaluación bien fundamentada de los impactos ambientales de un proyecto minero existente o propuesto requiere largos y costosos estudios de impacto ambiental. Debido a que las decisiones de planificación y financiamiento deben tomarse antes de las mencionadas evaluaciones, se considera apropiado diseñar una matriz de evaluación que ahorre tiempo sin dejar de proporcionar puntos referenciales fiables y relevantes respecto a los peligros ambientales potenciales. Esta evaluación inicial no puede sustituir a una evaluación de impacto ambiental más exhaustiva, pero puede —sobre todo en la fase previa a un proyecto—ser usada para identificar posibles y probables puntos conflictivos para poder adoptar las medidas preventivas en una fase temprana.

La matriz de evaluación que presentamos en la siguiente tabla se elaboró en el marco del proyecto OekoRess I (Dehoust et al. 2017) y puede utilizarse para este tipo de evaluaciones. La matriz de evaluación se basa esencialmente en indicadores (valorados mediante un sencillo sistema de semáforo): cada indicador se asigna a un objetivo ambiental (p.ej. evitar peligro de contaminación) y a un nivel de consideración. El propósito de usar la doble asignación de objetivos y nivel de consideración, es asegurar el manejo sencillo de este método. Particularmente, el nivel de consideración pretende facilitar el modo en que se recopilan los datos, avanzando de lo general a lo específico (geología - tecnología - emplazamiento).

Además de la evaluación de los proyectos mineros individuales, esta matriz también se puede usar para evaluar el potencial de los peligros ambientales de materias primas en general y, por tanto, si procede, de su limitada disponibilidad.

Por un lado, algunos de los indicadores citados pueden obtenerse a partir de consideraciones específicas de la materia prima (p.ej. la paragénesis típica con metales pesados o sustancias radiactivas); por otro lado, los típicos puntos conflictivos en general pueden extrapolarse evaluando las regiones extractivas más importantes de una materia prima en términos de cantidad.

La matriz de evaluación que proponemos aquí tiene su origen en la experiencia adquirida durante la investigación de 40 estudios de casos en el marco de OekoRess I, en combinación con la experiencia en evaluaciones de los autores. La presente versión revisada se basa principalmente en la experiencia adquirida con la evaluación de 100 emplazamientos mineros en el marco de OekoRess III, en combinación con la evaluación realizada por expertos y el diálogo con los actores interesados pertinentes.

Para la puesta en práctica de la matriz de evaluación, se elaboró un sistema de "instrucciones para la medición" para cada indicador, que presentamos en este informe.

Nombre nuevo del indicador	**Nombre anterior del indicador**	**Justificación**
Ley mineral	Ley mineral específica	"Ley mineral específica" [*specific ore grade*] no es un término generalmente aceptado y por eso fue modificado. Principalmente, se utiliza la información disponible sobre la ley mineral acreditada del yacimiento (véase la sección 3.1.3 de la Guía de medición en el Anexo D).
Tipo de minería	Método de explotación minera	El sistema de evaluación distingue tres tipos básicos de minería, pero no toma en cuenta la gran variedad de métodos de explotación. Por lo tanto, el nuevo término es más preciso.
Uso de sustancias auxiliares	Método de extracción y procesamiento mineral	Se especificó el nombre del indicador: para la extracción y procesamiento mineral, la diferenciación considera únicamente el uso de excipientes o auxiliares tóxicos. No se consideran otras diferencias.
Residuos mineros	Gestión de los residuos mineros	El sistema de evaluación valora el tamaño y la naturaleza de los depósitos de residuos mineros, relaves, etc. existentes, sin incluir la gestión de los residuos mineros.

Tabla 3- 1: Cuadro [tipo matriz] para evaluar los potenciales impactos ambientales de la minería - evaluación específica del emplazamiento

	Campo	Objetivo	Indicador	Evaluación del potencial de peligros ambientales		
				Bajo	Medio	Alto
Geología	Relativo a la materia prima	Evitar riesgos de contaminación	Requisitos para el drenaje ácido de minas (AMD, por sus siglas en inglés)	No existen condiciones para generar el AMD	Existen algunas condiciones para generar el AMD	Existen condiciones para generar AMD
			Paragénesis con metales pesados	El yacimiento no presenta concentraciones altas de metales pesados	El yacimiento presenta concentraciones de metales pesados ligeramente elevadas	El yacimiento presenta concentraciones muy altas de metales pesados
			Paragénesis con componentes radioactivos	El yacimiento presenta bajas concentraciones de de uranio y/o torio	El yacimiento presenta una concentración ligeramente elevadade uranio y/o torio	El yacimiento presenta una concentración alta de uranio y/o torio
	Información específica al yacimiento	Reducir los impactos directos en los ecosistemas	Tamaño del yacimiento	Pequeño	Medio	Grande
		Reducir el esfuerzo de extracción y procesamiento	Ley de mineral	Alta	Media	Baja
Tecnología	Información específica a la minería	Reducir los impactos directos en los ecosistemas	Tipo de mina	Mina subterránea	Minería de roca sólida a cielo abierto	Minería aluvial o de sedimentos no consolidados
	Información específica al tipo de procesamiento	Evitar peligro de contaminación	Uso de sustancias auxiliares	Sin sustancias auxiliares	Con sustancias auxiliares	Con reactivos tóxicos
	Información específica a la gestión	Minimizar los riesgos derivados de residuos mineros	Residuos mineros	Almacenamiento/descarga segura de los relaves y otros residuos en el yacimiento	Depósitos de residuos minero estables y lagunas de relaves pequeños, comercialización de material de residuos	Almacenamiento peligroso, depósitos de residuos mineros y lagunas de relaves inestables, lagunas de relaves existentes, vertido de relaves en cuerpos de agua naturales, no existe un sistema de gestión de residuos

	Campo	Objetivo	Indicador	Evaluación del potencial de peligros ambientales		
				Bajo	Medio	Alto
		Minimizar la duración de los impactos de la intervención	Medidas de remediación	Rehabilitación paralelamente a la operación minera	Provisiones financieras para la rehabilitación	Ausencia de provisiones
Emplazamiento (configuración natural y social)	Entorno natural	Evitar accidentes por causas naturales	Peligro de accidentes causados por desastres naturales (inundaciones, terremotos, tormentas, derrumbes)	Todos los sub-indicadores muestran un peligro de accidente bajo (verde)	Al menos un sub-indicador muestra un peligro de accidente medio (amarillo), ningún indicador de riesgo alto*	Al menos un sub-indicador muestra un peligro de accidente alto (rojo)
		Evitar la competencia por el uso del agua	Índice de Estrés hídrico [WSI, por sus siglas en inglés] y zonas desérticas	Estrés hídrico bajo	Estrés hídrico moderado	Estrés hídrico [WSI] grave o zonas desérticas
		Proteger/conservar los ecosistemas importantes	Áreas protegidas y sitios AZE [Alianza para la Extinción cero]	Sin relación con áreas protegidas o sitios AZE	Sitio AZE o área protegida (p.ej. IUCN Cat. V-VI, reserva natural nacional)	Zona de alta protección (por ejemplo, Patrimonio Mundial de la Humanidad, UICN Cat. I-IV)
	Contexto social	Evitar los conflictos relacionados con el medioambiente por el uso de los recursos	El indicador previo "Potencial de conflicto con la población aledaña" (2 indicadores de Gobernanza mundial) fue retirado y será sustituido por un indicador específico del emplazamiento, aún no disponible			

*Para el Ártico, el peligro de accidentes causados por desastres naturales suele calificarse de forma conservadora como amarillo (potencial medio) porque no hay mapas de peligros para la región.
Verde = EHP (por sus siglas en inglés: Potencial de peligros ambientales) "bajo"; amarillo = EHP "medio"; rojo = EHP "alto".

3.1 El nivel "Geología"

3.1.1 El nivel "Geología", campo "Relativo a la materia prima", indicadores de riesgos de contaminación derivados de la composición geoquímica del yacimiento geológico

La composición geoquímica de los yacimientos es un factor decisivo que influye en los riesgos de contaminación relacionados a la minería. Particularmente en lo que respecta a los minerales, los riesgos de contaminación pueden desglosarse esencialmente de la siguiente manera:

- condiciones previas para el drenaje ácido de minas [AMD, por sus siglas en inglés],
- paragénesis con metales pesados y arsénico,
- paragénesis con compuestos radiactivos.

Además, existen riesgos de contaminación derivados de las sustancias auxiliares utilizadas en el procesamiento mineral. Estos se tratan en el apartado 3.2.

Aunque las medidas de gestión específicas pueden reducir en gran escala la emisión de contaminantes al medioambiente, por lo general, la eficacia de las distintas combinaciones de medidas solo puede estimarse mediante minuciosos y costosos estudios en sitio, por lo que es inevitable excluir esta dimensión de la evaluación inicial de los riesgos ambientales que se presenta aquí.

3.1.1.1 Indicador: Condiciones previas para el drenaje ácido de minas (AMD)

Objetivo de la medición: Evitar riesgos de contaminación

Evaluación

Bajo (verde):

No existen condiciones previas para el drenaje ácido (la materia prima y los minerales asociados son químicamente inertes; los yacimientos se caracterizan por paragénesis con óxidos, carbonatos o silicatos; no se encuentran minerales sulfurosos, las materias primas son litófilas).

Medio (amarillo):

Existen algunas condiciones previas geoquímicas para el drenaje ácido (las materias primas son siderófilas, en forma pura o mineralizadas como óxidos).

Alto (rojo):

Existen condiciones geoquímicas para el drenaje ácido (la materia prima está presente en forma de sulfuros o en depósitos de minerales sulfurosos y no hay resultados analíticos que permitan una evaluación diferente[9]).

El drenaje ácido de minas se considera uno de los problemas ambientales más graves de la minería. El término se refiere a la formación de lixiviados ácidos, cuya liberación provoca, en la mayoría de los casos, graves consecuencias ambientales para las aguas subterráneas y

[9] Existen métodos de medición como la "contabilidad ácido-base", [ABA o *Acid Base Accounting*] y el "potencial neutralizador neto", o análisis NNP [*Net Neutralizing Potential*], para medir el potencial de formación de ácido. El método OekoRess (aún) no ha establecido valores límite para dichos métodos de medición.

superficiales de la respectiva zona de drenaje. La formación de lixiviados ácidos depende de varios factores, como la granulometría y la distribución de las partículas de los relaves, el recubrimiento, la humedad y el régimen de temperaturas (Akcil, Koldas 2006). Sin embargo, un factor clave es la composición química de los relaves y el recubrimiento. En general, un requisito previo para el AMD es la presencia de minerales sulfurosos.

Si estos minerales se exponen a la humedad y al oxígeno (atmosférico), se produce una cadena de reacciones químicas —oxidación e hidrólisis—, que provocan la formación de lixiviados ácidos, que pueden, a su vez, disolver los metales pesados de la roca, agravando mucho más el problema ambiental (Udayabhanu, Prasad 2010). En cualquier caso, aun si la magnitud del problema ambiental originado por el AMD depende en gran medida de las circunstancias concretas en la zona minera y de las contramedidas que se apliquen, la composición geoquímica puede dar información inicial sobre los peligros potenciales.

La tendencia a la autoxidación de los minerales y los residuos mineros puede derivarse de las condiciones de formación más comunes de los minerales de mena para los metales o elementos valiosos extraídos y sus minerales asociados. Las condiciones de formación geoquímica difieren según el tipo de elementos; de acuerdo a la clasificación de Goldschmidt; éstos se caracterizan como siderófilos (amantes del hierro), litófilos (amantes de los silicatos) o calcófilos (amantes del azufre) (véase la

3F[10]). Esta clasificación, que proporciona una orientación inicial, se basa en la acumulación típica de los elementos en la geosfera: donde los elementos siderófilos se acumularon predominantemente en el núcleo de hierro del planeta, mientras que los elementos litófilos es más probable que aparezcan en concentraciones elevadas en la corteza terrestre.

Estos últimos se caracterizan por los fuertes enlaces energéticos con óxidos, que impiden que un elemento se presente de forma natural en su estado puro o que se disocie fácilmente (White 2013). Los elementos calcófilos, en cambio, son más propensos a presentarse en condiciones sulfurosas. A partir de esta clasificación, es posible, a su vez, deducir las condiciones previas específicas de las materias primas para que ocurra el drenaje ácido de minas:

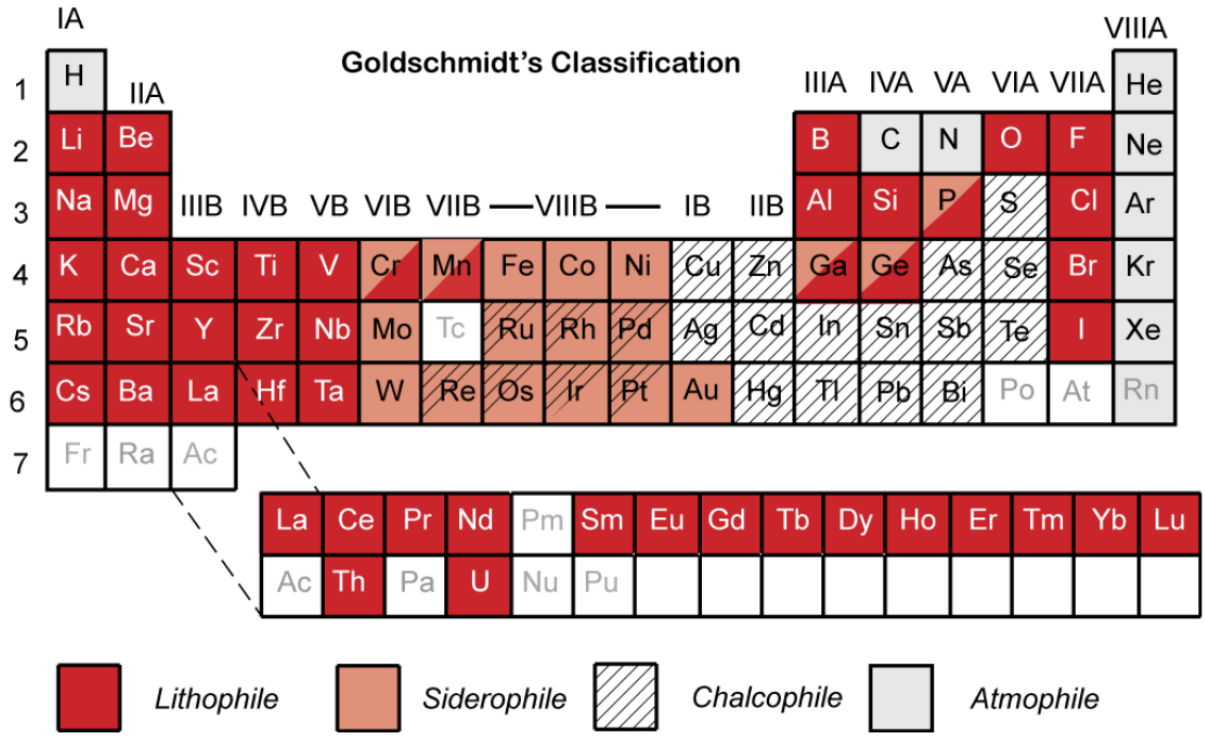
- los elementos litófilos se extraen generalmente de yacimientos oxídicos;
- los elementos calcófilos se extraen generalmente de yacimientos sulfurosos;
- los elementos siderófilos suelen estar presentes en forma sulfurosa, pero también se extraen de yacimientos oxídicos. Esto aplica, sobre todo, a los yacimientos que estuvieron expuestos a la meteorización atmosférica durante períodos muy prolongados.

Especialmente desde el punto de vista de la geología económica, para clasificar o evaluar los yacimientos, es necesario considerar las condiciones paragenéticas de las menas en yacimientos económicamente viables. En el caso de los elementos siderófilos, esto puede frecuentemente llevar a su clasificación en el grupo compuesto por los elementos litófilos. Sobre este punto, véase

10 Los elementos atmófilos (amantes de gas), que también aparecen en esta figura no son relevantes en este contexto.

Figura 3-2 y el texto que le sigue.

Figura 3-1: Ilustración de la clasificación geoquímica de Goldschmidt



Fuente: White (2013)

Con respecto a la geología de los yacimientos, estas propiedades específicas de los elementos se transfieren a los minerales de mena y a la paragénesis mineral como lo ilustra la

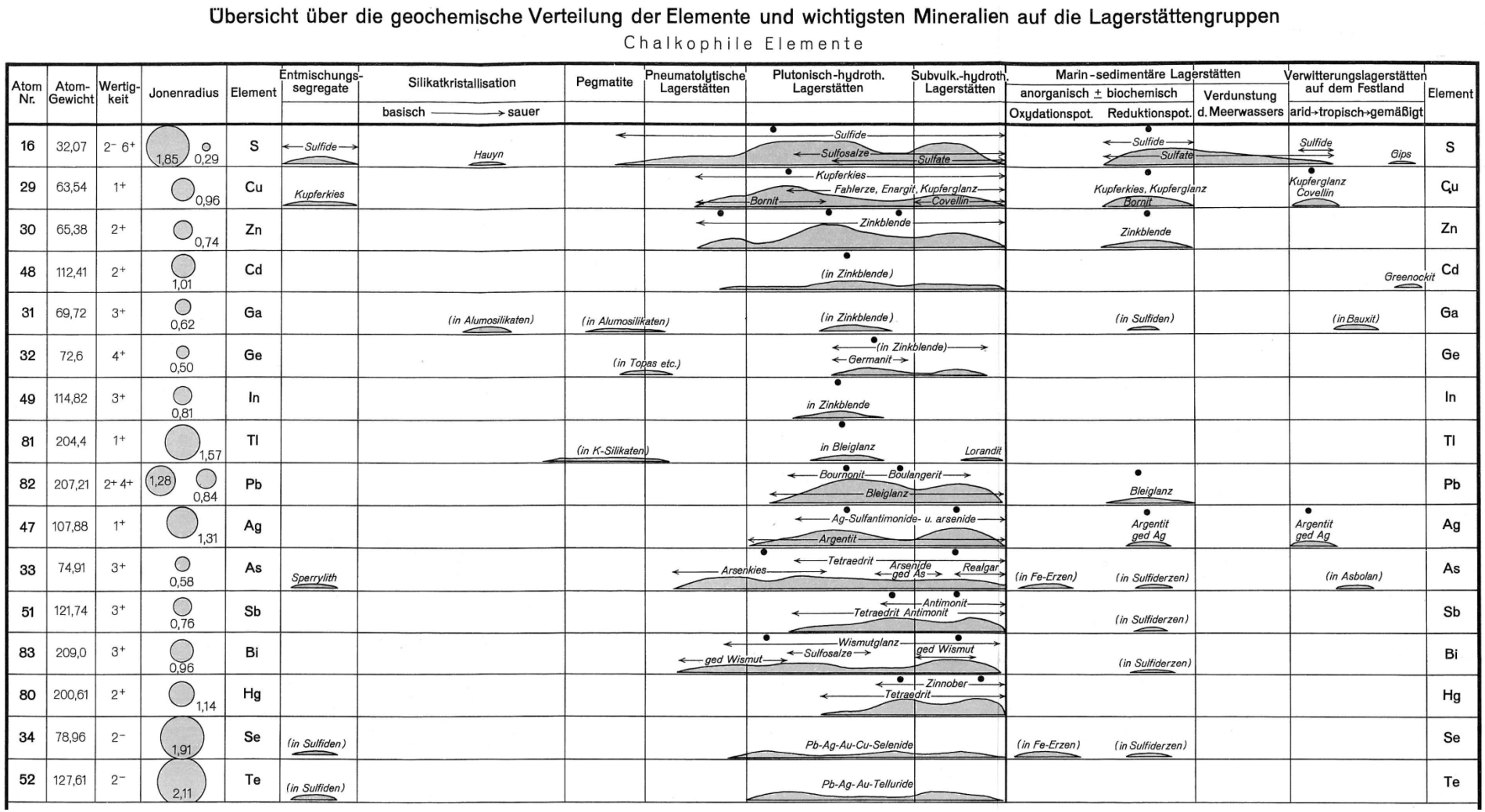
Figura 3-2 para las diferentes condiciones geológicas de formación de rocas conforme a Cissarz (1965).

En la

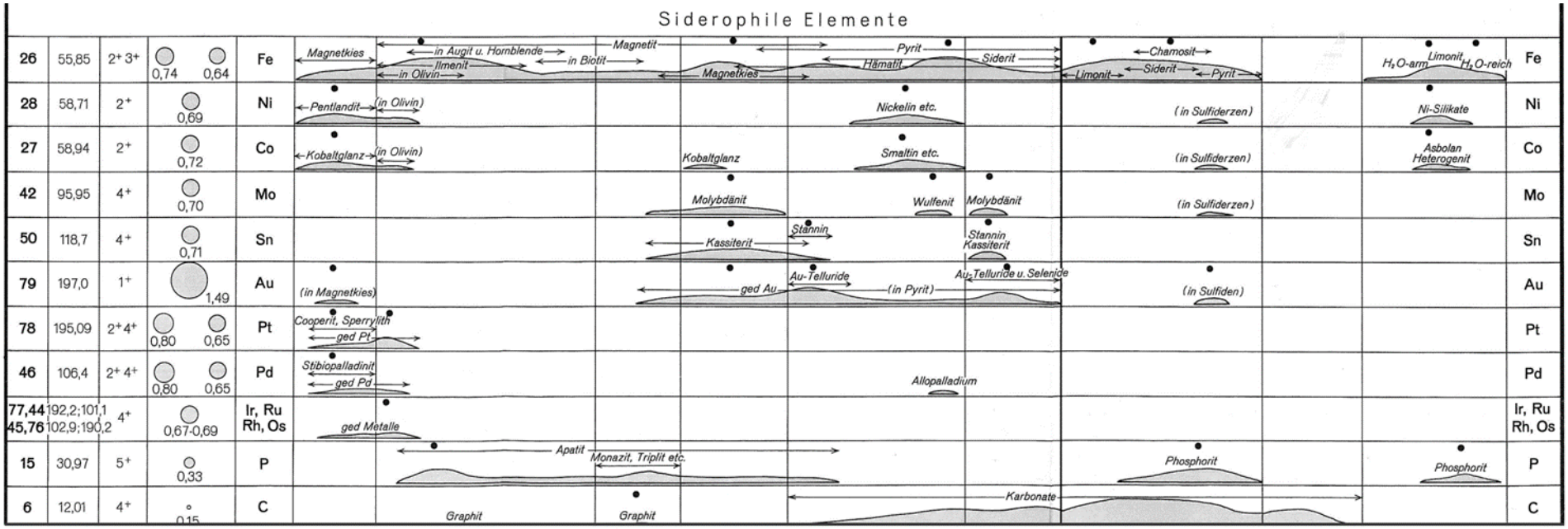
Figura 3-2, los minerales económicamente relevantes se destacan con un punto negro. Para los respectivos minerales de mena, la misma columna de esta figura enumera los minerales de las paragénesis asociadas[11] que también pueden provocar la formación de drenaje ácido, especialmente si se trata de minerales sulfurosos.

[11]Por ejemplo: el níquel del mineral de mena pentlandita de los depósitos sedimentarios aparece asociado con la calcopirita (también en la columna de los minerales segregados), la esperrilita, los sulfuros de selenio y teluro, la pirrotita, la cobaltita, así como el oro y los metales del grupo platino.

Figura 3-2: Distribución geoquímica de los elementos y de los principales minerales en los grupos de yacimientos



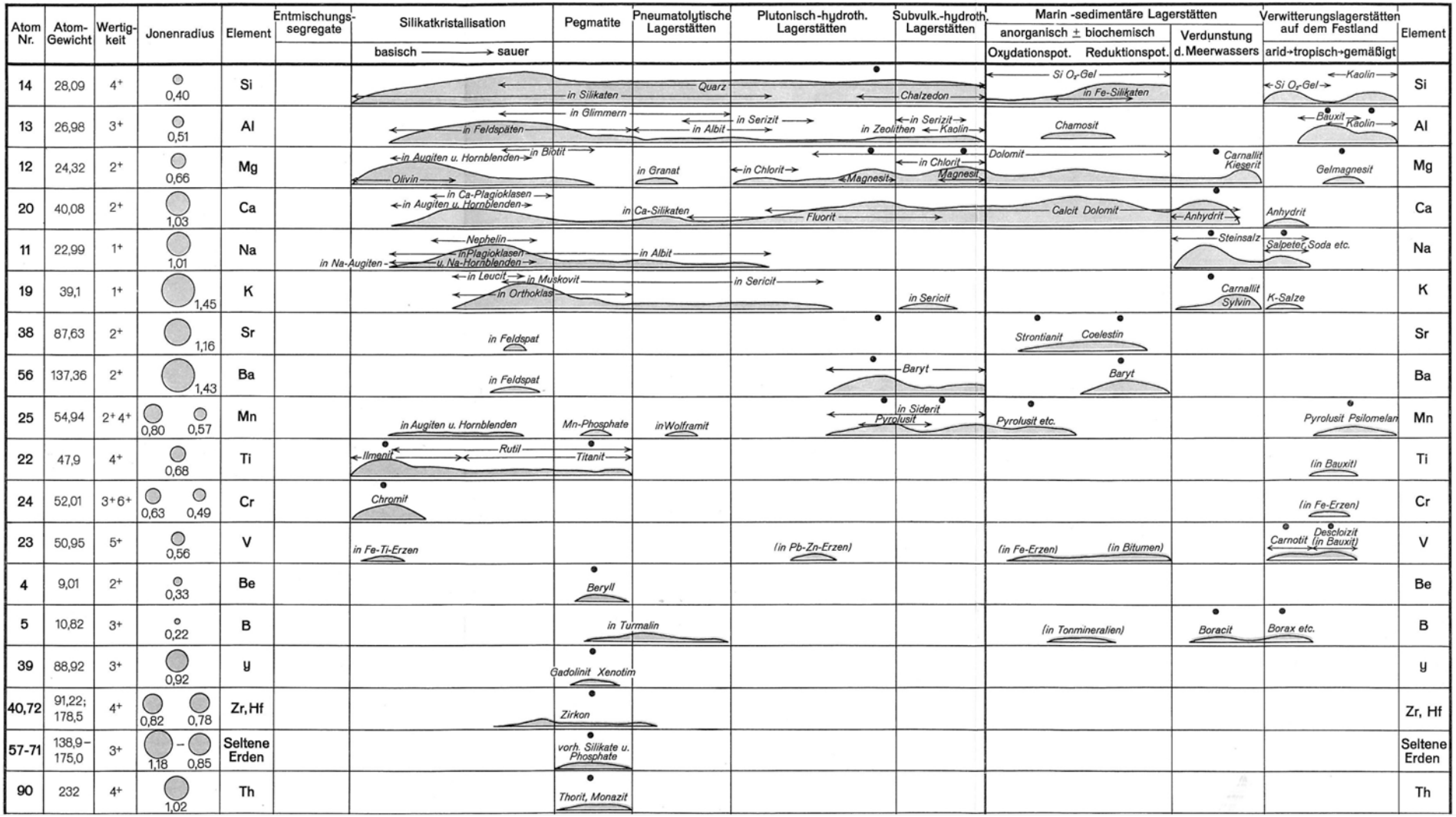
Fuente: Cissarz 1965

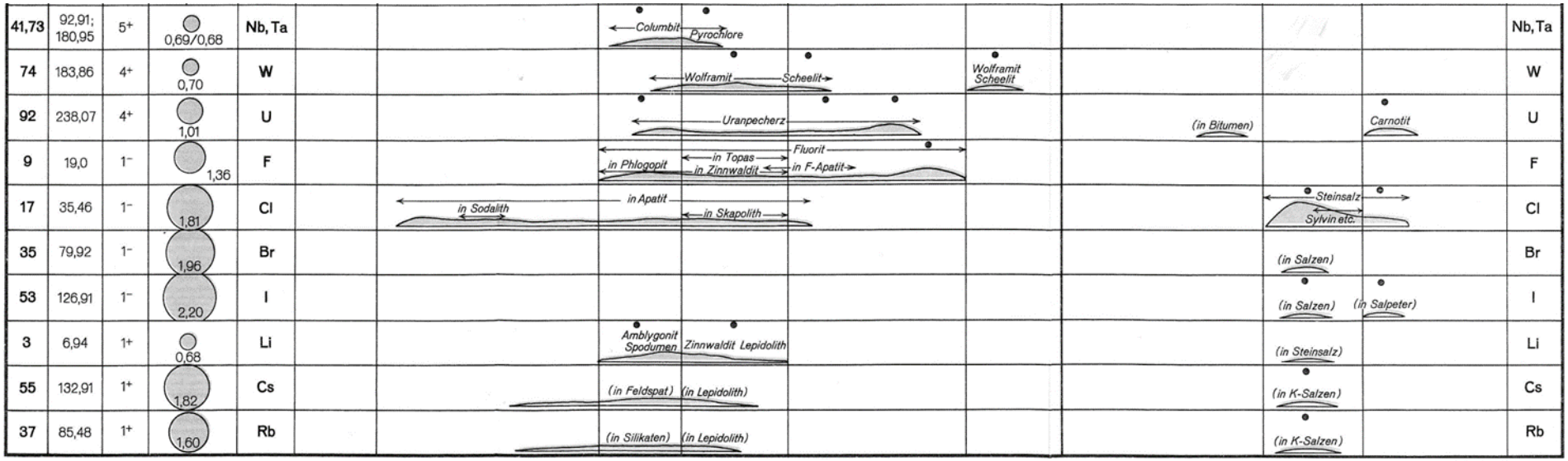


Fuente: Cissarz 1965

Übersicht über die geochemische Verteilung der Elemente und wichtigsten Mineralien auf die Lagerstättengruppen

Lithophile Elemente





Fuente: Cissarz 1965

Se presentan las siguientes recomendaciones para las evaluaciones en la que no se cuente con la composición mineralógica exacta del yacimiento y no se disponga de resultados analíticos específicos de la zona minera (véase la footnote **Fehler! Textmarke nicht definiert.**nota a pie de página 9):

- los elementos litófilos muestran constantemente un bajo potencial de riesgo ambiental en términos del AMD (verde). Esto aplica a las siguientes materias primas: bauxita/aluminio, magnesita/magnesio, arena de sílice/silicio, piedra caliza/calcio, carbonato de potasio/potasio, manganeso, titanio, cromo, vanadio, barita, berilio, boratos/boro, circonio, hafnio, tierras raras, niobio, tántalo, tungsteno[12] y litio.
- Los elementos calcófilos muestran constantemente un alto potencial de riesgo en términos de AMD (rojo). Esto aplica a las siguientes materias primas: azufre, cobre, zinc, cadmio, germanio[13], indio, teluro, plomo, plata, antimonio y bismuto.
- El galio es una excepción: dependiendo de la fuente se clasifica como elemento siderófilo, calcófilo o litófilo, pero no se encuentra en concentraciones económicamente extraíbles en yacimientos relevantes. Dado que generalmente el galio se obtiene como subproducto de la bauxita, el potencial peligro de AMD de galio debe clasificarse como bajo (verde), igual que el de aluminio/bauxita (litófilo).
- Los elementos siderófilos como el hierro, níquel, cobalto, molibdeno, estaño, oro, los metales del grupo del platino, renio y fósforo son más ambiguos. La mayoría de las materias primas se encuentran en minerales oxídicos, aunque concretamente el "paquete" global en (incluyendo los minerales asociados) a menudo también puede contener sulfuros. En estos casos, se recomienda una evaluación "media", aunque hay que tener en cuenta las siguientes excepciones que dependen de la evaluación del yacimiento:
    - Los yacimientos de plácer (que pueden ser especialmente relevantes en la extracción de oro, metales del grupo del platino y estaño) son generalmente de óxidos y demuestran un bajo riesgo de AMD (verde).
    - El molibdeno suele ser un subproducto de la extracción de cobre. En estos casos, se puede asumir un alto riesgo de AMD (rojo).
    - Del mismo modo, el oro se extrae en parte (también) de los yacimientos de cobre. Estos depósitos demuestran igualmente un alto riesgo de AMD (rojo).
    - Los minerales de níquel y cobalto están presentes, en la mayoría de los casos, en forma de minerales sulfurosos de hierro-níquel-cobalto (p. ej., la pirrotita de níquel). Por lo tanto, en la mayoría de los casos, los yacimientos de níquel y cobalto deben ser evaluados como de alto riesgo de AMD (rojo).
- En los yacimientos minerales con alto contenido de carbonatos, un efecto *buffer* podría conducir a un menor potencial de AMD. Tal efecto no puede ser generalizado, por lo que a esta altura no se puede desarrollar alguna regla para determinar el peligro potencial de contaminación ambiental (EPH, por sus siglas en inglés).

[12] Aunque el tungsteno aparece en como elemento siderófilo, de la Figura 3-2 se desprende que los yacimientos explotables suelen ser litófilos.

[13] Dado que la extracción industrial del germanio se produce como subproducto de minerales complejos de sulfuro de cobre y zinc, el germanio se clasifica como calcófilo (véase la Figura 3-2).

3.1.1.2 Indicador: Paragénesis con metales pesados

Objetivo de la medición: Evitar riesgos de contaminación

Evaluación

Bajo (verde):

El yacimiento no presenta concentraciones altas de metales pesados.

Medio (amarillo):

El yacimiento presenta concentraciones ligeramente altas de metales pesados.

Alto (rojo):

El yacimiento presenta concentraciones muy altas de metales pesados.

Los metales pesados suelen ser un problema en la explotación minera y procesamiento de minerales (la extracción de materias primas metálicas primarias). Además, también se conocen paragénesis típicas con metales pesados en el caso de los fosfatos sedimentarios (uranio, cadmio) (Mar, Okazaki 2012). Otras materias primas abióticas (materiales de construcción, minerales industriales) suelen ser considerablemente menos críticas en cuanto a una posible contaminación con metales pesados. Por su tendencia a la autoxidación, la solubilidad de los metales pesados en los residuos mineros se incrementa aun más.

Las composiciones características se muestran en la llamada "Rueda de metales de Reuter" (véase la Figura 3-3). La clasificación remonta a los trabajos del profesor Markus Reuter de la Universidad de Melbourne. La ilustración muestra la paragénesis típica de los minerales y su tipo en términos de minerales sulfurosos y óxidos. La forma circular o de cuenco también muestra qué metales suelen ser los componentes principales de las menas y cuáles se extraen como subproductos o cuáles son los componentes que no tienen utilidad.

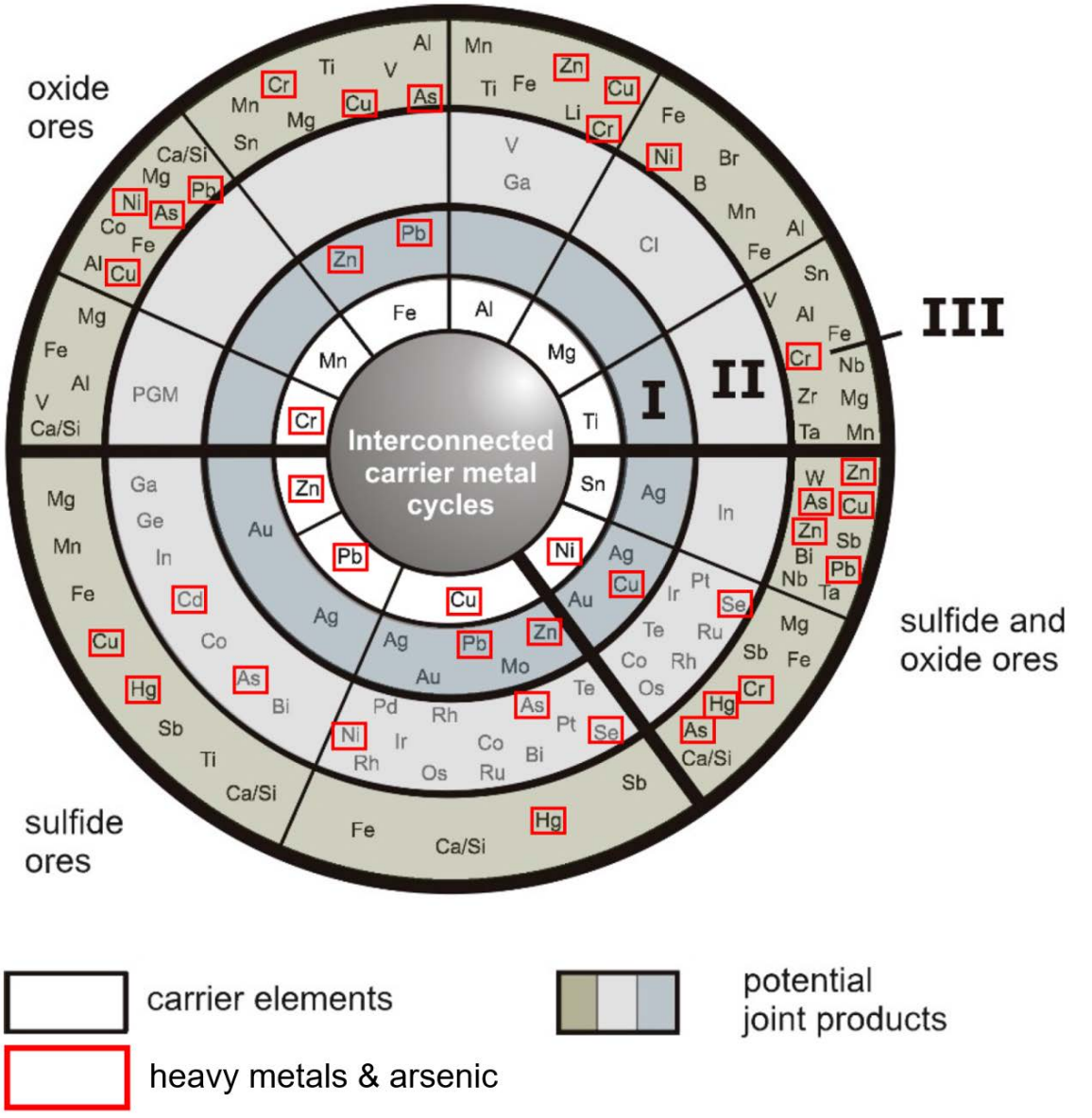
Las paragénesis están estrechamente relacionadas con las propiedades inherentes de los elementos valiosos, tal y como se ha comentado en el apartado 3.1.1.1. En concreto, están conectadas predominantemente a los óxidos o a condiciones de formación sulfurosa, con su respectivo elemento o minerales asociados representados en esta rueda. Aquí, con una distancia creciente desde el centro, se enumeran sistemáticamente primero el metal principal, luego los metales secundarios, los elementos o minerales traza y, por último, los elementos asociados económicamente irrelevantes. Sin embargo, para la consideración de los minerales como una eventual fuente de metales pesados, es irrelevante que el material tenga importancia económica o no. En este contexto, se describe como metales pesados a aquellas sustancias que se caracterizan por su toxicidad para animales y para los procesos aeróbicos y anaeróbicos (Duffus 2001):

- As[14]
- Cd
- Cr
- Pb

[14] Aquí también se considera el arsénico, pese a que, al tratarse de un metaloide, no se pueda clasificar definitivamente como un metal pesado.

- Hg
- Cu
- Ni
- Se
- Zn

Figura 3-3: La Rueda de los Metales, basada en Reuter



Modificada de acuerdo a Wellmer, Hagelüken 2015

Para la evaluación comparativa de este indicador, el conocimiento de la composición mineralógica de las menas y sus minerales asociados así como de los elementos traza es un factor clave. Si estos parámetros se desconocen, ayudarán las siguientes instrucciones.

Se recomienda evaluar la extracción de materias primas abióticas no metálicas con un bajo potencial de peligro (verde) por metales pesados —a menos que exista evidencia de problemas con metales pesados y/o arsénico.

La extracción de materias primas metálicas, como se aprecia en la Figura 3-3, suele estar asociada a un cierto nivel de problemas con respecto a metales pesados y/o arsénico. En este caso, se recomienda una evaluación general de potencial de peligro ambiental "medio" (amarillo). La minería para la extracción selectiva de metales pesados —como el plomo, el mercurio, el cadmio, el cromo, el cobre, el uranio y el níquel— debe evaluarse como potencial de peligro ambiental "alto" (rojo). Esto incluye también la extracción de menas de zinc, ya que éstas están casi siempre asociadas paragenéticamente con menas de plomo.

3.1.1.3 Indicador: Paragénesis con materiales radiactivos

Las materias primas y/o los residuos mineros presentan a menudo concentraciones de uranio y/o torio[15], que hacen que los residuos mineros deban clasificarse también como radiológicamente problemáticos. Esto se aplica principalmente a los minerales y depósitos de las siguientes materias primas: uranio, torio, tierras raras, tántalo, niobio, circonio y fosfato sedimentario. Sin embargo, la experiencia en Alemania y datos de China demuestran que también pueden darse concentraciones elevadas en muchas otras materias primas y adicionalmente como una característica de determinados yacimientos.

Objetivo que se debe evaluar: Evitar los riesgos de contaminación

Evaluación

Bajo (verde):

El yacimiento presenta bajas concentraciones de uranio y/o torio.

Medio (amarillo):

El yacimiento presenta una concentración ligeramente elevada de uranio y/o torio.

Alto (rojo):

El yacimiento tiene una alta concentración de uranio y/o torio.

Frecuentemente, las sustancias radiactivas presentes en los yacimientos y los relaves constituyen un problema clave respecto al medioambiente, la salud y la seguridad en la extracción y el procesamiento de materias primas. En general, la vía de exposición a "radiaciones ionizantes" en el contexto de la minería se debe exclusivamente a los contenidos naturales de uranio y torio, que generalmente entran en los relaves durante el procesamiento[16] y pueden acumularse durante el mismo[17]. Otros elementos radiactivos, como el radón en forma de gas,

[15] En la literatura aparecen frecuentemente bajo el acrónimo NORM (por sus siglas en inglés: "Naturally Occurring Radioactive Material": "material radiactivo de origen natural").

[16] Excepción: Durante el tratamiento de la apatita con ácido sulfúrico, el uranio pasa al ácido fosfórico y, por tanto, se transfiere al abono fosfatado producido a partir de éste, mientras que los productos de desintegración radiactiva (especialmente el radio) pasan al fosfoyeso. Dado que se generan 510 g de yeso a partir de 310 g de mineral de fosfato, la concentración de actividad del radio se diluye en el proceso por un factor de aproximadamente 2.

[17] Este material radiactivo concentrado en los residuos también se denomina TENORM (por sus siglas en inglés: *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*: "Material radiactivo natural tecnológicamente mejorado").

forman parte de la serie de desintegración del uranio y el torio, y pueden desarrollar efectos radiológicos a través de otras vías de exposición (inhalación).

Sin embargo, dado que la aparición de estos elementos requiere siempre la existencia de uranio o torio, una evaluación fiable puede basarse en la concentración de uranio y torio en el material base.

En la evaluación radiológica, para distinguir entre los riesgos "bajo" (verde) y "medio" (amarillo), se pueden utilizar las concentraciones de actividad y las concentraciones mínimas en las menas y/o en los relaves según la **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**[18]:

- Torio 200 Bq/Kg (equivale a una concentración de 49 ppm),
- Uranio 300 Bq/Kg (corresponde a una concentración de 24 ppm).

Estas concentraciones proceden de la radiación gamma de los productos de desintegración que superaría las concentraciones límites (aquí: 1 mSv/a) si se utilizara como material de construcción. Por debajo de estas concentraciones, no es necesario aislar las menas o los residuos por razones de radiactividad[19].

Por encima de estas concentraciones, el sustrato debe clasificarse como no apto para que las personas permanezcan sobre él de forma permanente o para que éstas entren en contacto con él (uso como material de construcción).

Las personas que pasan períodos prolongados sobre este tipo de sustrato descubierto están expuestas a un riesgo de exposición a la radiación de más de 1 mSv al año[20]. Esta ponderación del valor límite se ha desarrollado en el marco del proyecto OekoRess y de otro proyecto en curso del Oeko-Institut (Alemania 2049 – En camino hacia un uso sostenible de las materias primas)[21] y se deriva de los requisitos de la Directiva 2013/59/ EURATOM de la UE por la que se establecen las "Normas básicas de seguridad para la protección contra el riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes[22], sí como de las normas internacionales de protección contra la radiación.

Un segundo valor más alto de dosis límite (límite de alta peligrosidad = rojo) es de 1 Bq/g (o 1.000 Bq/kg). Esto se debe a que la normativa internacional de protección contra la radiación ya no permite la liberación de dicho material (nivel de exención) (OIEA 2014). Esto da lugar a los valores de dosis límite para la evaluación concreta que figuran en la **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**.

[18] Council Directive 2013/59/EURATOM, ANNEX VIII: Definición y utilización del índice de concentración de actividad de la radiación gamma emitida por los materiales de construcción a que se refiere el artículo 75

[19] Pese a esto, el almacenamiento seguro y a largo plazo de los relaves puede ser necesario y puede basarse, por ejemplo, en el contenido de los componentes no radiactivos.

[20] En los casos en los que en una mezcla contenga tanto torio como uranio, los valores deben combinarse de tal manera que la dosis de radiación combinada en caso de contacto permanente no supere 1 mSv por año (véase las fórmulas de la **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

[21] Véase también Buchert et al. (2016)

[22] Directiva 2013/59/EURATOM del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen las normas básicas de seguridad para la protección contra los riesgos derivados de la exposición a radiaciones ionizantes y por la que se derogan las Directivas 89/618/EURATOM, 90/641/EURATOM, 96/29/EURATOM, 97/43/EURATOM y 2003/122/EURATOM.

Tabla 3-2: Dosis límite para la evaluación radiológica de los yacimientos

Untertitel *[wenn nicht notwendig, bitte entfernen]*

Evaluación	Dosis límite		Justificación
Bajo	Dosis límite 1a: Th contenido [ppm] / 49 ppm + U contenido [ppm] / 24 ppm < 1	Los contenidos de U y Th se conocen	El sustrato puede utilizarse como material de construcción porque no supone un riesgo de exposición a la radiación > 1 mS/a.
	Dosis límite 1b: A_{Th} [Bq/g] / 0.2 Bq/g + A_{U} [Bq/g] / 0.3 Bq/g < 1	La concentración de la actividad (A) de U y Th se conoce	
Medio	Dosis límite 2a: Th contenido [ppm] / 246 ppm + U contenido [ppm] /80 ppm < 1	Los contenidos de U y Th se conocen y la dosis límite 1a es > 1	El sustrato no puede utilizarse como material de construcción porque supone un riesgo de exposición a la radiación > 1 mS/a.
	Dosis límite 2b: A_{Th} [Bq/g] + A_{U} [Bq/g] < 1 Bq/g	Las concentraciones de radiactividad (A) de U y Th se conocen y la dosis límite 1b es > 1	
Alto ⚠	Dosis límite 2a: Contenido de Th [ppm] / 246 ppm + Contenido de U [ppm] / 80 ppm ≥ 1	Contenidos de U y T se conocen	De acuerdo a las normas internacionales de seguridad de la OIEA, se debe monitorear la actividad radiológica de la sustancia.
	Dosis límite 2b: ATh [Bq/g] + AU [Bq/g] ≥ 1 Bq/g	Concentraciones de radiactividad (A) de U y Th se conocen	

Para ciertas materias primas procedentes de yacimientos chinos existen valores medios para las concentraciones de radiactividad de torio y uranio (véase la **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Según estos datos, los yacimientos chinos de vanadio, tierras raras, niobio/ tántalo y circonio presentan concentraciones de Th y U, por lo que deben ser evaluados con un alto potencial de peligro ambiental (rojo). Los datos también sugieren que la mayoría de los otros depósitos también tienen concentraciones de Th y U que impiden el uso de éste como material de construcción.

Si no se dispone de datos específicos sobre las concentraciones de actividad y/o las concentraciones de Th y U, deben utilizarse los datos y la metodología de la **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** para evaluar los yacimientos chinos. Para otros países/regiones, se recomienda buscar más información con "trabajo de oficina". Por

ejemplo, para Australia la información se encontrará en Cooper (2005). También se puede hacer una evaluación con ayuda de las siguientes aproximaciones:

- La minería para la extracción de uranio debe recibir una evaluación general de alto potencial de peligro ambiental (rojo)[23]. La concentración mínima por encima de la cual actualmente la minería merece la pena desde el punto de vista técnico y económico es del 0,03% de uranio en el mineral, lo que corresponde a 3,72 Bq/g, superando claramente los dos valores de referencia.
- Si no se dispone de datos específicos, las tierras raras, el tántalo, el niobio, el circonio y el fosfato sedimentario (incluidos los fosfatos del Sahara y de Florida/ EEUU) deben recibir una evaluación general de "alto" potencial de peligro ambiental (rojo).
- Como muestra la **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, en la mayoría de los demás yacimientos se deben asumir ciertas dificultades básicas respecto a las concentraciones de Th y U. Aquí, en caso de duda, se debe asignar un potencial de peligro ambiental "medio" (amarillo).
- Para las siguientes materias primas existe la posibilidad de evaluar un potencial de peligro ambiental "bajo":
  - depósitos de sedimentos oxídicos (por ejemplo, depósitos de plácer en abanicos aluviales);
  - rocas sedimentarias (p.ej. caliza y arenisca);
  - depósitos en basalto.
- Sin embargo, adicionalmente conviene tener en cuenta los siguientes aspectos, que podrían dar lugar a una evaluación más alta:
  - El uranio es altamente soluble en agua en contacto con el oxígeno atmosférico en forma oxidada hexavalente, por lo que cualquier contenido potencial de uranio en sedimentos oxídicos (por ejemplo, abanicos aluviales) es mayormente arrastrado. Sin embargo, la solución geoquímica y el transporte del uranio oxídico también hacen que el uranio se desplace a menudo a capas más profundas o en dirección horizontal, donde en algunos casos se vuelve a enriquecer. El enriquecimiento geoquímico a partir de la solución se produce especialmente en las capas reductoras (p. ej. en las capas que contienen carbono o pirita). Por lo tanto, las concentraciones de los yacimientos solo son homogéneas en casos excepcionales.
  - Por otra parte, se conocen yacimientos de cobalto y de oro con altos niveles de radiactividad. En el caso del cobalto, se encuentran en zonas de Katanga (República Democrática del Congo) (Tsurukawa et al. 2011), en el caso del oro, son yacimientos en Sudáfrica (Durand 2012).

[23] No se contempla la extracción de torio, puesto que en la actualidad no se practica, dado el bajo precio del mercado mundial y las reservas existentes.

Tabla 3- 3: Concentraciones medias de radiactividad de U y Th en yacimientos chinos y conclusión de la correspondiente evaluación

Materia prima	A_{Th} [Bq/g]	A_U [Bq/g]	Dosis límite 1 (límite entre verde y amarillo)	Dosis límite 2 (límite entre amarillo y rojo)	Evaluación	Porcentaje de China en la producción mundial (2013)
Vanadio	27,0	1,036	138,5	28,036	⚠ alto	51,9%
Tierras raras	5,782	3,972	42,2	9,754	⚠ alto	86,4%
Niobio/ tántalo	2,015	4,476	25,0	6,491	⚠ alto	Nb: <2%, Ta: 5,1%
Circonio	1,733	1,289	13,0	3,022	⚠ alto	9,9%
Aluminio (bauxita)	0,240	0,482	2,8	0,722	⚠ medio	16,3%
Plomo/ zinc	0,069	0,649	2,5	0,718	⚠ medio	Pb: 52,8%, Zn: 37,3%
Carbón	0,051	0,383	1,5	0,434	⚠ medio	Sin especificar
Fosfato	0,026	0,396	1,5	0,422	⚠ medio	48,0%
Estaño	0,133	0,218	1,4	0,351	⚠ medio	37,4%
Hierro	0,068	0,270	1,2	0,338	⚠ medio	46,6%
Carbón (veta)	0,082	0,171	1,0	0,253	⚠ medio	Sin especificar
Cobre	0,034	0,142	0,6	0,176	bajo	8,7%
Otros	0,508	0,503	4,2	1,011	⚠ alto	Sin especificar

Fuentes: Hua 2011, USGS 2015

3.1.2 El nivel "Geología", campo "Información específica al yacimiento", indicador "Tamaño del yacimiento"

Un factor esencial en relación con las intervenciones mineras en la naturaleza es el tamaño de los yacimientos minerales. Conciernen principalmente los siguientes aspectos:

- consumo de suelos;
- degradación de la vegetación;
- escala del movimiento de masas;
- tamaño de los depósitos de residuos mineros y volumen de los residuos mineros;
- impacto en el balance hídrico.

Cuanto más grande sea el yacimiento, más grandes serán probablemente los impactos ambientales globales. El tamaño de los yacimientos varía evidentemente de acuerdo a la materia prima extraída. Ellos dependen de la frecuencia geoquímica en la corteza terrestre de los elementos relevantes (Lide 2005) que se describe mediante el "número de Clarke".

Objetivo de la medición: Reducir los impactos directos en el medioambiente

Evaluación

Bajo (verde):

Yacimientos pequeños o muy pequeños.

Medio (amarillo):

Yacimientos medianos.

Alto (rojo):

Yacimientos grandes, muy grandes o enormes.

Para clasificar los yacimientos de diferentes materias primas con la categoría "tamaño", se puede utilizar el trabajo de Petrov. Los datos de la tabla de Petrov, reproducidos en la **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, se refieren al contenido total de los metales valiosos en el yacimiento.

Tabla 3- 4: Clasificación rusa de "Tamaño de yacimiento"

Materias primas	Unidad	Pequeño	Medio	Grande	Muy grande	Enorme
Ag	T	<500	500-2.000	2.000-10.000	>10.000	
Al (bauxita, basado tn Meyer 2004)[24]	Millones t mineral	<15	15-200	200-500	>500	
As	1.000 t	<10	10-100	>100		
Au (primario)	T	<25	25-100	100-400	>400	
Au (placeres)	T	<0.5	0.5-1	1-5	5-50	>50
Be	1.000 t BeO	<1	1-5	5-20	20-50	>50
Bi	1.000 t	<1	1-40	45-10	> 10	
Cd	T	<0.5	0.5-3	3-10	> 10	
Co	1.000 t	<2	2-15	> 15		
Cr	Millones t	<0.1	0.1-1	1-10	10-100	>100
Cu	Millones t	<0.5	0.5-3	3-10	>10	
Fe	Mil millones t	<0.1	0.1-1	1-5	5-10	>10
Hg	T	n-n*10	n*100	n*1.000	n*10.000	
Li	1.000 t Li_2O	<40-100	100-300	300-600	600-1.200	>1.200
Mn	Millones t	<25	25-75	75-100	>100	
Mo	1.000 t	<25	25-150	150-500	>500	
Ni	1.000 t	<100	100-1.000	1.000-5.000	>5.000	
Pb	Millones t	<0.1	0.1-1	1-2	>2	

[24] La tabla de Petrov se basa en las minas rusas y actualmente es la base de datos disponible más completa. Para la bauxita, Meyer et al (2004) publicaron información que comprende su ocurrencia a nivel mundial, lo que permite una mejor base de datos y por eso se incluye en la tabla.

Materias primas	Unidad	Pequeño	Medio	Grande	Muy grande	Enorme
PGM	T	<10	10-100	100-1000	>1.000	
Sb	1.000 t	<50	50-100	100-300	>300	
Se	1.000 t Se	<100	100-1.000	1.000-10.000	>10.000	
Elementos de tierras raras[25]	1.000 t Y	<10	10-100	100-500	>500	
Sn	1.000 t	<20	20-50	50-100	>100	
Sr	1.000 t SrO	n*10	n*100	n*1.000	n*10.000	
Ti (mena)	Millones t TiO_2	<5	5-10	10-50	>50	
Ti (placeres)	Millones t TiO_2	<1	1-5	5-10	>10	
U	1.000 t	0.5-5	5-20	>20	>	
V	1.000 t V_2O_2	<100	100-1.000	>1.000		
W	1.000 t WO_3	<10	10-100	>100		
Zn	Millones t	<0,5	0,5-1	1-5	>5	
Zr	Millones t ZrO_2	0,01-0,1	0,1-1	1-10	>10	
Barita	Millones t	<0,1	0,1-0,5	0,5-5	>5	
Bentonita	Millones t	<10	10-20	>20		
Boro	Millones t B_2O_3	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-1	1-10	> 10
Amianto (asbesto) crisolita	Millones t	<1	1-5	5-50	>50	
Diamante (mena)	Millones carats	<50	50-150	150-500	>500	
Diamante (placeres)	Millones carats	<1	1-5	5-25	>25	
Fluorita	Millones t	<0,5-2	2-5	5-10	>10	
Grafito	Millones t	<0,5	0,5-1	>1		
Halita	Millones t	<50	50-150	150-500	>500	
Sal de potasa	Millones t K_2O	<10	10-50	50-150	>150	
Caolín	Millones t	<5	5-20	20-50	>50	
Sal de magnesio	Millones t MgO	<10	10-50	50-150	>150	
Magnesita & brucita	Millones t	<30	30-100	100-300	>300	

[25] Contenido de itrio como representante de los elementos de tierras raras

Materias primas	Unidad	Pequeño	Medio	Grande	Muy grande	Enorme
Muscovita	1.000 t	<5	5-25	25-50	>50	
Nefelina	Millones t	<100	100-500	>500		
Arena de cuarzo	Millones t	<1	1-5	5-10	>50	
Arena de moldeo	Millones t	<10	10-50	50-200	>200	
Perlita	Millones m^3	<5	5-50	50-200	>200	
P (apatita)	Millones t P_2O_5	<10	10-50	50-100	>100	
P (fosforita)	Millones t P_2O_5	<10	10-50	50-100	>100	
S (sulfuro)	Millones t	<1	1-10	>10		
S (nativo)	Millones t	<10	10-50	>50		
Talco	Millones t	<0,03	0,03-0,5	0,5-5	>5-20	> 20
Vermiculita	Millones t	<1	1-10	>10		
Zeolita	Millones t	<primer n	n*10	n*100	>	

Basado en Petrov et al. 2008

En la tabla de Petrov, faltan datos para ciertas materias primas, p.ej. el niobio y el tántalo, como elementos principales extraídos, así como algunos sub- y co-productos.

Para la evaluación, hay que tener en cuenta que esta tabla abarca el contenido de recursos de todo el yacimiento.

Cuando esto no se muestra en el caso de explotaciones mineras en curso, el parámetro relevante para la valoración se determina a partir de las reservas que aún pueden ser extraídas, más los productos ya explotados.

Estos últimos pueden determinarse extrapolando la cantidad extraída a lo largo del período de explotación. Esta extrapolación puede realizarse de forma escalonada en función de la precisión que se pretenda alcanzar con el análisis.

Posibles métodos para la extrapolación de las cantidades extraídas durante el período de explotación

Hay varios métodos que permiten calcular la cantidad extraída en base a la información disponible, teniendo en cuenta la clasificación de cada producto de la Tabla 3-4 [26]. La precisión de estos métodos varía. A continuación, se presentan tres métodos en orden de precisión y nivel de detalle.

1. El método más preciso consiste en sumar la producción real de cada año de explotación. Esto es más fácil en el caso de las minas más nuevas, cuyos informes anuales se publican

[26] Al evaluar, por ejemplo, el volumen del yacimiento de una mina de hierro, hay que tener en cuenta el contenido del metal, mientras que en el caso del aluminio, es decisivo el mineral (bauxita).

sin lagunas, mientras que la obtención de datos de las minas más antiguas o pequeñas es difícil. A veces se publican las cifras de producción de una mina hasta la fecha, éstos son datos que también se pueden utilizar. A ello se añaden las reservas actualmente probadas y probables.

2. En segundo lugar en cuanto a precisión, está el método que determina los años de explotación, teniendo en cuenta las ampliaciones de la mina. De esta manera, se pueden emplear las capacidades de producción ajustadas para determinar la producción en las anteriores fases de producción[27]. Sumando las reservas actualmente probadas y las probables a las cantidades ya extraídas, se puede estimar el volumen total del yacimiento (debe tenerse en cuenta la unidad a la que se refiere la tabla de Petrov).

3. Una manera rápida pero menos precisa de estimar el contenido completo de material de un yacimiento consiste en multiplicar su capacidad de producción actual por los años de explotación, añadiendo al resultado las reservas actualmente probadas y probables.

Si en un determinado yacimiento se extrae más de una materia prima, se atribuye al yacimiento el resultado de la evaluación de la materia prima con el mayor potencial de riesgos ambientales (EHP, por sus siglas en inglés)[28].

3.1.3 El nivel "Geología", campo "Información específica al yacimiento", indicador "Ley de mineral"

Los yacimientos actualmente explotados difieren no solo con respecto a su tamaño o al contenido de metales valiosos antes definidos, sino también respecto a la ley mineral (expresada en %, g/t o ct/t). La ley de un yacimiento permite estimar aproximadamente la dimensión relativa de los parámetros ambientales relevantes:

- La generación de residuos mineros sólidos como son el recubrimiento del depósito, los relaves o la roca estéril;
- La demanda energética específica del producto para su extracción, transporte, fragmentación, clasificación y para el tratamiento de residuos;
- La cantidad de materiales auxiliares y de reactivos utilizados en el procesamiento de la materia prima.

Estos parámetros y, por tanto, el alcance de los posibles impactos ambientales difieren en función de la ley de mineral. Cuanto mayor sea la ley del yacimiento, menor será el impacto ambiental.

Objetivo de la medición: Reducir los esfuerzos de la extracción

Evaluación

Bajo (verde):

Yacimiento con alta ley mineral

[27] Un ejemplo: una mina que se abrió hace 20 años y produjo unos 5 millones de toneladas de mineral al año durante los primeros 10 años de funcionamiento. Luego se amplió para producir 10 Mt al año. Por lo tanto 10 años * 5Mt + 10 años * 10 Mt = 150 Mt en 20 años.

[28] Por ejemplo, una mina de cobre que también produce oro debe evaluarse en función de la materia prima más grande en la clasificación de Petrov

Medio (amarillo):

Yacimiento con mediana ley mineral

Alto (rojo):

Yacimiento con baja ley mineral

Aún no existe una presentación global sobre la ley promedio de los yacimientos similar a la que se presentó anteriormente en este informe para los volúmenes de yacimientos. Por un lado, los datos de referencia pueden obtenerse utilizando métodos estadísticos a partir de la evaluación de los datos de yacimientos geológicos, que fueron recopilados y publicados por Singer y otros autores para la USGS y la Universidad de Queensland (Singer et al. 2008 y 2009, Berger et al. 2009, 2011 y 2014, Cox et al. 2003, Cox/Singer 2007, Ludington/Plumlee 2009, Ludington et al. 2009, Mosier et al. 2009 y 2012).

Otra fuente de datos clave son los datos operativos sobre las leyes en los yacimientos actualmente en explotación. Sin embargo, estos datos suelen estar sujetos a ciertas restricciones de confidencialidad.

Para la preparación de una publicación sobre las leyes de mineral (Priester et al. 2020), se evaluaron los datos estadísticos de yacimientos y minas de más de 8.000 emplazamientos individuales. La **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** muestra las categorías de ley mineral para diez materias primas. La tabla también incluye categorías de ley para el aluminio (bauxita) basadas en una publicación de Meyer (2004).

Al calcular la ley de mineral de una mina, la información relacionada es muy variada. El valor más común y más fácil de obtener es la ley de las reservas, que suele figurar en los informes anuales y también puede ser parte de estudios técnicos o de las evaluaciones del impacto ambiental. El valor más preciso relacionado con la ley es el de las reservas probadas, seguido por la ley de las reservas probables. Si ambos no están disponibles, debe utilizarse la ley mineral de los recursos.

Tabla 3- 5: Categorías por ley mineral

	Bajo	Promedio	Alto
Oro (g/t)	<1,5	1,5-15	>15
Cobre (%)	<0,5	0,5-3	>3
Hierro (%)	<30	30-60	>60
Zinc (%)	<1,5	1,5-12	>12
Níquel (%)	<0,5	0,5-2	>2
MGP (g/t)	<1,5	1,5-6	>6
Estaño (%)	<0,3	0,3-1,5	>1,5
Plomo (%)	<1	1-15	>15
Manganeso (%)	<20	20-45	>45
Diamante (g/t)	<0,01	0,01-0,5	>0,5
Aluminio (% Al_2O_3)]	<39	39-52	>52

Basado en Priester et al. 2019

De momento no se dispone de datos confiables para otras materias primas. No tendría sentido proporcionar valores estimados u orientativos. A este respecto, la evaluación solo puede realizarse para las once materias primas mencionadas arriba. Un grupo de investigación de la Universidad de Lund se dedica actualmente a determinar las categorías por ley de mineral para —entre otros— el cobre, el zinc, el plomo, el níquel, los MGP (PGM, por sus siglas en inglés), el cromo, el litio, el cobalto y el hierro. Hasta la fecha, solo se han publicado algunos de los resultados (Sverdrup et al. 2017). Es preciso investigar más para ampliarlo a otros metales; no solo para poder realizar una evaluación, sino también porque las diferentes leyes de mineral informan del potencial geológico para las futuras actividades mineras. Existe una estrecha relación con el debate sobre la disminución de las leyes de mineral en el pasado y las predicciones de su evolución.

A falta de información sobre las categorías de ley mineral, la evaluación puede realizarse de forma deductiva: ya sea si el yacimiento fue descrito como de comparativamente alta o baja ley, o en función del método de extracción. Si se optó por la minería subterránea para materias primas que pueden extraerse también a cielo abierto, es muy probable que el yacimiento en cuestión sea comparativamente rico. Los costes de producción comparativamente elevados de la minería subterránea en su etapa inicial solo pueden recuperarse con altas leyes de mineral. Esta estimación es posible para materias primas como el cobre y el oro, así como para el niobio/tántalo, el cromo, el tungsteno, el antimonio, la fluorita y la barita.

3.2 El nivel "Tecnología"

3.2.1 El nivel "Tecnología", campo "Información específica a la minería", indicador "Tipo de minería"

El método de minería utilizado es un indicio de las intervenciones en la superficie terrestre necesarias para extraer la materia prima. Es lógico que sean menores en la minería subterránea; un ejemplo paradigmático de ello es la antigua mina (fluorita) *Käfersteige*, cerca de Pforzheim, donde dos aberturas en la superficie (una para el acceso humano y otra para la ventilación) eran las únicas marcas de las operaciones mineras. En la minería de roca sólida a cielo abierto (canteras, cortas o minas a cielo abierto), la intervención suele limitarse a una zona apenas ligeramente mayor que la proyección del cuerpo del yacimiento a la superficie. Además, la minería a cielo abierto utiliza a menudo las áreas excavadas para el vertido de los residuos mineros, lo que reduce aún más la superficie de los depósitos de residuos mineros y de las lagunas de relaves. El impacto de la minería es mayor en los yacimientos sedimentarios en rocas no consolidadas (depósitos aluviales y coluviales), como el oro, diamantes, la casiterita, las arenas de titanio, etc., pero también en lignito o bauxita. Por lo tanto, este criterio se utiliza, junto con el volumen del respectivo yacimiento, como indicador del consumo de suelos y el impacto en ecosistemas.

Objetivo de la medición: Reducir el impacto directo en los ecosistemas

Evaluación (incidencia en la superficie del terreno)

Bajo (verde):

Minería subterránea

Medio (amarillo):

Minería a rajo abierto en roca sólida

Alto (rojo):

Explotación de depósitos sedimentarios en rocas no consolidadas (depósitos aluviales y coluviales o con horizontes altamente meteorizados).

En algunos casos, en un mismo emplazamiento se lleva a cabo la minería a cielo abierto y la minería subterránea. Generalmente, prevalece un tipo de minería. Razones geológicas, económicas o incluso ambientales pueden cambiar el tipo de minería a lo largo del tiempo, o nuevos tajos pueden agregarse al sitio. En algunos casos, se puede desglosar la evaluación del emplazamiento minero de este indicador para realizar una evaluación específica al uno de los tipos de minería utilizados. Si esto no es posible, el analista debe considerar la historia de la mina y evaluar el tipo de mina preponderante en el emplazamiento. Se recomienda destacar esta característica específica en la explicación de los resultados de la evaluación (por ejemplo, con una nota a pie de página o con un código visual).

3.2.2 El nivel "Tecnología", campo "Información específica al tipo de procesamiento ", indicador "Uso de sustancias auxiliares

En algunos casos, los procesos de extracción (remoción) y procesamiento utilizan sustancias auxiliares y materiales de operación tóxicos y peligrosos para el medioambiente, que pueden tener efectos negativos si se liberan en el área. A este respecto, este indicador informa del potencial de contaminación debido a sustancias y materiales auxiliares y de explotación peligrosos para el medioambiente, lo cual pretende complementar el indicador sobre el potencial de peligro ambiental geogénico (véase el apartado 3.1.1) debido a la paragénesis mineral.

Además del funcionamiento regular de la explotación minera y del procesamiento, que —especialmente en el caso de las operaciones industriales —está asegurado mediante sistemas de gestión ambiental (análisis de riesgos, definición de responsabilidades, cadenas de comunicación, descripciones de puestos de trabajo y especificación de las medidas de protección), la evaluación con este indicador también considera las consecuencias de posibles incidentes que puedan ocurrir por error humano o fallos técnicos, pero también por acontecimientos naturales (véase también el apartado **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Muchos problemas de la minería y muchos de los conflictos sociales que se discuten en la esfera pública tienen origen en estos incidentes peligrosos.

Objetivo de la medición: Evitar los riesgos de contaminación

Evaluación (potencial del peligro "liberación de contaminantes")

Bajo (verde):

Sin sustancias auxiliares

Medio (amarillo):

Con sustancias auxiliares clasificadas como tóxicas

Alto (rojo):

Con reactivos tóxicos

A continuación, se enumeran los métodos de extracción (remoción) y de procesamiento, que se refieren a los operaciones convencionales de la explotación minera y el procesamiento con el fin de facilitar la evaluación de las respectivas prácticas operativas.

En la explotación minera:

- perforación y voladura[29];
- métodos mecánicos de desprendimiento y carga de la roca.

En el procesamiento:

- procesos exclusivamente mecánicos (proceso gravimétrico simple, fragmentación selectiva;
- clasificación óptica;
- recogida a mano;
- tratamiento electrostático;
- procesos de disolución en frío y en caliente.

Los procesos de explotación y procesamiento ***con sustancias auxiliares no clasificados como tóxicas*** incluyen los siguientes:

En el tratamiento de procesamiento:

- procesamiento de minerales por separación en medios pesados con FeSi;
- biolixiviación, lixiviación con tio-urea;
- tratamiento del diamante en mesa engrasada.

Los procesos de explotación y procesamiento ***con sustancias tóxicas*** incluyen los siguientes:

En la explotación minera:

- lixiviación en sitio.

En el procesamiento:

- La amalgamación en el procesamiento del oro (uso de mercurio, del que, conforme al Convenio de Minamata, debería prescindirse completamente);
- la lixiviación con cianuro y cloración (ambas sustancias son altamente tóxicas que frecuentemente han provocado accidentes);
- la lixiviación con cianuro y cloración (ambas sustancias son altamente tóxicas que frecuentemente han provocado accidentes);
- la lixiviación con cianuro y cloración (ambas sustancias son altamente tóxicas que frecuentemente han provocado accidentes);

3.2.3 El nivel "Tecnología", campo "Información específica a la gestión", indicador "Residuos mineros"

Los residuos de la explotación y del procesamiento suelen tener efectos a largo plazo en el medioambiente, ya sea por autoxidación, lixiviación, procesos de meteorización, dispersión pasiva u otros procesos naturales. En este sentido, este indicador representa la medición del

[29] En las "Instrucciones de medición" originales, el método de perforación y voladura se evaluó con un EHP medio. Los principales efectos son la formación de franjas y la vibración del suelo. Reconociendo que en algunos casos se producen fuertes efectos locales, asignar un EHP medio no parece justificado, dada la localización del impacto y el hecho de que la clase EHP baja es prácticamente inexistente si la perforación y la voladura se consideran como un EHP medio.

potencial de peligros ambientales, en función de las prácticas de operación minera, provenientes de los materiales residuales de la minería.

La evaluación puede apoyarse en el documento publicado en alemán "Bergbauliche Reststoffe" (Residuos mineros)[30], donde también se describen los potenciales peligros relacionados con el manejo de residuos mineros.

Objetivo de la medición: Minimizar los riesgos de los residuos mineros

Evaluación (potencial de peligros relacionados a efectos negativos duraderos de residuos mineros)

Bajo (verde)

Almacenamiento/descarga segura de los relaves y otros materiales de residuo en el yacimiento (relleno de la mina en paralelo a la explotación minera en curso, relleno con residuos para estabilizar la planta minera).

Medio (amarillo)

Comercialización de los residuos mineros, p. ej. como material de construcción; depósitos estables de residuos mineros (en función de la granulometría, la composición de las partículas, la inclinación, la altura); lagunas de relaves más pequeñas (< 15 m de altura del dique, véase más adelante).

Alto (rojo):

Depositar de modo peligroso: depósitos / apilamientos inestables de residuos mineros y lagos inestables, lagunas de relaves de gran área o volumen (véase más adelante la definición de grandes diques, vertido en ríos o lagos profundos; falta de estrategias para la seguridad de los residuos mineros una vez finalizada la explotación minera.

El tamaño de las lagunas de relaves se define —p.ej. en ICOLD (2002 y nueva edición de 2011)— como "un dique con una altura de 15 metros o más desde su base inferior hasta la cresta o un dique de entre 5 y 15 metros que retiene más de 3 millones de metros cúbicos"[31].

Si se dispone de fuentes primarias, p.ej. informes, éstas pueden contener la altura del dique. Si esto no es posible, se podrá calcular aproximadamente, analizando la distancia entre la cima del terreno y la cima del dique, midiendo las distancias (p.ej. en *Google Earth* o en modelaciones digitales de las elevaciones). En este caso, se tiende a subestimar la altura del dique, porque su base inferior se encuentra por debajo de la cima del terreno. Sin embargo, este método es práctico porque permite calcular una aproximación.

Con frecuencia, se dispone de pocos datos sobre los residuos mineros, a pesar de la obligación de informar, p.ej. conforme a la GRI (por sus siglas en inglés, Iniciativa de Reporte Global), que exige informes sobre la gestión ambiental, y consecuentemente también sobre el depósito de materiales residuales. En estos casos, se puede realizar una valoración basada en la evaluación de los datos satelitales y topográficos. Este enfoque puede ayudar a clasificar las pequeñas lagunas de relaves (potencial de peligro ambiental medio = amarillo) o de gran volumen y/o extensas (potencial de peligro medioambiental alto = rojo). En la medida de lo posible, este análisis debe ponderarse con otras consideraciones para validar la interpretación de las imágenes satelitales. Una posible fuente de información es el análisis de las cantidades de

[30] Michael Priester y Peter Dolega: "Bergbauliche Reststoffe". Elaborado en el marco del proyecto OekoRess, Julio de 2015. https://www.umweltbundesamt.de/umweltfragen-oekoress

[31] Para una definición, véase: http://www.icold-cigb.org/GB/World_register/general_synthesis.asp

producción en combinación con la tecnología que emplea el procesamiento y la información sobre el yacimiento. Un estudio de este tipo puede arrojar luz sobre las cantidades de partículas finas y ultra finas que se están acumulando y que tienen ser tratadas o depositadas en lagunas de relaves.[32]

3.2.4 El nivel "Tecnología", campo "Relativo a la gestión", indicador "Medidas de remediación"

El indicador de las medidas de remediación sirve para medir la duración de los impactos sobre el medioambiente, en función de las prácticas operacionales. En primer lugar, esto se refleja en la planificación, provisión y aplicación de las medidas de recultivo, rehabilitación y descontaminación de las zonas negativamente afectadas por la minería y el procesamiento mineral.

Esto abarca aspectos parciales como el desmantelamiento de maquinaria, instalaciones y también de edificaciones, el relleno o el aseguramiento de pozos y túneles, el restablecimiento de un régimen similar al natural de las aguas subterráneas y superficiales, el relleno de los emplazamientos de extracción (minería a cielo abierto), el restablecimiento de una topografía adecuada y del suelo y la revegetación, o la preparación de otro tipo de uso posterior (por ejemplo, la inundación de minas a cielo abierto para fines recreativos).

Objetivo de la medición: Reducir el impacto negativo duradero

Evaluación (impacto negativo duradero en el medioambiente)

Bajo (verde)

Rehabilitación o recultivo paralelamente al proceso

Medio (amarillo)

Provisiones financieras para la rehabilitación

Alto (rojo):

No hay provisiones

Similarmente, las legislaciones nacionales de minería y medioambiente, así como la normativa internacional de prácticas mineras responsables (p.ej. ICMM), exigen medidas de remediación, rehabilitación, recultivo y renaturalización. Además, por regla general no se permite la concesión de licencias o títulos legales si faltan estas medidas —p.ej. bajo el ámbito de la EIA—, ni tampoco cuando no hay un plan de gestión ambiental. En el marco de la obligación a presentar informes, debe probarse el cumplimiento, p.ej. en los informes ambientales.

Debería ser posible encontrar la información relevante en estos documentos. En general, cabe suponer que la minería formal e industrializada cumple estas normas, sobre todo cuando existe un control de parte de los accionistas (críticos), por lo que en estos casos debería asignarse más bien un potencial de peligros ambientales "bajo" (verde).

Sin embargo, en los países con grandes carencias en la aplicación de las normas o una gobernanza de menor calidad, así como en el caso de las asociaciones público-privadas, las empresas mineras semipúblicas o públicas y las empresas locales, la experiencia demuestra que

[32] Los minerales polimetálicos, finos y ultra finos, que requieren tratamiento mediante flotación o lixiviación por agitación, dan lugar a una elevada proporción —en términos cuantitativos— de materiales residuales finos y ultra finos, lo que, junto con las grandes cantidades extraídas, hace suponer la existencia de lagunas de relaves, siempre que la operación (y esto bajo circunstancias excepcionales y cuando haya una extrema escasez de agua) no realice la separación sólidos-líquidos de los relaves.

se incrementa el riesgo de que se descuiden los deberes y el cumplimiento de las normas, que deben validarse en cada caso concreto. Este problema se agrava aun más cuando se trata de un contexto informal o incluso ilegal; a menudo se trata de explotaciones de minería artesanal y de pequeña escala que consiguen eludir la obligación de aplicar medidas de remediación. En estos casos es preferible asignar un potencial de peligro ambiental "alto" (rojo).

3.3 El nivel "Emplazamiento (entorno)"

A la hora de describir los emplazamientos mineros, se ha distinguido entre el entorno "natural" y el entorno o contexto "social". El campo "Entorno natural" engloba los posibles peligros ambientales específicos de los emplazamientos, mientras que el de "Contexto social" se centra en los conflictos —relacionados con el medioambiente— que pueden surgir en los emplazamientos y áreas circundantes por el uso de recursos.

En este sentido, cabe señalar que —de hecho— el enfoque de evaluación del contexto social seleccionado originalmente se basaba en indicadores relativos a la viabilidad de participación social y control anti corrupción en cada país. En consecuencia, no fue posible considerar en la evaluación, las características locales y específicas de cada caso del contexto social.

En la presente versión actualizada los autores retiraron los indicadores de gobernanza mundial anteriormente seleccionados, pero el potencial de conflictos relacionados con el medioambiente con las poblaciones aledañas mantiene la clasificación de "muy relevante". En lugar de utilizar indicadores específicos para cada país al evaluar el potencial de peligros para el medioambiente (EHP, por sus siglas en inglés), los autores recomiendan por el momento tomar en consideración una información cualitativa del contexto más generalizada sobre la gobernanza ambiental. El proyecto de seguimiento OekoRess II (FKZ 3715 32 310 0) define una consideración académica más detallada del contexto social.

En el campo "Entorno natural", los emplazamientos mineros presentan una serie de peligros ambientales potenciales derivados de su ubicación geográfica. Entre ellos, se encuentran los factores climáticos o sismológicos susceptibles a desencadenar accidentes graves, además del peligro de efectos negativos para la disponibilidad de agua y posibles amenazas para las áreas ecológicamente vulnerables. En la matriz de evaluación, se derivaron objetivos e indicadores relevantes para el campo "Entorno natural" con el fin de mapear y medir los potenciales peligros de los emplazamientos.

Tanto ellos como las normas de evaluación establecidas, se describen en los siguientes apartados. Se ha logrado identificar conjuntos de datos espaciales de acceso público para todos los indicadores que permiten definirlos. Esto permite que terceros también puedan evaluar fácilmente distintos emplazamientos mineros.

Como parte del proyecto, se evaluaron los 40 estudios de casos mediante un análisis espacial, utilizando el sistema de información geográfica *QGIS*[33]. Se trata de un *software* libre con licencia *GNU* (*General Public License*[34]). Las empresas y las autoridades públicas utilizan cada vez más *QGIS*. Los conjuntos de datos se adaptaron a los criterios de las instrucciones de medición y se

[33] http://www.qgis.org/de/site/ (último acceso el 13 de julio 2015)

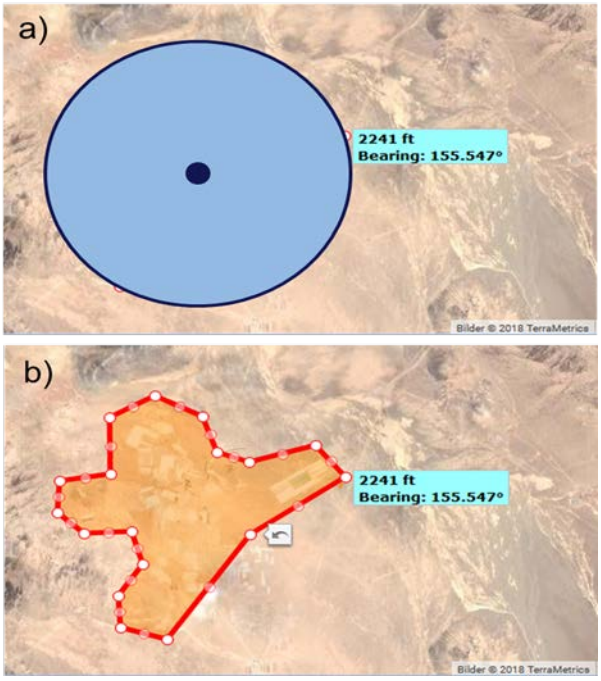
[34] Licencia de *software* que permite a los usuarios ejecutar, estudiar, modificar y distribuir el software. Este tipo de software se denomina "software libre". http://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html (último acceso el 13 de julio 2015).

generaron mapas, que son reproducibles una vez que fueron exportados en formato *raster* o vectorial.

Para el análisis espacial de los distintos emplazamientos mineros, es indispensable especificar sus coordenadas y extensión territorial. En base a esta información, los valores del indicador geo-referenciado pueden combinarse con los emplazamientos mineros. Dado que la extensión territorial de las actividades mineras puede variar enormemente, es necesario que la información al respecto sea precisa. Si no se puede acceder a los datos de operadores de la mina, es posible estimar la extensión con visualizaciones simples de datos satelitales (por ejemplo, *Google Earth*) o con un programa de teledetección.

En función del número de conjuntos de datos y de la disponibilidad de datos geográficos, los emplazamientos mineros pueden determinarse mediante los datos de un punto único con una extensión asumida (esto fue aplicado en OekoRess I y II) o mediante datos de polígonos diferenciados (método aplicado en OekoRess III).

Figura 3-4: Enfoque para determinar la extensión territorial para evaluar el indicador "entorno natural". a: Enfoque simplificado utilizado en OekoRess I y II, b: Enfoque de polígonos utilizado en OekoRess III



Fuente de la imágen de fondo: Terrametrics 2018

El enfoque simplificado consiste en convertir las dimensiones medias en un círculo alrededor del punto focal del emplazamiento minero (cf. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** a). En casos extremos, cuando se trata de emplazamientos mineros muy alargados, esto puede dar lugar a una enorme sobreestimación de la superficie total, pero el área circular es el modelo espacial más adecuado para los análisis que implican un sistema de información geográfica. Para mejorar la cartografía de zonas mineras muy alargadas, se pueden generar varios círculos más pequeños. La evaluación de la calidad de los datos para este enfoque es el "B1".

Los datos de los polígonos de OekoRess III permiten un análisis más profundo de emplazamientos mineros específicos (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** b). Para obtener

más precisión, se requiere establecer reglas para el trazado del polígono. No siempre es evidente si las infraestructuras (p.ej. edificaciones, caminos y carreteras, relaves y tajos/cortas) pertenecen o no a la actividad minera. Además, un yacimiento minero puede combinar diferentes actividades en un mismo emplazamiento o comprender numerosas actividades ampliamente dispersas.

La evaluación de la calidad de los datos para este enfoque es el "A".

Normas para la digitalización de sitios mineros con datos satelitales:

1. Se digitaliza el polígono a lo largo de la infraestructura minera visible. El alcance de la evaluación de los indicadores del entorno natural incluye todas las zonas circundantes directamente relacionadas con la actividad minera. Esto puede también incluir las instalaciones para el procesamiento posterior de las materias primas (p.ej. concentradores, plataformas de lixiviación, plantas de cátodos, fundición), que no forman parte de los indicadores técnicos de las instrucciones de medición relacionadas con el emplazamiento.

2. Se toman en consideración los caminos hasta unos 10 km que conectan directamente con instalaciones de la mina. Estas vías suelen pertenecer a la planta y por lo general no están abiertas al público. No se toman en cuenta los caminos que se encuentran a mayor distancia del sitio minero para el transporte y entrega de productos.

3. Los complejos mineros que están repartidos en grandes áreas se dividen en polígonos individuales que combinados van a formar un "multi-polígono". Si la información pertinente está disponible, a cada polígono se le da un nombre (p.ej. el nombre específico del tajo o algún atributo del lugar como "abandonado", "agotado", "inactivo"). Cabe recordar que existen minas (especialmente las de bauxita) donde las operaciones de explotación y de procesamiento pueden estar muy separadas entre ellas.

4. En cuanto a la digitalización, es preferible usar una escala más generosa, en vez de una escala demasiado pequeña. Debe evitarse hacer cortes en la zona minera. El valor de orientación para la adición máxima es de aproximadamente 1 km (según el tamaño general del emplazamiento minero).

5. El trazado de los polígonos debe ser claro: donde se superpondrían, deben combinarse en un sólo polígono. Los polígonos nunca deben estar superpuestos unos a otros.

6. No incluya zonas revegetadas o reforestadas, aeropuertos ni puertos, a menos que estén rodeados de emplazamientos mineros.

7. Considere las instalaciones completas (p.ej. diques, incluido muros).

8. Registre las instalaciones desactivadas y márquelas con el atributo específico de los polígonos individuales ("abandonado", "agotado", "inactivo").

9. Las áreas donde se sospecha que haya exploración se consideran y se marcan con el atributo específico ("exploración").

10. La precisión de la digitalización debe ser similar para todas las minas. Por lo tanto, la digitalización debe realizarse con una altura de visualización (el término de *Google Earth* es: "altitud de ojos o *eye alt*") de al menos 30 km. Las minas más pequeñas podrán requerir una menor altura de visualización [*viewing height*]. Esto significa una escala de aproximadamente 1:1.000.000.

11. El uso del suelo de una mina puede cambiar significativamente en el curso de pocos años. Por lo tanto, es importante documentar la fecha en que se tomó una imagen satelital. *Google Earth* especifica una fecha de imagen ("*Imagery Date*"). Ajuste la altura de visualización hasta visualizar toda la mina y mueva el cursor sobre la imagen (de lo contrario, la fecha de las imágenes podría no aparecer para ciertas secciones de la imagen). Dependiendo de la mina, la imagen puede ser la combinación de varias imágenes subyacentes, tomadas en diferentes fechas. A efectos de documentación, debe anotarse la fecha de la imagen en la ficha técnica. Si no aparece la fecha de la imagen, compruebe cuál es cronológicamente la última fecha. Si hay varias imágenes a lo largo de un determinado período de tiempo, se puede documentar el historial de las fechas (p.ej. del 1/1/2015 al 1/1/2018). Esta información es especialmente relevante cuando los únicos datos de imagen disponibles son muy antiguos. Si tiene la impresión de que los datos de las imágenes están obsoletos, digitalícelos considerando un área más grande (añadiendo aproximadamente unos 2 km).
12. Si no está clara la ubicación del emplazamiento minero o si el proyecto minero aún no se muestra en los datos de satélite, deberá aplicarse el método simplificado.

3.3.1 El nivel "Emplazamiento (entorno)", campo "Entorno natural", indicador "Peligro de accidentes causados por desastres naturales"

Como resultado de las operaciones de explotación y procesamiento, las actividades mineras aumentan el peligro de daños al medioambiente de la región. Este peligro puede agravarse dependiendo de las condiciones geográficas específicas del lugar. Esto incluye las condiciones que complican la construcción de las instalaciones e infraestructuras mineras, y que por lo tanto pueden dar lugar a la liberación de sustancias nocivas para el medioambiente y a la contaminación del área circundante.

Aunque no se pueda predecir adecuadamente los fenómenos naturales extremos para todas las regiones, es posible determinar el peligro potencial para las regiones especialmente expuestas, a partir de las condiciones naturales conocidas. Esto incluye, p.ej., el conocimiento sobre las regiones con peligro de aluviones (inundación), las pendientes pronunciadas en regiones de alta montaña (deslizamientos de tierra o de rocas), eventos de tormenta (daños causados por viento, marejadas ciclónicas) y las zonas sísmicas (movimientos de masas).

Para evaluar el objetivo de "Evitar accidentes por causas naturales", se utilizan cuatro indicadores (véase la **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) y una norma especial para la región del Ártico, que se consideran fundamentales a la hora de mapear los peligros de accidentes naturales. Los peligros potenciales de terremotos, deslizamientos de tierra, tormentas tropicales e inundaciones fueron identificados, entre otras cosas, para los análisis del Informe de Evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres (GAR, por sus siglas en inglés).

Desde 2009, este informe bianual de la UNISDR (por sus siglas en inglés)[35] analiza datos e información relativos a desastres naturales. A través de una plataforma de Internet[36], la UNISDR suministra las bases de datos geográficos y los documentos de referencia utilizados. Los sub-indicadores seleccionados para el indicador "Peligros por desastres naturales" se basan en

[35] Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres (UNISDR).

[36] GAR 2013: http://preview.grid.unep.ch (último acceso el 13 de julio 2015); GAR 2015: http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/home/ (último acceso el 13 de julio 2015)

conjuntos de datos del GAR. Éste no cubre los eventos naturales extremos para la región del Ártico, p.ej. inundaciones o tormentas polares. Sin embargo, por el peligro significativo que pueden ocasionar estos eventos, existe una norma especial para dicha región. Los sub-indicadores seleccionados se describen con más detalle en los siguientes apartados.

Tabla 3- 6: Indicadores seleccionados para el objetivo "Evitar accidentes por causas naturales"

Indicador	Potenciales incidentes naturales	Peligros de accidentes resultantes
Peligro sísmico	Caída de rocas, desprendimiento de rocas, tsunamis	Colapso de diques Destrucción de infraestructura lineal (energía, agua, ductos, etc.) Lixiviación acelerada de contaminantes
Peligro de deslizamientos de tierra	Caídas de roca, desprendimientos de rocas	
Peligro de tormentas tropicales	Marejadas ciclónicas, daños por tormentas	
Peligro de inundaciones	Inundaciones	
Norma especial: peligros para el Ártico y Antártida	Tormentas polares, inundaciones por deshielo, dinámica del permafrost	

Objetivo de la medición: Evitar accidentes por causas naturales

3.3.1.1 Peligro sísmico

Entre los fenómenos naturales más devastadores están los terremotos; debido a que en pocos minutos, las tensiones en la corteza terrestre liberan enormes fuerzas. Estas fuerzas actúan sobre las matrices ambientales de la superficie terrestre, donde pueden provocar movimientos y transformaciones.

Las fuerzas sísmicas pueden destruir el hábitat humano inmediatamente o de forma indirecta por sus efectos, como los deslizamientos de tierra, colapsos de diques o tsunamis. Conforme a la intensidad y magnitud del terremoto, sus efectos pueden ser locales o afectar unidades geográficas más grandes.

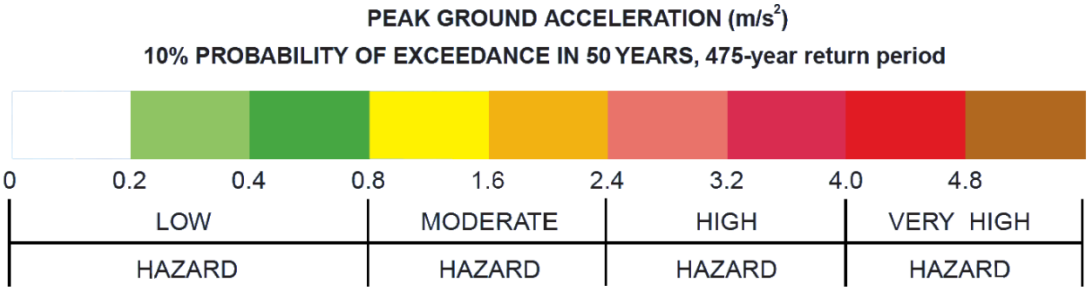
El conocimiento sobre las zonas sísmicas de la Tierra es relativamente amplio y el registro de los terremotos es relativamente antiguo. En 1992 se creó el Programa Mundial de Evaluación de Peligro Sísmico (GSHAP, por sus siglas en inglés). En el marco de este proyecto se recogieron datos en todo el mundo y se elaboraron mapas de peligro sísmico (Shedlock et al. 2000). 2000).

La categorización del peligro sísmico se realiza mediante un cálculo de probabilidades. La unidad utilizada es la "aceleración máxima horizontal del suelo" (PGA, por sus siglas en inglés), que en relación con una región, podría excederse en los próximos 50 años con una probabilidad del 10%.

La PGA de una región es un parámetro importante para la planificación y ha sido utilizada como una base de datos para los mapas de peligro del Informe de evaluación de riesgos globales de la UNISDR. La tabla 3-7 muestra la instrucción de medición para clasificar los resultados. La

siguiente agrupación se basa en la asignación del Mapa de peligro sísmico mundial según GSHAP[37] (figura 3-5).

Figura 3-5: Escala del potencial de peligros según GSHAP



Fuente: Legenda del Mapa de peligro sísmico mundial, Shedlock et al., 2000[38]

Para determinar el peligro sísmico de los emplazamientos mineros, se descargaron los datos espaciales del GSHAP y se adaptaron de acuerdo a la evaluación de OekoRess. Conforme al resultado, que se visualiza en la Figura 3-6, un 9% de las superficies en tierra firme se evalúa con un potencial de peligro "medio" (amarillo) y un 3,6% con un potencial de peligro "alto" (rojo).

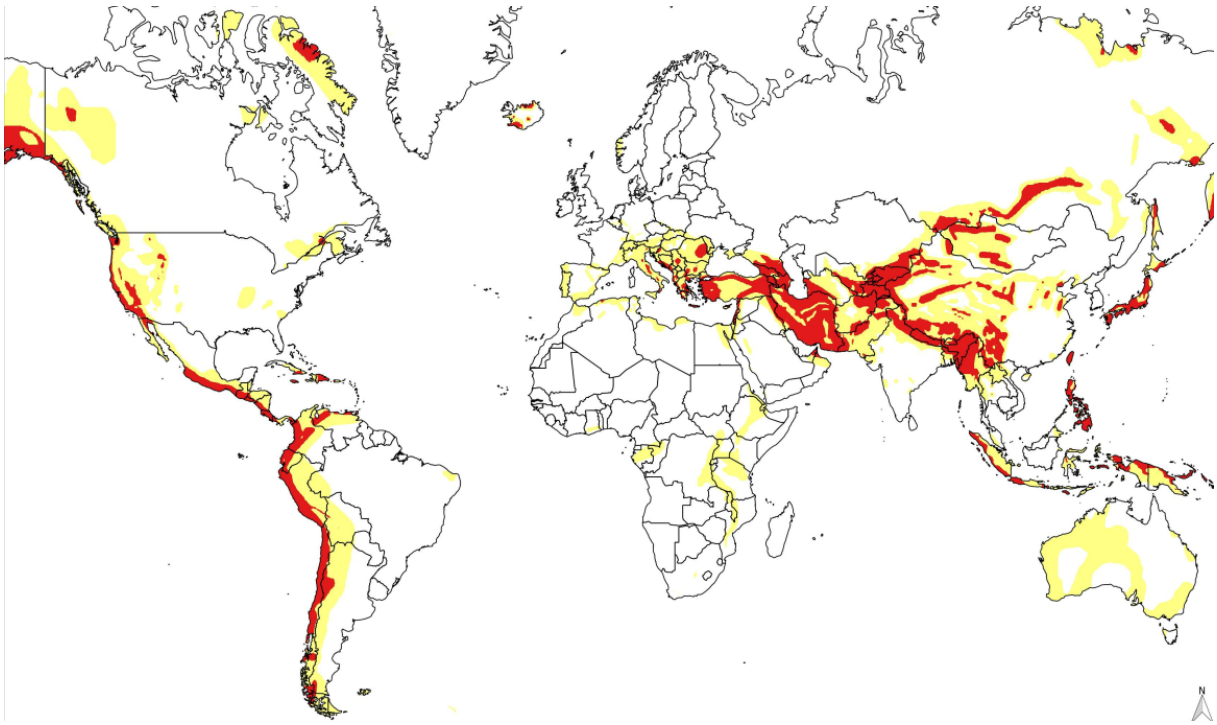
Tabla 3- 7: Evaluación del sub-indicador "Peligro sísmico"

Evaluación de la peligrosidad sísmica según la aceleración máxima del suelo (PGA por sus siglas en ingles: *Peak ground acceleration*)	
0 a < 0,8 m/s² PGA (10% de probabilidad de superación en 50 años)	Bajo (verde)
0.8 a 2,4 m/s² PGA (10% de probabilidad de superación en 50 años)	Medio (amarillo)
> 2,4 m/s² PGA (10% de probabilidad de superación en 50 años)	Alto (rojo)

[37] http://www.seismo.ethz.ch/static/GSHAP/ (último acceso el 10 de julio 2015)

[38] "Todos los productos y mapas del GSHAP son de libre acceso y no están sujetos a derechos de autor, siempre que se cite la fuente" http://www.seismo.ethz.ch/static/GSHAP/ (último acceso el 10 de julio 2015)

Figura 3-6: Distribución del peligro sísmico según la evaluación de OekoRess (amarillo = "medio"; rojo = "alto")



Fuente: Datos básicos: Shedlock et al., 2000; cartografía: ifeu.

3.3.1.2 Peligro de deslizamientos

Un deslizamiento de tierra es un desplazamiento de masas desencadenado por la fuerza gravitacional y un proceso dinámico en la superficie de la tierra que da forma y cambia constantemente el paisaje. A pequeña escala, los deslizamientos de tierra se producen esencialmente en los lugares donde hay una pendiente. Cuanto más pronunciada sea una pendiente, más acelerado será este desplazamiento de masas a lo largo del tiempo. El verdadero peligro para el ser humano procede sobre todo de los desplazamientos de masas en una zona extensa, como los grandes deslizamientos de tierra o los desprendimientos y avalanchas de roca.

Estos desplazamientos de masas son desatados por la interacción de la humedad y las fuerzas de tracción gravitacional (Zepp 2011). Las pendientes empinadas son especialmente vulnerables, ya que en ellas, las fuerzas de tracción son mayores. Por lo tanto, el potencial de peligro de los deslizamientos de tierra no se limita a las regiones de alta montaña, sino que en ellas es más probable que haya pendientes pronunciadas. Para evaluar lugares específicos a nivel micro, es posible analizar la energía de alivio con el método de teledetección mediante datos satelitales.

Para una visión global, se utilizan datos geográficos sobre las zonas de peligro de deslizamientos de tierra, publicados en el "Informe de Evaluación Global sobre Reducción del Riesgo de Desastres 2013" (GAR, por sus siglas en inglés) de la EISDR/ONU (UNISDR 2013). Los parámetros de entrada clave para calcular este indicador son el gradiente, los factores geológicos, la humedad del suelo, la cubierta vegetal y las precipitaciones en la zona[39]. Esto genera un mapa de peligro de desplazamientos gravitacionales de masas causados por

[39] Los datos fueron calculados por el *International Centre for Geohazards* (NGI) en el marco de "Global Assessment Report on Risk Reduction 2013" (Informe de Evaluación Global sobre la Reducción de Riesgos 2013), y puestos a disposición a través de una plataforma de internet: http://preview.grid.unep.ch (último acceso el 24 de junio 2015)

precipitaciones. Los desplazamientos gravitacionales de masas pueden desencadenarse además por terremotos, pero estas zonas de peligro ya están suficientemente cubiertas por el indicador de "peligro sísmico" del presente proyecto.

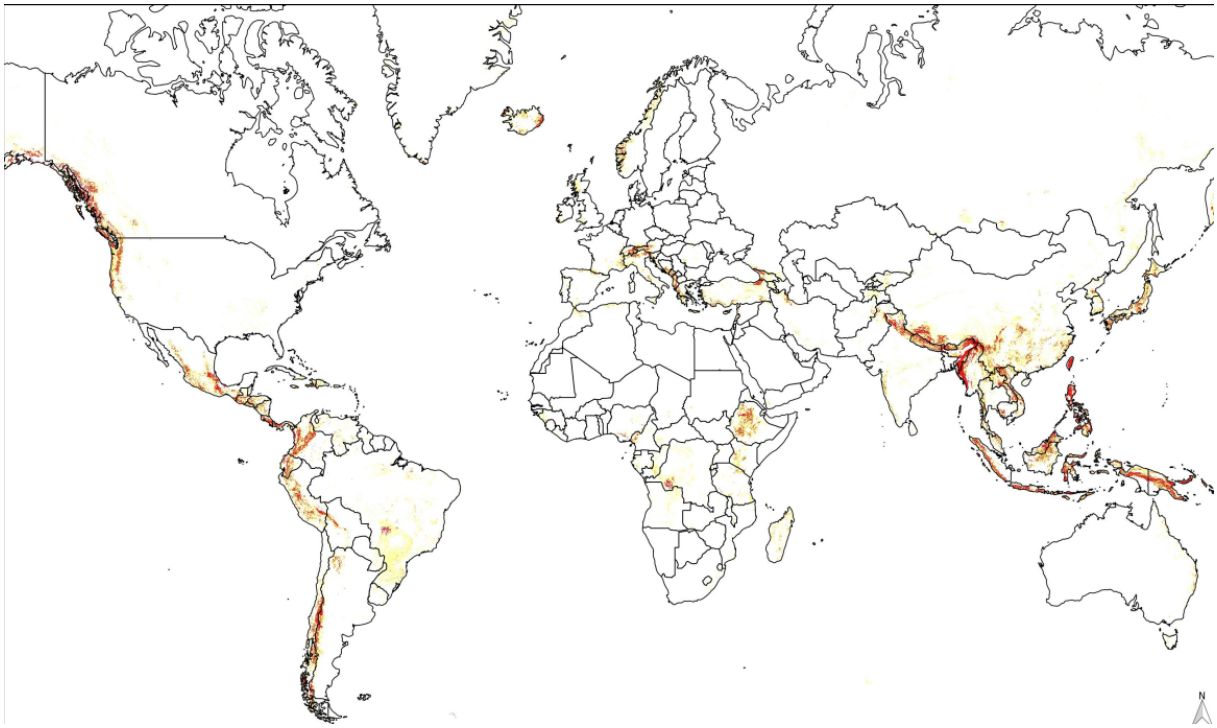
El indicador ya no se tuvo en cuenta en el nuevo GAR 2015, por lo que se utilizaron los datos del GAR 2013. Para representar los peligros potenciales, los autores de los datos elaboraron un índice con cuatro categorías (bajo, medio, alto, muy alto). La aplicación de este índice en la instrucción de medición se muestra en la tabla 3-8.

Tabla 3- 8: Evaluación del sub-indicador "Peligro de deslizamientos"

Evaluación del sub-indicador "Peligro de deslizamientos desatados por precipitaciones"	
Bajo	Bajo (verde)
Medio	Medio (amarillo)
Alto, Muy alto	Alto (rojo)

La Figura 3-7 da una vista general de la distribución global del peligro de deslizamientos de tierra con las asignaciones de la Tabla 3-8. De acuerdo a los datos, el 5,2% de la superficie terrestre es susceptible a un potencial de peligro "medio" (amarillo) y un 2,4% sufre un potencial de peligro "alto" (rojo).

Figura 3-7: Distribución del peligro de deslizamientos en base a la evaluación de OekoRess (amarillo = "medio"; rojo = "alto")



Fuente: Datos básicos: UNISDR, 2013; cartografía ifeu.

3.3.1.3 Peligro de tormentas tropicales

Año tras año, las tormentas tropicales cobran la vida de centenares de personas y provocan importantes pérdidas económicas. Las tormentas tropicales desatan una serie de acontecimientos que amenazan a los seres humanos y sus infraestructuras, como p.ej. vientos

huracanados, precipitaciones fuertes y marejadas ciclónicas. La formación de tormentas tropicales se concentra en una zona comprendida entre los 5 y 30 grados de latitud (norte y sur) (Schönwiese 2013). En esta región se forman aproximadamente 80 tormentas al año. No todas las tormentas tienen la misma intensidad, lo que significa que hay años relativamente tranquilos, pero también han habido eventos desastrosos como el huracán Katrina, que provocó la muerte de 1.800 personas en Estados Unidos en el 2005.

Los datos de las tormentas tropicales se registran durante largas temporadas en bases de datos meteorológicos. A partir de ellos, la UNISDR elaboró mapas de peligro en su "Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres" (UNISDR 2015a). Mediante un análisis estadístico de la distribución de las tormentas a lo largo de los períodos disponibles, se crearon mapas de peligro que representan los picos previstos de la velocidad de viento para diferentes períodos de recurrencia.

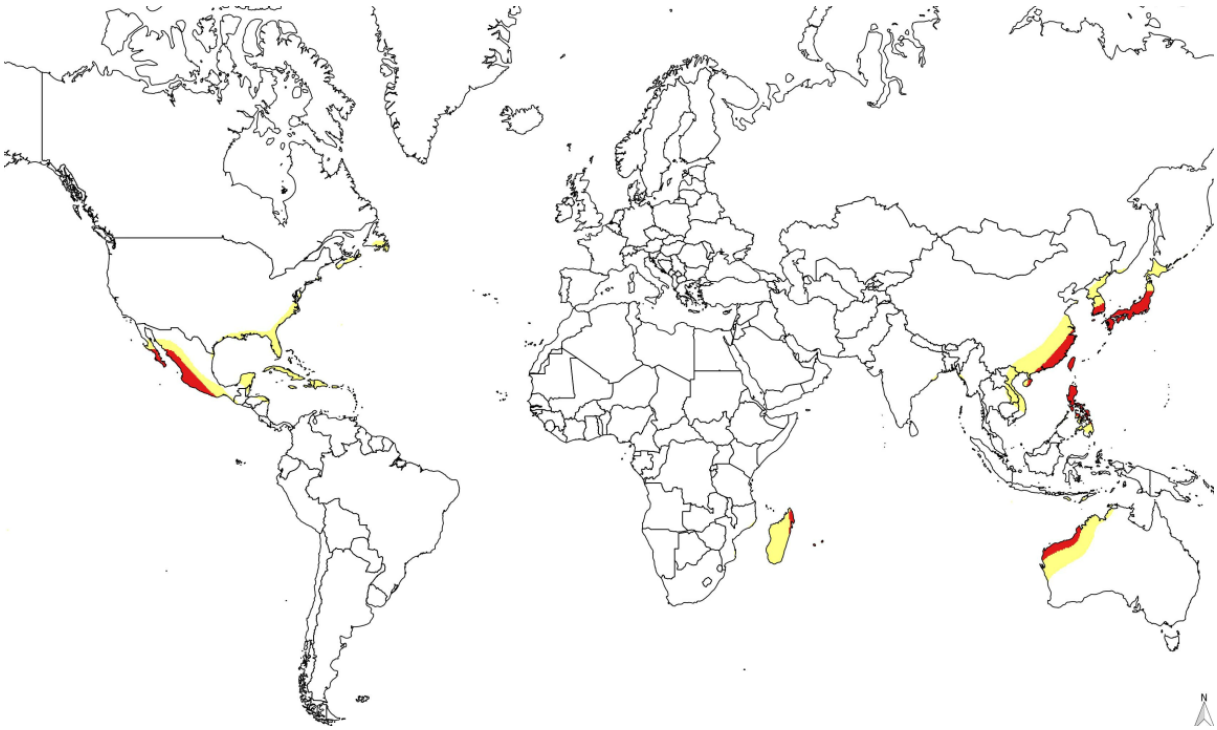
Para este proyecto, se seleccionó el conjunto de datos "peligro de tormentas tropicales" para un período de 100 años (UNISDR 2015a). En él, se expresa, de forma similar al término "inundación del siglo", las velocidades máximas de viento previstas para las tormentas tropicales para un período de observación de cien años. Para mapear los peligros potencailes, se formó un índice con los cinco grupos de intensidad del GAR 2015. La Tabla 3-9 muestra cómo se aplican estos grupos de intensidad en la "Instrucción de medición".

Tabla 3- 9: Evaluación del sub-indicador "Peligro de tormentas tropicales"

Evaluación del "Peligro de tormentas tropicales con las velocidades de viento máximas del siglo"	
119–153 km/h	Bajo (verde)
154–177 km/h y 178–208 km/h	Medio (amarillo)
209–251 km/h y > 252 km/h	Alto (rojo)

La figura 3-8 da una vista general de la distribución global del peligro de tormentas tropicales de acuerdo a la tabla 3-9. Según los datos, un 3% de la superficie terrestre es susceptible a un potencial de peligro "medio" (amarillo) y el 1% sufre un potencial de peligro "alto" (rojo).

Figura 3-8: Distribución del peligro de tormentas tropicales según la evaluación de OekoRess (amarillo = "medio"; rojo = "alto")



Fuente: Datos básicos: UNISDR, 2015b; cartografía: ifeu.

3.3.1.4 Peligro de inundaciones

El desastre más frecuente que afecta a la humanidad es la inundación. Las inundaciones pueden tener diferentes causas e intensidades. Periódicamente, ocurren inundaciones, las cuales son procesos naturales, a los que nos hemos adaptado. Las catástrofes humanitarias y la destrucción material se producen cuando la intensidad de las inundaciones se desvía enormemente de la norma, o cuando las inundaciones ocurren por acontecimientos particulares, como precipitaciones severas o deshielos imprevistos. Estos acontecimientos extremos cuestan vidas y causan pérdidas económicas, ya que la sociedad y las infraestructuras no están adaptadas para enfrentar sus impactos. En consecuencia, las inundaciones también constituyen un peligro para los emplazamientos mineros, porque pueden inundar las instalaciones y arrastrar sustancias nocivas.

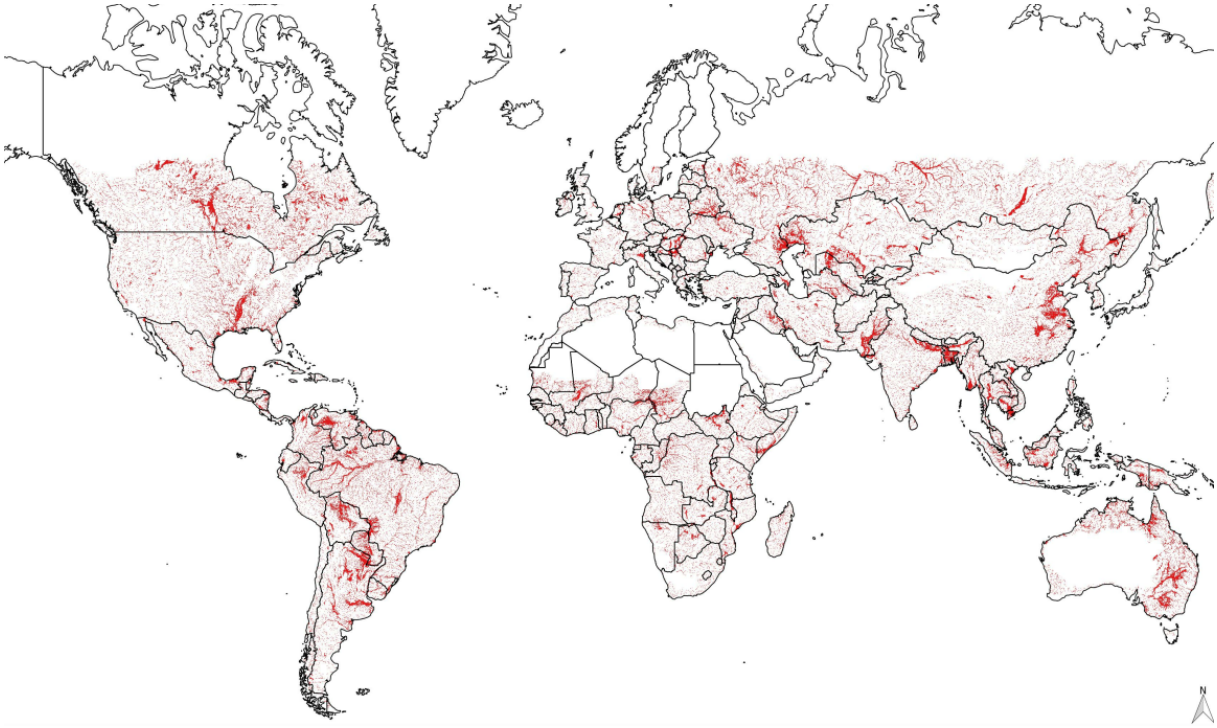
El GAR 2015 examina el peligro de inundaciones provocadas por las crecidas de los ríos. En comparación con el GAR 2013, el conjunto de datos para el GAR 2015 fue revisado y mejorado por la Fundación CIMA y PNUMA-GRID. A partir de esto, se produjeron mapas de peligro de inundaciones para seis diferentes períodos de observación (T= 25, 50, 100, 200, 500, 1.000 años). La resolución espacial es de 1 km x 1 km. Para analizar los peligros potenciales con respecto a los emplazamientos mineros, se seleccionó un período de observación de 100 años. La unidad del mapa de peligros es la altitud máxima de inundación prevista (en centímetros) en el espacio de cien años. En la representación en el GAR 2015, no se realizaron otras agrupaciones en categorías de peligro, por lo que se asigna un potencial de peligro "alto" (rojo) en cuanto se produce una inundación medible de al menos 5 cm. La Tabla 3-10 visualiza la aplicación de los límites para la instrucción de medición.

Tabla 3- 10: Evaluación del sub-indicador "Peligro de inundaciones"

Evaluación del peligro de inundaciones basada en el "nivel máximo de inundación en un período de cien años"	
Sin especificar y < 5 cm	Bajo (verde)
≥ 5 cm	Alto (rojo)

La figura 3-9 ofrece una visión general de la distribución global de las zonas con peligro de inundaciones con la asignación según la tabla 3-10. De acuerdo a esto, aproximadamente un 10% de la superficie de tierra firme se evalúa con un potencial de peligro "alto" (rojo). Debido a la limitada extensión geográfica de los parámetros de entrada[40] del modelo, solo se pueden mostrar las inundaciones entre los 60 grados de latitud norte y los 56 grados de latitud sur.

Figura 3-9: Distribución del peligro de inundaciones según la evaluación de OekoRess (rojo = "alto")



Fuente: Datos básicos: UNISDR, 2015b; datos básicos: CIMA Foundation y UNEP-GRID; cartografía: ifeu.

3.3.1.5 Norma especial: Peligros para las regiones del Ártico y la Antártida

En las regiones del Ártico y la Antártida aumenta el peligro potencial debido a las condiciones climáticas extremas. Las tormentas polares, las inundaciones por deshielo y la dinámica del permafrost a lo largo del año aumentan, entre otras cosas, el riesgo para la seguridad de las instalaciones técnicas mineras como, sobre todo, las lagunas de relaves y los depósitos de residuos mineros. Estas condiciones meteorológicas no aparecen suficientemente representadas

[40] La misión *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) registró datos de elevación de la superficie terrestre entre los 60 grados de latitud norte y los 56 grados de latitud sur. Estos datos pertenecen, entre otros, a los parámetros de entrada del conjunto de datos sobre inundaciones de la Fundación CIMA y PNUMA-GRID.

por los cuatro sub-indicadores citados y no se dispone de ningún conjunto de datos globales relevantes para los eventos extremos mencionados.

Dado que el Ártico y la Antártida son ecosistemas altamente sensibles y que su capacidad de regeneración es limitada debido a las bajas tasas de mineralización y limitada descomposición biológica, se definió una regla de evaluación independiente para estas regiones. La Antártida está protegida por un período de tiempo definido a través del Tratado Antártico y otros acuerdos relacionados[41]. En particular, el Tratado Antártico fue complementado por el Protocolo de 1991 a través de la resolución de la Reunión Consultativa XVI sobre las áreas protegidas de la Antártida; ésta da las razones para un sistema de protección ambiental integral para la Antártida, lo que incluye un código de conducta para el comportamiento compatible con el medioambiente y prohíbe las actividades mineras. Las disposiciones solo podrán ser rescindidas después de 50 años en una conferencia de revisión. Por consiguiente, la Antártida ya no se considera en las instrucciones de medición.

Para el Ártico no existe una protección global equivalente. Por eso se adoptó un enfoque conservador para esta región, asignándole un potencial general de peligro "medio" (amarillo). La delimitación del Ártico en esta evaluación se tomó del "Programa de Supervisión y Evaluación del Ártico" (AMAP, por sus siglas en inglés), un grupo de trabajo del Consejo Ártico[42]. El AMAP participa en programas internacionales para la reducción de las emisiones y el impacto del cambio climático. A este fin, el AMAP publica periódicamente informes sobre la situación en el Ártico[43]. Como base de trabajo, la región del Ártico se define conforme al AMAP, de acuerdo a diferentes criterios (Murray et al. 1998). El territorio comprende 13,4 millones de km^2, es decir, el 9% de toda la superficie terrestre (cf. figura 3-10).

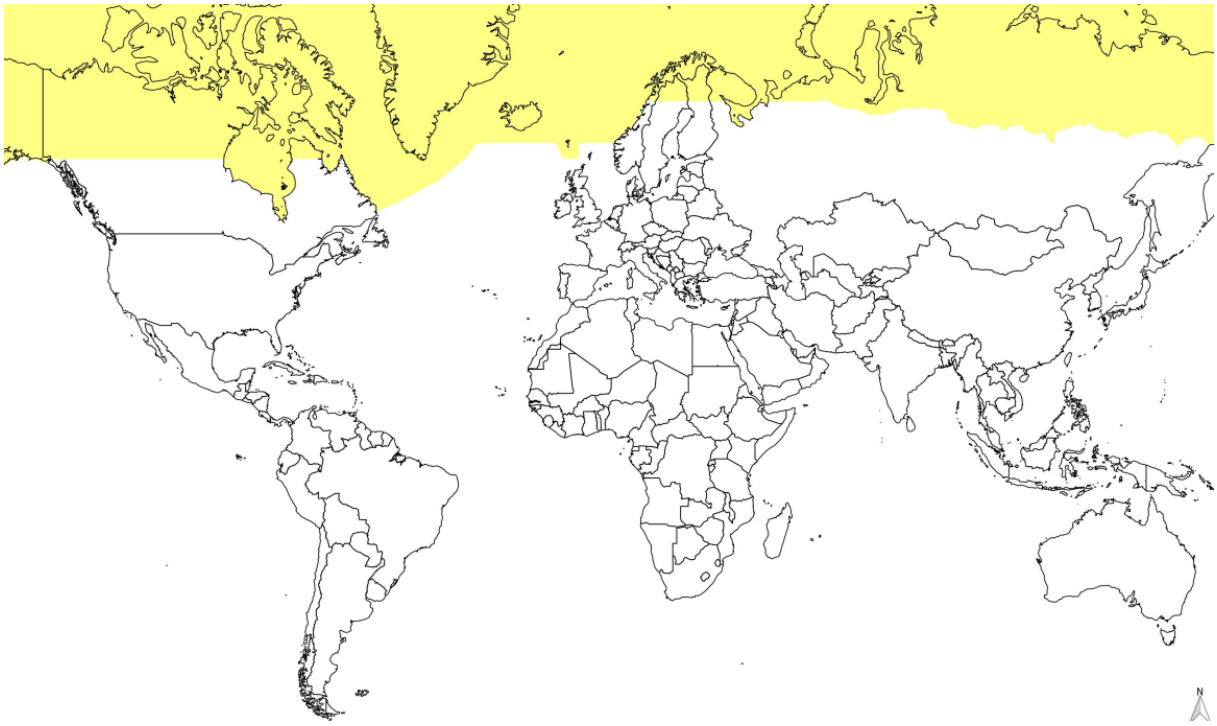
[41] El Tratado Antártico fue firmado el 1° de diciembre de 1959 por 12 Estados miembros contratantes y entró en vigor el 23 de junio de 1961. Se refiere a la región situada al sur de los 60 grados de latitud sur. Desde entonces, el Tratado ha sido firmado por otros 41 Estados más, de los cuales, además de los 12 signatarios originales, 17 se convirtieron en Estados consultativos (Estados con derecho a voto). El Protocolo de Protección del Medio Ambiente, añadido en 1991, entró en vigor el 14 de enero de 1998. Fue ratificado por los 29 Estados consultativos actuales. De los 24 Estados no consultativos, ocho han firmado el Protocolo de Medio Ambiente.

(http://www.ats.aq/e/ats_meetings_atcm.htm; http://www.ats.aq/devAS/ats_parties.aspx?lang=e).

[42] Un foro intergubernamental destinado a reforzar la cooperación entre los Estados del Ártico y sus habitantes. Se centra en las necesidades específicas de los habitantes y la protección ambiental del Ártico.

[43] Puede descargar los datos espaciales en: http://www.amap.no/about/geographical-coverage (último acceso el 4 de agosto 2016).

Figura 3-10: La región del Ártico conforme a AMAP con las evaluaciones de OekoRess (amarillo = "medio")



Fuente: Datos básicos: AMAP, 1998; cartografía: ifeu.

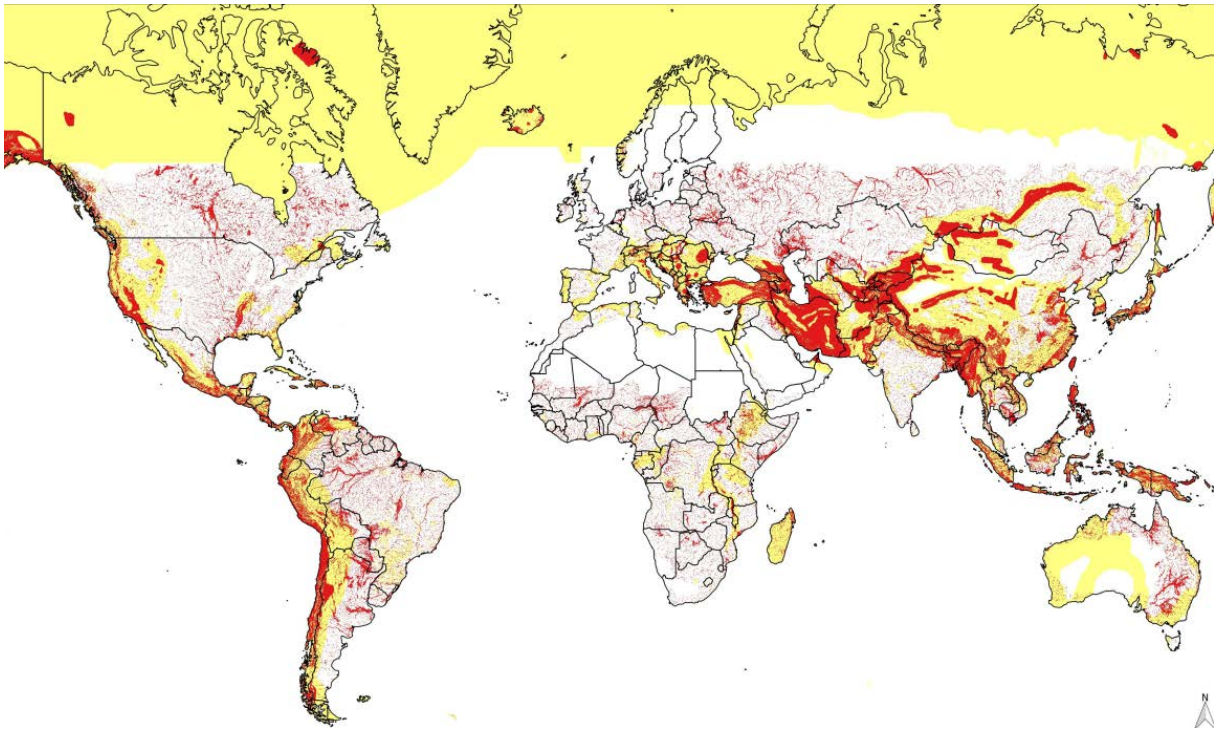
3.3.1.6 Combinación de los sub-indicadores - evaluación de "Peligro de accidentes causados por desastres naturales"

Es imposible evaluar adecuadamente el objetivo "Evitar accidentes por causas naturales" con un único indicador. Los sub-indicadores descritos anteriormente y la regla especial para el Ártico tienen carácter excluyente. No obstante, para representar el objetivo con un único indicador en la matriz de evaluación, los sub-indicadores se combinan en un único valor.

Como cada uno de los sub-indicadores es significativo por sí mismo, la evaluación sintetizada se realiza según el principio del máximo: el emplazamiento se evalúa con el valor más alto de estos sub-indicadores.

Esto significa que, si uno de los cuatro sub-indicadores indica "rojo" para un yacimiento, se le asignará un potencial de peligro ambiental "alto" al yacimiento; y si uno de los sub-indicadores muestra "amarillo", se le asignará el potencial de peligro ambiental "medio". Solo cuando ninguno de los indicadores muestre "rojo" o "amarillo", el yacimiento se evaluará con el potencial de peligro ambiental "bajo". La figura 3-11 representa la combinación de los sub-indicadores según el principio del máximo en un mapa.

Figura 3-11: Combinación de los sub-indicadores "Peligro de accidentes causados por desastres naturales" con la evaluación de OekoRess (amarillo = "medio"; rojo = "alto")



Fuente: Datos básicos: Shedlock et al., 2000; UNISDR, 2013, 2015b; Fundación CIMA y UNEP-GRID; AMAP, 1998; cartografía: ifeu.

3.3.2 Nivel "Emplazamiento (entorno)", campo "Entorno natural", indicador "Índice de estrés hídrico (WSI) y áreas desérticas"

La extracción de materias primas está asociada a una gran necesidad de agua que depende del tamaño, la intensidad, la tecnología y la geología de la operación minera. Según la situación hidrológica, esto puede ocasionar una competencia por el uso de agua, p.ej. con la agricultura. El peligro de competencia por el uso de agua se da sobre todo en los emplazamientos donde el agua ya escasea o donde ya se extrae mucha agua.

Para representar eficazmente ambos aspectos, el indicador que se utiliza aquí es el "Índice de estrés hídrico" (WSI, por sus siglas en inglés). Según Pfister et al. (2009), el Índice de estrés hídrico / WSI se basa en la relación entre la extracción anual de agua dulce y la disponibilidad hídrica[44]:

WTA = consumo de agua / disponibilidad de agua

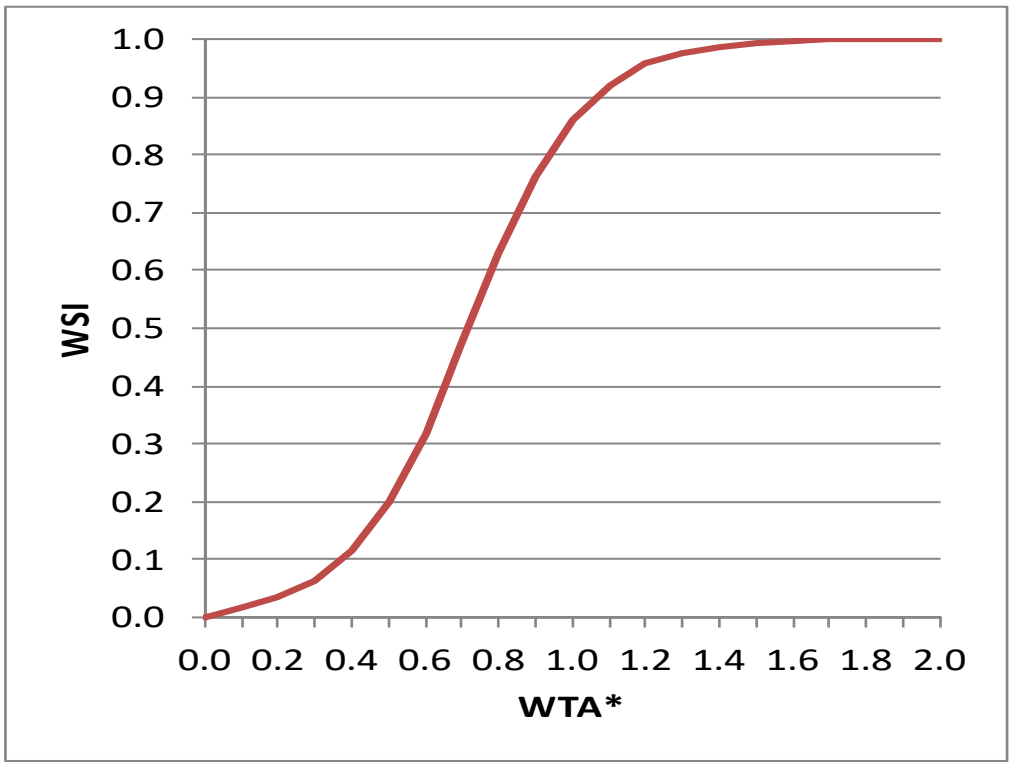
En este caso, la disponibilidad hídrica será la media anual, basada en los datos del llamado "período normal climático 1961-1990". Para tener en cuenta las fluctuaciones estacionales de la disponibilidad hídrica causadas por variaciones cuantitativas de la precipitación o evaporación, se introdujo un factor de variación (VF por sus siglas en inglés) (para cada cuenca hidrográfica) y se calculó un WTA* (WTA modificado).

El WTA* no es lineal. Para obtener valores continuos de evaluación entre el 0,01 y 1, el WTA* fue convertido mediante una función logarítmica al "WSI". Cuando el valor de WSI se sitúa debajo de

[44] Pfister et al. (2009): "disponibilidad hidrológica (WTA, por sus siglas en ingles: "**W**ithdrawal **T**o **A**vailability" o "captación de acuerdo a disponibilidad")

0,01, se trata de un estrés hídrico mínimo, ya que todo uso de agua tendrá un efecto local, aunque sea solo marginal (Pfister et al. 2009). La figura 3-12 muestra la relación entre el WTA* y el WSI, así como la fórmula para calcular el WSI.

Figura 3-12: Relación entre el WSI y WTA* con la fórmula para calcular el WSI.



$$WSI = \frac{1}{1 + e^{-6.4 \times WTA*}\left(\frac{1}{0.01} - 1\right)}$$

Datos básicos de acuerdo a Pfister et al., 2019

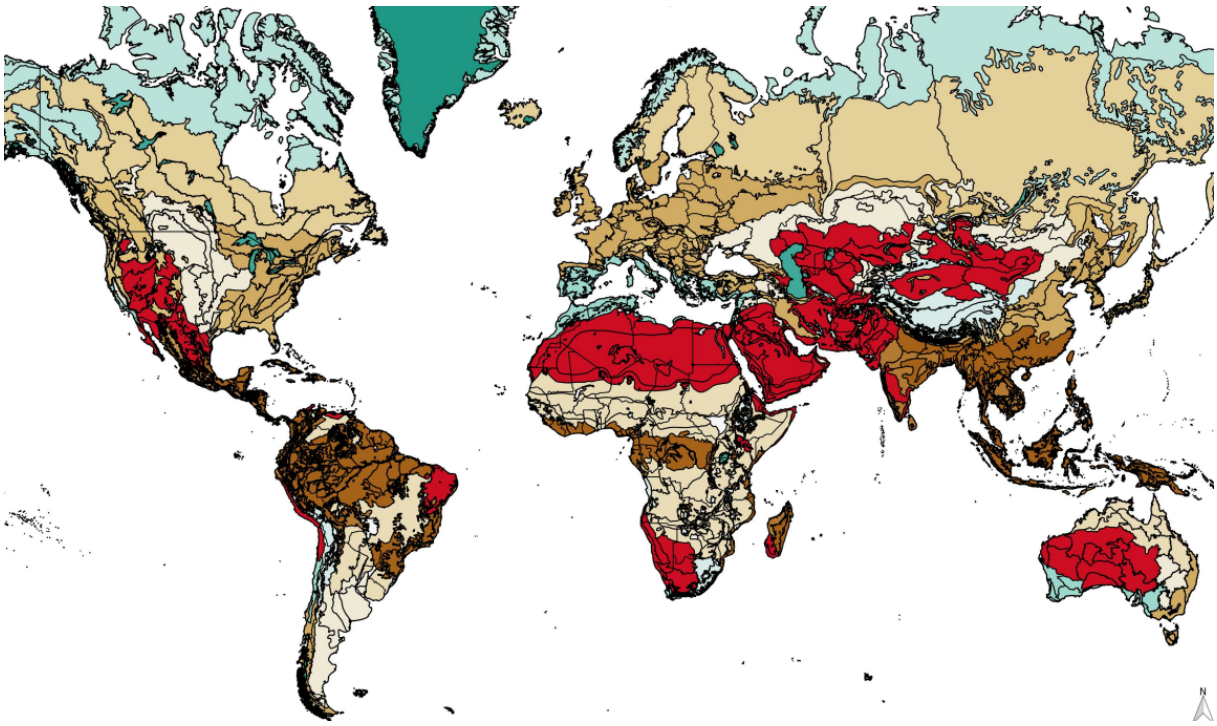
La curva WSI fue creada de tal manera que el punto de inflexión en WSI=0,5 corresponde al WTA de 0,4, que representa el valor umbral entre un estrés hídrico moderado y uno severo (con $VF_{mediana}$ = 1,8; WTA* = 0,72). En Pfister et al. (2009) no se distingue entre el estrés hídrico mínimo y el moderado. El valor medio entre "mínimo" (WSI < 0,01) y "severo" (WSI > 0,5) se sitúa en un WSI de 0,09 (WTA 0,2; WTA* 0,36). En Alemania, los valores del WSI suelen estar por debajo de 0,13[45]. Según la Agencia Federal de Medioambiente, los datos nacionales muestran que en Alemania no hay estrés hídrico (UBA 2015). En consecuencia, el límite entre el estrés hídrico "bajo" y el "moderado" se establece en 0,15.

Sin embargo, el WSI no representa adecuadamente algunas regiones desérticas del mundo (p. ej. el estrés hídrico "muy bajo" para los desiertos de Australia Occidental). Esto se debe a la definición del indicador, que, además de la disponibilidad de agua, recoge también su extracción. En regiones muy poco pobladas, esto también se traduce en una baja extracción de agua y en algunas regiones desérticas, en un valor bajo del WSI. Por lo tanto, para el objetivo de "Evitar la competencia por el uso del agua" resulta insuficiente limitarse al WSI. En consecuencia, además del WSI, también se considera el factor de emplazamiento "área desértica". La figura 3-13

[45] Excepción: la región fronteriza entre Renania del Norte-Westfalia (Alemania y Bélgica/Países Bajos (WSI 0.2981)

muestra las regiones desérticas terrestres utilizando la clasificación del WWF[46]. La evaluación de OekoRess les asignó un potencial de peligro "alto" (rojo) a desiertos y matorrales xerófilos, mostrados en rojo.

Figura 3-13: Eco-regiones terrestres en tierra firme según el WWF (las regiones desérticas aparecen en rojo)



Fuente: Datos básicos: Olson et al., 2001; cartografía: ifeu.

La evaluación del "Índice de estrés hídrico y de las áreas desérticas" resultante se visualiza en la tabla 3-11.

Objetivo de la medición: Evitar la competencia por el uso de agua

Tabla 3- 11: Indicador para la evaluación del "Índice de estrés hídrico y áreas desérticas"

Evaluación del Índice de estrés hídrico (WSI, por sus siglas en inglés) y áreas desérticas			
WSI	0 a < 0,15	Estrés hídrico bajo	Bajo (verde)
WSI	0,15 a 0.5	Estrés hídrico moderado	Medio (amarillo)
WSI	> 0,5	Estrés hídrico grave	Alto (rojo)
Áreas desérticas		Área desértica según la clasificación del WWF	

Para determinar el WSI de los emplazamientos mineros, se utilizó la capa de Google Earth™ publicada por Pfister et al. (2009), que muestra el WSI en todo el mundo a nivel de cuenca[47]. La figura 3-14 muestra la distribución global del WSI y la evaluación conforme a la tabla 3-11.

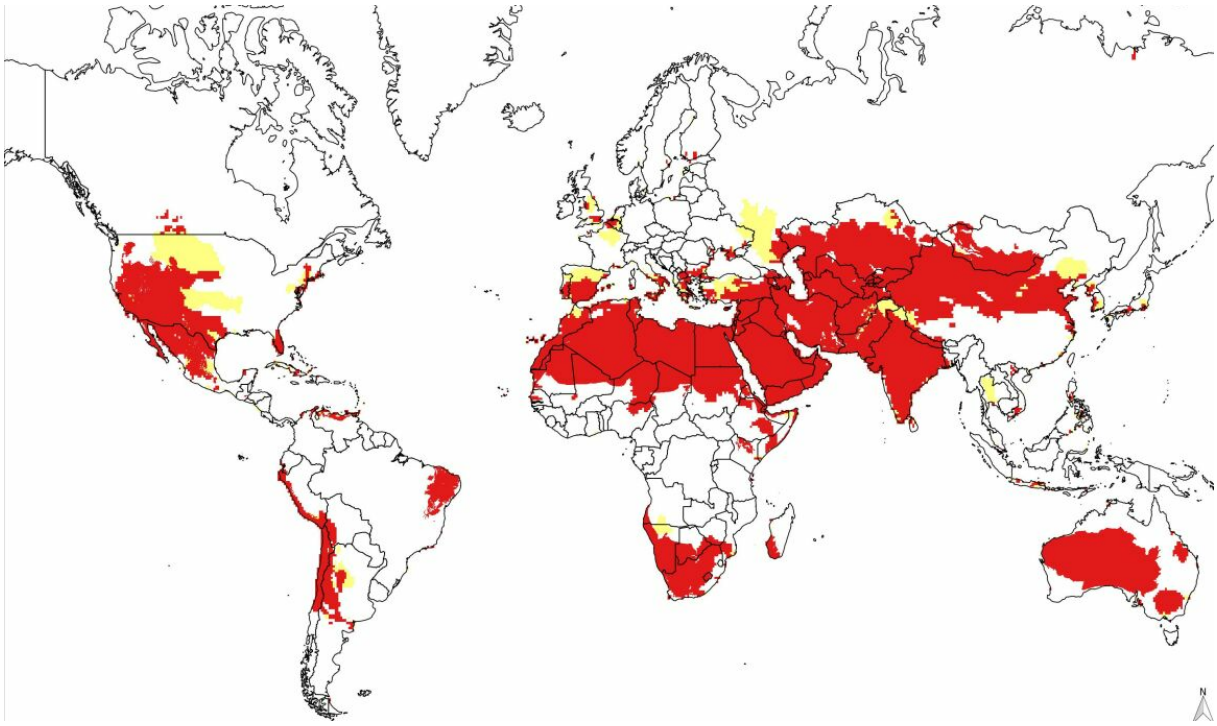
[46] Los datos pueden descargarse en el sitio web del WWF: http://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world (último acceso el 4 de agosto 2016)

[47] http://www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/EI99plus/Impact_factors_Water_LCA_pfister_et_al.kmz (última consulta el 13 de julio 2015)

Los valores del WSI se pueden obtener directamente si se conoce la ubicación geográfica de la región minera por evaluar. Cuando una región minera se extiende en diferentes cuencas hidrográficas con diferentes valores de WSI, se tomará un enfoque conservador, asumiendo siempre el valor más alto.

El WSI contempla los aspectos cuantitativos del uso de agua. También son muy importantes los aspectos cualitativos de su uso (alteración de la calidad del agua). Sin embargo, hasta ahora no ha sido posible hacer una evaluación sistemática de este aspecto a nivel mundial. En el sistema de evaluación desarrollado que se presenta en este informe, el potencial de peligro de contaminación del agua, al igual que el de otras matrices ambientales, está indirectamente representado por los indicadores del objetivo "Evitar riesgo de contaminación" (véase el apartado **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Figura 3-14: Distribución del peligro de competencia por el uso del agua en base a la evaluación de OekoRess (amarillo = "medio"; rojo = "alto")



Fuente: Datos básicos: Pfister et al., 2009; WWF; cartografía: ifeu.

3.3.3 Nivel "Entorno", campo "Entorno natural", indicador "Áreas protegidas y sitios AZE"

La extracción de materias primas abióticas en el contexto de la minería constituye el tramo de la cadena de producción global que más interfiere directamente con la naturaleza. Además, las repercusiones ambientales pueden trascender el propio emplazamiento minero (p. ej. por la construcción de caminos y carreteras, contaminación del agua). Lo ideal sería contar con un indicador para evaluar la protección o preservación de ecosistemas valiosos o servicios ecosistémicos para indicar todas las áreas ambientalmente sensibles que requieren protección.

Sin embargo, hasta la fecha, esto no ha sido posible, ya que a nivel mundial no existen estudios o mapas sistemáticos para esta consideración.

Al principio, a modo de criterio mínimo, se deben tomar como base las zonas protegidas ya oficialmente designadas como indicador del objetivo "Proteger ecosistemas importantes". Las áreas protegidas oficialmente designadas incluyen, p.ej. los sitios de Patrimonio Mundial Natural de la UNESCO designados en base a la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural[48] y las "áreas protegidas" del Programa Mundial de Áreas Protegidas de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)[49].

También se incluyen las áreas protegidas designadas en el marco del Convenio de Ramsar[50] para cumplir los objetivos del Convenio sobre la Diversidad Biológica[51].

Para la clasificación en la matriz de evaluación, las áreas protegidas deben diferenciarse según su "valor". Esto se basa en el borrador de las normas de la "Iniciativa para Asegurar una Minería Responsable" (IRMA, por sus siglas en inglés). En éste, IRMA establece que las "áreas altamente protegidas" son "zonas prohibidas" mientras que las "áreas protegidas" deben tratarse como casos especiales (la exploración y explotación minera pueden llevarse a cabo, si las actividades cumplen los objetivos de protección del área protegida; si procede, se deberá indemnizar).

Son "áreas altamente protegidas":

- los sitios de Patrimonio Mundial,
- los candidatos a sitios de Patrimonio Mundial,
- las áreas protegidas de las categorías I-IV de la UICN,
- las áreas marinas protegidas de las categorías I-V[52],
- las áreas centrales de las Reservas de Biosfera de la UNESCO[53].

Son "áreas protegidas":

- las áreas protegidas de las categorías V-VI de la UICN,
- los sitios *Ramsar* que aún no han sido designados áreas protegidas de categorías I-IV de la UICN,
- los sitios *Natura 2000*,
- las "Reservas de biosfera" de la UNESCO que no pertenecen a las áreas centrales,
- las "Áreas Conservadas por Pueblos Indígenas y Comunidades (ICCA, por sus siglas en inglés)", en las que se haya demostrado el consentimiento libre, previo e informado (CLPI), en cumplimiento de los requisitos del Capítulo 2.10,
- las "Áreas importantes para las aves" (IBA, por sus siglas en inglés),

[48] http://whc.unesco.org/en/list/

[49] http://www.iucn.org/about/work/programmes/gpap_home/gpap_quality/gpap_pacategories/

[50] http://www.bfn.de/0310_ramsar.html

[51] Convenio sobre la Diversidad Biológica, (CBD, por sus siglas en ingles)

[52] http://cmsdata.iucn.org/downloads/uicn_categoriesamp_eng.pdf

[53] http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/world-network-wnbr/wnbr/

- las áreas oficiales de amortiguamiento ambiental (*buffer zones*) de los sitios designados como "áreas altamente protegidas" y otras áreas fuera de los límites de éstas, donde las actividades mineras puedan afectar los valores para cuya protección se designó el área altamente protegida,
- los sitios que actualmente están en la lista provisional oficial de un Estado miembro para su inscripción en el Patrimonio Mundial[54],
- otras áreas protegidas designadas oficialmente.

Más allá de las áreas de protección designadas oficialmente, existen designaciones internacionalmente reconocidas de áreas especialmente sensibles desde el punto de vista ambiental, como los sitios AZE, designados por la "Alianza para la Extinción Cero" (AZE, por sus siglas en inglés). Se trata de áreas donde se ha establecido al menos una especie en riesgo de extinción (se señalan "en peligro" o "peligro crítico" en la "Lista roja de especies amenazadas" de la UICN). La información sobre los sitios AZE se puede encontrar en un informe de 2005[55]; la lista fue actualizada en 2010 y 2018: en todo el mundo se han identificado 1.483 especies en 853 áreas[56].

Objetivo de la medición: Proteger/conservar ecosistemas importantes

Tabla 3- 12: Evaluación del indicador "Áreas protegidas y sitios AZE"

Evaluación del potencial de peligros ambientales para las áreas protegidas designadas y los sitios AZE		
Área no protegida	Sin designar / no es sitio AZE	Bajo (verde)
Área protegida	Las demás áreas oficialmente protegidas y los sitios AZE	Medio (amarillo)
Área de alta protección	Sitios de Patrimonio Mundial de la UNESCO, sitios nominados "Patrimonio Mundial", áreas protegidas de las categorías I-IV de la UICN, áreas centrales de las Reservas de Biosfera de la UNESCO	Alto (rojo)

En la medida de lo posible, deben incluirse en la evaluación las áreas designadas como ecosistemas importantes. La instrucción de medición para clasificar los resultados del análisis, que muestra la tabla 3-12, comprende todas las áreas protegidas oficialmente designadas y los correspondientes sitios AZE, si son relevantes para este proyecto[57].

Las áreas protegidas oficialmente designadas están documentadas en una base de datos global de áreas protegidas: la "Base de datos mundial de áreas protegidas" (WDPA, por sus siglas en inglés), una iniciativa conjunta de la UICN y el PNUMA-WCMC. Los detalles están disponibles en

[54] http://whc.unesco.org/en/tentativelists

[55] http://www.abcbirds.org/newsandreports/special_reports/AZE_report.pdf

[56] https://zeroextinction.org/conservation/links-with-key-biodiversity-areas/ (consultado: 20/05/2020)

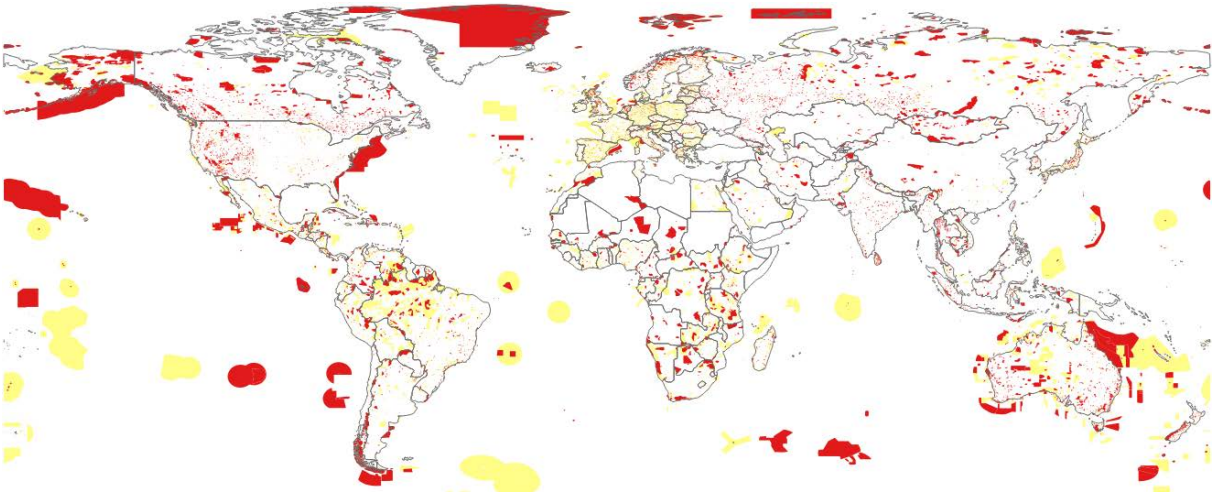
[57] No se evalúan las áreas protegidas marinas de las categoría I-V de la UICN, ya que en este proyecto solo se tienen en cuenta los emplazamientos mineros terrestres.

línea en: ProtectedPlanet.net[58]. El mapa permite obtener más información, p.ej. la categoría de la UICN, que asigna las clasificaciones "área altamente protegida" o "área protegida".

Los datos geo-referenciados de los sitios AZE se actualizan constantemente en la base de datos mundial de áreas clave para la biodiversidad, gestionada por BirdLife International[59].

Se pudieron descargar los conjuntos de datos de estas dos distintas plataformas[60]. Una vez procesados, los datos pueden utilizarse para los análisis [61]. La figura 3-15 ofrece una visión general de la distribución mundial de las áreas protegidas con la evaluación de acuerdo a la tabla 3-12.

Figura 3-15: Distribución de áreas protegidas designadas y de los sitios AZE según la evaluación de OekoRess (potencial de peligro ambiental amarillo = "medio"; rojo = "alto")



Fuente: Satos básicos: protecedplanet.net y keybiodiversityareas.org (conjunto de datos diciembre 2019); cartografía: ifeu.

3.3.4 Nivel "Emplazamiento (entorno)", campo "Contexto social", indicador "Potencial de conflictos con la población aledaña"

Contexto

En la investigación de conflictos se considera indiscutible que puede haber una conexión entre los yacimientos minerales con conflictos[62]. Cabe señalar que la investigación en ciencias sociales no considera negativa *per se* la existencia de un conflicto. Los conflictos se interpretan generalmente como expresión de intereses divergentes, es decir, son situaciones inevitables en las sociedades modernas. La evaluación de los conflictos está vinculada en última instancia a la pregunta de cómo se los resuelve.

[58] ProtectedPlanet.net: http://www.protectedplanet.net/

[59] BirdLife International: http://www.keybiodiversityareas.org

[60] Los datos se descargaron en diciembre de 2019 y se procesaron posteriormente para el análisis del EPH. Fue necesario solicitar los datos de la AZE proporcionando información sobre el proyecto OekoRess III. Thomas Lambert, de BirdLife International, aprobó la nueva solicitud (Email 2019-12-10).

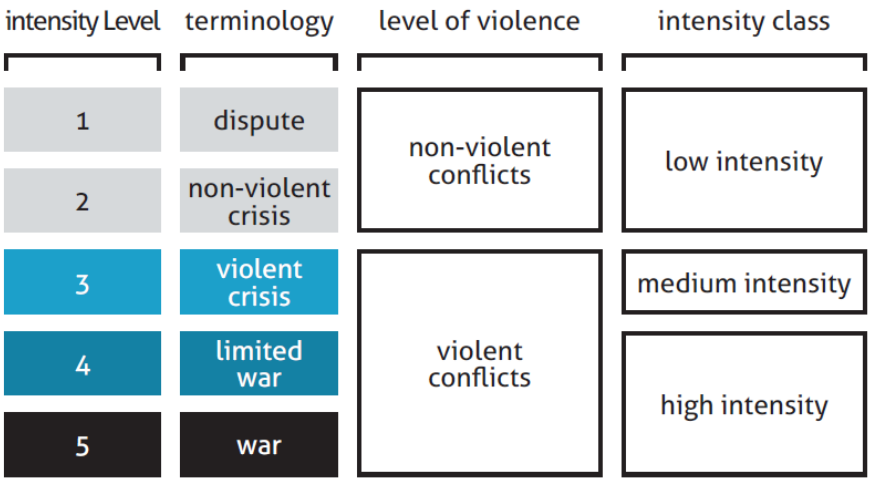
[61] Cabe señalar que el conjunto de datos de protectedplanet.net se actualiza constantemente y, a veces, la información es incompleta. Además, en el conjunto de datos solo aparecen los sitios designados como Patrimonio Mundial y la superficie total (zona central y zona de seguridad (*buffer*)) de las Reservas de Biosfera de la UNESCO. Los sitios designados como Patrimonio Mundial y las zonas centrales de las Reservas de Biosfera de la UNESCO no pueden, hasta la fecha, mostrarse por separado con el conjunto de datos. Sin embargo, al considerar los proyectos mineros individuales, esto debería tenerse en consideración.

[62] A su vez, se discute si la presencia de recursos minerales aumenta realmente la probabilidad de que se produzcan conflictos armados o no (véase, entre otros, McNeish 2010). Este debate no es directamente relevante para el método de evaluación que sigue.

En general, la gama de conflictos abarca desde los casos en los que los conflictos se negocian de forma pacífica y satisfactoria para todas las partes implicadas, hasta situaciones en las que los grupos implicados intentan hacer valer sus intereses por la fuerza. Las formas intermedias son situaciones en las que los conflictos de intereses no se pueden negociar satisfactoriamente durante un período prolongado, lo que implica la posibilidad de que se produzcan brotes de violencia en el futuro.

Considerando las situaciones de conflicto, el Instituto de Investigación de Conflictos Internacionales de Heidelberg (HIIK, por sus siglas en alemán) ha desarrollado un sistema de clasificación en cinco partes, que agrupa los conflictos existentes según su intensidad (HIIK, 2014).

Figura 3-16: Clasificación de los conflictos en base a su intensidad



Fuente: HIIK, 2014

El Instituto de Investigación Internacional de Conflictos de Heidelberg aplica este sistema para el registro anual de conflictos en todo el mundo y para asignarles uno o varios objetos (*ítems*) conflictivos. En este caso, los "recursos", es decir, los yacimientos minerales, son uno de un total de diez posibles objetos conflictivos. Por lo tanto, mediante este barómetro de conflictos es posible estimar el efecto conflictivo de un proyecto minero, al menos en retrospectiva.

Sin embargo, dado que este procedimiento solo es aplicable a los proyectos existentes, los autores recomendaron un procedimiento alternativo para la evaluación en las instrucciones de medición originales, que se basaba esencialmente en su propia estimación de los requisitos socio-políticos para la resolución pacífica y completa de conflictos. Considerando que los conflictos por el uso de la tierra inducidos por el medioambiente pueden negociarse generalmente de forma pacífica cuando en un país existen (1) libertad de expresión y (2) poca corrupción, se seleccionaron los dos Indicadores de Gobernanza Mundiales (WGI, por sus siglas en inglés) del Banco Mundial, "Participación política y rendición de cuentas" y "Control de la corrupción".

Para esta versión actualizada, los autores siguen calificando de "muy relevante" el potencial de conflictos ocasionados por temas ambientales con la población aledaña. Sin embargo, el EPH debería ser evaluado en base a un adecuado indicador en función del emplazamiento, que actualmente no está disponible a nivel global. En lugar de utilizar los indicadores específicos de cada país a modo de aproximación, los autores recomiendan no evaluar el EPH por el momento,

sino más bien considerar cualitativamente la información de contexto general sobre la gobernanza ambiental.

La información de contexto adecuada sobre la gobernanza ambiental es por ejemplo la siguiente:

Indicadores o información del marco legal a nivel de país / Estado:

- Indicador de desempeño ambiental (EPI, por sus siglas en inglés)[63] .Este indicador no representa los (potenciales) conflictos y se sitúa además a nivel de países. Sin embargo, da una indicación de si cabe suponer que todas las medidas necesarias/anunciadas se están aplicando adecuadamente;
- indicadores de gobernanza mundial [WGI, por sus siglas en inglés] (www.govindicators.org);
- membresía en EITI (https://eiti.org/countries);
- leyes y reglamentos mineros (https://iclg.com/practice-areas/mining-laws-and-regulations#general-chapters (31.03.20)).
- Índice de Minería Responsable (RMI, por sus siglas en inglés) (https://responsibleminingindex.org/en/companies/);
- Iniciativa para la Garantía de Minería Responsable (IRMA, por sus siglas en inglés) (https://responsiblemining.net/what-we-do/responsible-mining-map/);
- Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM, por sus siglas en inglés) (https://www.icmm.com/en-gb/members/member-companies).

[63] El EPI se utiliza para la evaluación relacionada a materias primas en el proyecto ÖkoRess II (Dehoust et al. 2020).

4 Evaluación de la calidad de los datos

Cuando se aplica la matriz de evaluación descrita anteriormente, se debe prever —conforme al caso específico— la información faltante o las evaluaciones basadas que fueron realizadas con datos no del todo representativos. Para presentar la calidad de los datos de forma transparente, se recomienda acompañar siempre la evaluación de los indicadores individuales con una descripción de la calidad de los datos que fueron utilizados. Además de la calidad de los datos, debe también considerarse si la evaluación se basa en datos que se pudieron investigar en el sitio del proyecto (*in situ)*, o si se basa más bien en las numerosas recomendaciones adjuntas a la instrucción de medición. Si no es posible realizar una evaluación de los indicadores individuales, deben comentarse brevemente las razones. Concretamente, se recomiendan las siguientes categorías de calidad:

- A= "alto", puede derivarse directamente de los datos disponibles;
- B1 = "medio", puede evaluarse a partir de la información disponible;
- B2 = "medio", se clasifica según las instrucciones de medición;
- C = "bajo", sin información concreta o especificaciones generales en las instrucciones de medición, estimación (de expertos);
- Y = "evaluación imposible" porque faltan datos en el emplazamiento y el método no da indicaciones y normas de evaluación generales;
- Z = "evaluación imposible" por falta de una base metodológica o datos comparativos. Además podrán formularse observaciones adicionales sobre la situación de los datos de modo informal en casos concretos.

5 Resultados de la aplicación del métado

Los objetivos principales del **proyecto OekoRess I** eran: i) desarrollar el "Método de evaluación en función del emplazamiento", basado en la investigación y la preparación de 40 estudios de casos (Dehoust et al. 2017a), y ii) desarrollar el "Método de evaluación en función de materias primas" (Dehoust et al. 2017b).

El "Método de evaluación en función del emplazamiento" evolucionó continuamente en el transcurso del proyecto OekoRess I, aprovechando la experiencia adquirida en la evaluación de los estudios de casos. En particular, a nivel de "Geología" y "Tecnología" se recopilaron instrucciones de medición y herramientas de evaluación exhaustivas; algunas incluso fueron derivadas y desarrolladas por primera vez en el marco del proyecto, p.ej. con respecto al tamaño de los yacimientos, lo que permite una evaluación incluso con datos insuficientes. Para el indicador "Ley mineral", solo se disponía de una herramienta de evaluación para las materias primas oro, cobre, zinc, plomo, níquel y diamante. *A priori*, la validez de la evaluación aumenta con la calidad de los datos del emplazamiento concreto.

En el caso de los indicadores "Entorno natural" y "Contexto social" se utilizaron mapas basados en fuentes disponibles en internet y se desarrollaron herramientas de análisis que permiten una localización clara, si se dispone de la ubicación y las dimensiones precisas de los emplazamientos.

Se comprobó que, pese a que el conocimiento experto en Geología y Minería es muy útil para describir y evaluar los emplazamientos mineros, no es un requisito absoluto.

Siempre que sea posible, la misma persona debe realizar la descripción y la evaluación de los emplazamientos mineros, y la descripción debe basarse lo más fielmente posible en la matriz de evaluación. Mediante una documentación transparente del procedimiento, especialmente con respecto a la descripción de la calidad de los datos, los informes de descripción, en combinación con los informes de evaluación, proporcionan la mejor base para una evaluación por parte de terceros[64].

En el proyecto **OekoRess III,** este método de evaluación en función del emplazamiento, previamente establecido y perfeccionado, se aplicó a un total de 100 operaciones mineras de extracción de hierro, cobre y aluminio (bauxita). Durante esta fase del proyecto, también se volvió a revisar y actualizar las instrucciones de medición en base a los resultados de la aplicación del método. En este contexto también se volvió a ampliar el ámbito de aplicación de la herramienta de evaluación del indicador "Ley mineral" a los elementos hierro, aluminio, estaño, manganeso y los metales del grupo del platino (MGP). Las dificultades para evaluar los indicadores individuales, debido a una especificación a veces poco clara de las categorías de evaluación del EPH o por una situación insatisfactoria de datos, se abordaron más a fondo, y en consecuencia se actualizaron las instrucciones de medición.

Sin embargo, no fue posible incorporar todos los cambios sugeridos, ya que supondría exceder los recursos disponibles del proyecto. En los siguientes apartados se resumen las sugerencias para la futura optimización del método. Es necesario continuar la investigación para incorporarlas adecuadamente al método.

[64] (Dehoust et al. 2017a) describe la selección de los emplazamientos para los 40 casos prácticos y el procedimiento de descripción y evaluación, así como los resultados de la evaluación, incluida la evaluación de la calidad de los datos (disponible en alemán).

Durante la recopilación de información sobre 100 operaciones mineras, se volvió a manifestar una vez más que el acceso a datos públicos e imparciales es frecuentemente limitado. Esto continua siendo una importante limitación en el diseño del método. Las empresas mineras suelen proporcionar alguna información básica en sus informes corporativos anuales, los informes de gestión ambiental o en sus sitios web, pero ha resultado muy difícil o incluso imposible validar estos datos, ya que a menudo falta más información pública. Algunas empresas publican informes de EIA, y como estos suelen ser elaborados por consultoras especializadas, se consideran más independientes y, por ende, más fiables.

Según la ubicación y la historia de la región minera específica, también podría encontrarse información detallada en publicaciones geocientíficas, sobre todo con respecto a la composición mineral de un determinado yacimiento y sus leyes minerales. Sin embargo, como generalmente las propiedades geológicas varíen espacialmente, p.ej., al avanzar en la profundidad, una zona mineral exteriormente de óxidos se convierte en una zona sulfurosa en el interior, dicha información puede ser obsoleta, especialmente si los datos publicados son muy antiguos.

Los propietarios u operadores de las minas estudiadas tuvieron la oportunidad de comentar los resultados de la evaluación del EPH y de proporcionar información adicional y actualizada sobre las condiciones de sus operaciones mineras. Solo unas pocas empresas respondieron a la invitación del proyecto. Sin embargo, y debido al diseño de este método, los ajustes a una evaluación de EPH solo son admisibles, si se basan en datos disponibles públicamente, a fin de garantizar la transparencia y la trazabilidad en general.

Cuando estaban disponibles otras fuentes de información, éstas también fueron evaluadas, como p.ej. los periódicos locales y los informes de organizaciones de la sociedad civil, pero estas fuentes también tienden a ser parciales —de una forma u otra.

La información que facilitan las empresas mineras está redactada principalmente en inglés y a veces también en francés y español, dependiendo de la ubicación de la sede de la empresa. Esto también sucede con las empresas chinas. Sin embargo, la búsqueda de información adicional o secundaria sobre las operaciones y empresas mineras chinas supuso un reto especial para los autores debido a la barrera lingüística. La experiencia fue similar con algunas minas rusas.
En algunos casos, el acceso a información resultó ser un problema. A veces una información que en teoría estaba disponible públicamente no era accesible, debido a las restricciones regionales de las au-toridades ("bloqueo geográfico).
En general, unos indicadores se evalúan más fácilmente que otros, porque la correspondiente informa-ción se publica más frecuentemente, mientras que otros indicadores a menudo deben evaluarse en base a la información en las instrucciones de medición. En particular, el indicador "Paragénesis con compo-nentes radiactivos" presentó retos, porque en muchos casos no se encontró información disponible.
En general, las grandes empresas mineras occidentales proporcionan suficiente información en los in-formes anuales de sostenibilidad y en sus informes técnicos, que ayudan a realizar una evaluación satis-factoria del EHP de la mina.

A menudo resulta difícil identificar correctamente un emplazamiento minero en las imágenes satelita-les o aéreas. Sobre todo en las regiones con mucha actividad minera y cortas, es difícil distinguir la ubi-cación de minas específicas. Además, cuando hay muchas empresas que operan en las inmediaciones de un sitio minero, en muchas ocasiones no se pueden atribuir claramente las infraestructuras, las plantas y las instalaciones de almacenamiento de residuos a una determinada explotación. Convendría tener más transparencia a este respecto. Las empresas

mineras y las autoridades podrían mejorar el acceso a los datos de información geo-espacial (GIS, por sus siglas en inglés) y a la información sobre la ubica-ción de las minas. En definitiva, se recomienda encarecidamente seguir las nuevas normas de digitali-zación de los emplazamientos mineros con datos satelitales.

6 Conclusión y recomendaciones de acción

El Método de evaluación del potencial de peligros ambientales relacionados a la extracción primaria de materias primas abióticas en función del emplazamiento proporciona una herramienta para estimar y evaluar los riesgos ambientales potenciales de los distintos proyectos mineros.

Este método que se basa en numerosos análisis y resultados científicos que ya existían antes, constituye una innovación por su enfoque metodológico. Fue desarrollado en un proceso iterativo como método de evaluación de peligros ambientales potenciales de los emplazamientos mineros, y fue adaptado y validado utilizando ejemplos prácticos. A pesar de limitarse de modo intencionado a unos pocos indicadores, este método puede ser aplicado a una variedad de condiciones geológicas, técnicas y de emplazamiento, demostrando la diversidad de los posibles impactos ambientales de la minería.

El alcance del impacto ambiental también queda ilustrado por un total de 140 estudios de casos procesados en el marco de los proyectos OekoRess I y III. De ellos se desprende particularmente que los efectos de la minería son muy heterogéneos —tanto por su naturaleza, como por su magnitud— y que dependen de las respectivas materias primas extraídas, de los factores relacionados con el emplazamiento y de las medidas de protección ambiental aplicadas. En este sentido, llama la atención que, aunque en muchos lugares se adopten medidas de protección del medioambiente, éstas suelen ser insuficientes para reducir todos los impactos ambientales a un mínimo posible o para considerar de forma exhaustiva los costes ambientales.

Al mismo tiempo, en muchas regiones del mundo se sigue practicando una minería que no considera ningún tipo de medidas de protección ambiental. En este sentido, es especialmente importante la calidad de la gobernanza ambiental.

6.1 Clasificación de los resultados de la evaluación y límites de las lecciones posibles

La evaluación en función del emplazamiento que se presenta en este informe describe el potencial de peligro ambiental utilizando (ahora[65]) 12 indicadores que se evalúan en tres categorías cada uno (potencial de peligro ambiental "bajo", "medio" y "alto") para la consideración de cada caso.

Este método de evaluación permite efectuar el análisis de los indicadores antes de contar con estudios de campo y puede ser realizado por profesionales sin experiencia específica en materia de minería. En el mejor de los casos, los indicadores geológicos y tecnológicos pueden estar disponibles para efectuar la evaluación del emplazamiento en cuestión. De no ser así, las herramientas de evaluación permiten realizar una evaluación en base a los contextos relacionados a la materia prima. Los indicadores del emplazamiento pueden determinarse utilizando las coordenadas geográficas. Hay que tener en cuenta las siguientes limitaciones:

- Los resultados son significativos únicamente como peligros ambientales potenciales para un emplazamiento específico. Deben ser siempre considerados como estimaciones iniciales que de ningún modo pueden ni deben sustituir a una evaluación de impacto ambiental (EIA).

[65] El anterior indicador sobre el entorno social "Potencial de conflicto con la población aledaña (2 Worldwide Governance Indicators)" fue retirado. Debería ser sustituido por un indicador específico del emplazamiento que actualmente no está disponible.

- No es posible evaluar con estos métodos los niveles de daños ocasionados por accidentes o liberación accidental de emisiones contaminantes ocurridos durante la operación normal.
- Los resultados de una evaluación en función del emplazamiento no son indicadores de la calidad de la gestión ambiental de una empresa y, por consiguiente, no constituyen una evaluación del titular minero. Simplemente facilitan información sobre los peligros potenciales relacionados con el emplazamiento, el yacimiento, la tecnología y la gobernanza.
- En el caso de evaluaciones concretas, p.ej. para la toma de decisiones de inversión, la planificación de medidas, etc., los resultados deben ser complementados siempre con estudios en el sitio del emplazamiento, p. ej. una EIA. Sin embargo, la evaluación con este método puede proporcionar valoraciones cualificadas sobre los aspectos que deben recibir más atención.
- Los resultados de la evaluación de varios emplazamientos podrían motivar a realizar comparaciones entre ellas. Sin embargo, las comparaciones de los resultados con el método de evaluación que se describe en este informe no están previstas, ni siempre producen resultados relevantes, ya que es una evaluación cualitativa sin referencia a una base de comparación. Por consiguiente, los resultados de una evaluación deben considerarse individualmente porque proporcionan información sobre los peligros inherentes al emplazamiento o a los residuos específicos de un sitio y sobre los posibles puntos críticos en términos de deber de diligencia, requisitos de licencias, estudios de impacto ambiental, etc.
- Pese a que el método de evaluación propuesto no ha sido diseñado para realizar comparaciones entre distintos sitios y que utiliza una metodología cualitativa, los resultados de la evaluación de posibles emplazamientos para un proyecto pueden ser utilizados como punto de partida para la comparación de emplazamientos, si se complementan con resultados de análisis específicos realizados en los sitios de cada emplazamiento alternativo.
- Los autores recomiendan descartar la agregación de los resultados de indicadores individuales y utilizar en su lugar la matriz de resultados como resultado final, que permite identificar todos los datos de las evaluaciones individuales. Por consiguiente, el método de evaluación propuesto no considera las conexiones entre los indicadores individuales que existen en la práctica (es decir, las interdependencias), que podrían intensificar o inhibir en distinta medida los peligros ambientales potenciales.

6.2 Recomendaciones de aplicación y acción

Con el método de evaluación en función del emplazamiento se dispone de un sistema de evaluación para los emplazamientos de explotación y de procesamiento mineros que considera los parámetros específicos de los yacimientos —técnicos, geográficos y de gobernanza ambiental—, lo que permite una evaluación multifactorial, reproducible, direccionalmente confiable y transparente de los peligros ambientales potenciales. El ámbito de aplicación es muy variado:

- Las decisiones relacionadas con el emplazamiento —ya sea la (co-)financiación de proyectos mineros, la adquisición de minerales y concentrados de proyectos mineros remotos o las evaluaciones independientes de impactos y riesgos aún no registrados— requieren una sólida base científica, que en muchos casos solo puede establecerse con gastos financieros y logísticos considerables. Para muchos actores interesados de la industria, las finanzas y la sociedad civil, la elaboración de estas evaluaciones exhaustivas solo se plantea cuando los proyectos se concretizan o ya se conocen los primeros informes sobre problemas

ambientales. Esta carencia puede cubrirse con el método para evaluar los potenciales peligros ambientales de los distintos proyectos mineros que presentamos, complementado con el método para los residuos mineros (Priester y Dolega 2015). Aunque estos métodos no puedan ni deben sustituir una evaluación exhaustiva del impacto ambiental, pueden facilitar unas sólidas evaluaciones iniciales para las empresas, las instituciones financieras y los grupos de la sociedad civil, y pueden utilizarse como un "radar de peligrosidad" inicial para las cuestiones ambientales.

- El método de evaluación propuesto constituye un "radar de peligrosidad" que puede ser utilizado por los responsables de la toma de decisiones y de los servicios geológicos en los países en desarrollo. Mientras que los organismos y autoridades competentes suelen contar con muy pocos recursos humanos y financieros, a pesar de que les corresponda la tarea de realizar inspecciones en las concesiones y operaciones mineras para evaluar su impacto ambiental y establecer, si es necesario, las restricciones y condiciones/obligaciones adecuadas. Aunque el método de evaluación en función del emplazamiento que presentamos en este informe no pueda sustituir las evaluaciones de impacto ambiental, es una buena herramienta para realizar sólidas evaluaciones iniciales y para planificar investigaciones posteriores con costes relativamente bajos. Además, esta evaluación inicial puede servir de apoyo al revisar los estudios de impacto ambiental requeridos, por ejemplo, en los procedimientos de concesión de licencias.
- Los resultados de las evaluaciones de varios emplazamientos en un país en vías de desarrollo podrían ser utilizados para elaborar recomendaciones y sugerencias para el desarrollo de capacidades de apoyo en el área de conflictos ambientales potenciales y para la concesión de licencias y el monitoreo de puntos focales en los respectivos países.
- Además, los resultados pueden se útiles para identificar dónde deberían reforzarse las obligaciones de información de las empresas mineras.
- Por último, el método de evaluación propuesto y sus resultados podrían ser útiles para los emplazamientos, porque permiten desarrollar más sus normas y directrices así como su implementación de forma vinculante; mediante acciones de los gobiernos, las instituciones financieras y las iniciativas mineras, como también de los actores empresariales a lo largo de las cadenas de suministro (BMUB/UBA 2017). Los peligros ambientales potenciales individuales están relacionados con las directivas y directrices existentes, por ejemplo, en relación con:
  - El drenaje ácido de minas: GARD (*Global Acid Rock Drainage Guide*), que se elaboró bajo los auspicios de la "Red Internacional para la Prevención de los Ácidos" (INAP, por sus siglas en inglés: *International Network for Acid Prevention*) con financiación de *Global Alliance* a través de Golder Associates, y que constituye un marco de referencia para el agua ácida de drenaje de minas, su formación y prevención. Véase también los documentos del proyecto UFOPLAN en el enlace *UmSoRess Steckbriefe* [66].
  - Las sustancias auxiliares / reactivos: el "Código del cianuro" (Instituto Internacional de Gestión del Cianuro o ICMI, por sus siglas en inglés) fue desarrollado como una iniciativa de diversos actores bajo la dirección del Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA) y del Consejo Internacional de Metales y Medioambiente (ICME, por sus siglas en inglés) y representa una norma para la gestión segura del

[66] https://www.umweltbundesamt.de/umweltfragen-umsoress y https://www.umweltbundesamt.de/dokument/umsoress-steckbrief-global-acid-rock-drainage-gard (Publicación en alemán de la UBA: Perfil ADM-GARD)

cianuro en la minería de oro y plata. Véase también el documento con el "Perfil del cianuro" en UmSoRess *Steckbrief*[67].

- Los incidentes peligrosos: Las siguientes iniciativas, entre otras, han elaborado normas para prácticas mineras seguras:
  - El Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM, por sus siglas en inglés) en el marco de los 10 Principios para el desarrollo sostenible en la industria minera y metalúrgica[68] y como declaración de principios sobre diques de relaves. Véase también el "Perfil del ICMM" en el enlace UmSoRess Steckbrief[69].
  - La Comisión Internacional de Grandes Represas (ICOLD, por sus siglas en inglés) ha publicado "Normas de Buenas Prácticas para el diseño seguro de diques en la minería"[70] y sobre diques y el medioambiente[71].
  - La iniciativa "Hacia una Minería Sostenible" (TSM, por sus siglas en inglés) de la Asociación Minera de Canadá, establece normas reconocidas internacionalmente para prácticas mineras sostenibles[72]. Normas adicionales han sido desarrolladas para temas como la gestión de los residuos mineros, situaciones de crisis, la comunicación en crisis, el cierre de minas y la gestión de aguas, que son actualizadas en casos especiales (p.ej. tras el derrumbe de un dique en 2014[73]). Véase también el "Perfil de la TSM" en el enlace UmSoRess Steckbrief[74].
  - La *Global Tailings Review* (Revisión Global de Relaves) es la iniciativa conjunta del Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM, por sus siglas en inglés), el Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA) y los Principios para la Inversión Responsable (PRI, por sus siglas inglés), que se comprometen a adoptar unas "Mejores prácticas globales para las instalaciones de almacenamiento de relaves" y a implementar una normativa internacional.[75]
- Gestión de residuos mineros: *EU Mining Waste BREF* es el documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para la gestión de los residuos de las industrias extractivas y fue publicado por la UE para apoyar la aplicación de la Directiva de la UE para los residuos mineros[76].
- La "Iniciativa para Asegurar una Minería Responsable" (IRMA, por sus siglas en inglés) desarrolló una norma de buenas prácticas para la minería responsable a escala industrial. Los requisitos de la norma incluyen cuatro principios: integridad empresarial, planificación de legados positivos, responsabilidad social y responsabilidad ambiental.[77]
- Áreas protegidas: la Guía de buenas prácticas para la minería y la biodiversidad y el documento sobre Políticas relativas a la minería y las áreas protegidas del ICMM; ICMM

67 https://www.umweltbundesamt.de/dokument/umsoress-steckbrief-international-cyanide (Publicación en alemán de la UBA: Perfil Cianuro)

68 https://www.icmm.com/en-gb/about-us/member-commitments/icmm-10-principles

69 https://www.umweltbundesamt.de/dokument/umsoress-steckbrief-international-council-on-mining (Publicación en alemán de la UBA: Perfil ICCM)

70 http://www.icold-cigb.net/GB/dams/dams_safety.asp

71 http://www.icold-cigb.net/GB/dams/dams_and_environment.asp

72 http://mining.ca/towards-sustainable-mining, pdf en español https://mining.ca//wp-content/uploads/dlm_uploads/2021/08/TSM-Primer-Spanish-2021.pdf, último acceso el 15/4/2022)

73 Case Study Canada as part of ÖkoRess II (Becker et al. 2020)

74 https://www.umweltbundesamt.de/dokument/umsoress-steckbrief-towards-sustainable-mining-tsm Publicación en alemán de la UBA: Hacia una minería sostenible)

75 https://globaltailingsreview.org/

76 https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/mining/MWEI%20BREF.pdf, actualmente no está disponible en español: http://www.fiparidos.info/blog/item/38-publicado-oficialmente-el-bref-de-residuos-de-industrias-extractivas

77 https://responsiblemining.net/what-we-do/standard/

Good Practice Guidance for Mining and Biodiversity and Position Statement on Mining and Protected Areas.[78]

- Gobernanza: la Iniciativa de Transparencia de las industrias extractivas o EITI (por sus siglas en inglés) y posiblemente también la *National Resource Charter* (Carta nacional de recursos naturales) o la "Visión Estratégica de la Minería en África" (*Africa Mining Vision)*[79].

Como muchos de los casos de aplicación mencionados deberían ser tratados en acuerdos internacionales que trascienden las iniciativas nacionales de Alemania, este informe fue elaborado en inglés. Además, se considera indispensable debatir esta iniciativa a un nivel superior, en el ámbito europeo.

6.3 Propuestas para más investigaciones y mejoras en el futuro

Los autores consideran que se deben realizar más investigaciones, especialmente enfocadas en la mejora de los datos disponibles para aplicar el método propuesto en esta publicación y en determinados casos también para complementar las herramientas de evaluación. Para el indicador "Ley mineral", p.ej., deberían crearse herramientas de evaluación para el máximo posible de materias primas. Hasta ahora, solo existen herramientas de evaluación para el oro, el cobre, el hierro, el zinc, el plomo, el níquel, los diamantes, los MGP, el estaño, el manganeso y el aluminio.

En la fase actual, sin embargo, se considera que el método es sólido. Lo ideal sería seguir desarrollando el método mientras se lo usa frecuente- y extensamente. Posteriormente, los valores recopilados para estos análisis podrían reunirse p.ej. en una base de datos, lo que permitiría revisar y seguir desarrollando las herramientas de evaluación. Además, al analizar la experiencia del uso del método de evaluación existente, se podrá identificar los indicadores que son difíciles de respaldar con datos. De estas conclusiones se desprenden los siguientes aspectos:

- ¿Cómo deben perfeccionarse las herramientas de evaluación?,
- ¿en qué casos las herramientas de evaluación conducen a resultados falsos positivos o falsos negativos?, y
- ¿qué circunstancias excepcionales deben tenerse en cuenta?

En el marco del proyecto OekoRess, los autores formularon más propuestas para una futura optimización. Sin embargo, para integrar adecuadamente estos aspectos en el método propuesto y así optimizarlo a largo plazo, es necesario más trabajo. A continuación se resumen las propuestas concretas para la futura optimización, clasificadas por indicador:

Indicador – "Paragénesis con componentes radiactivos": A menudo, resulta difícil o imposible evaluar este indicador, ya que las empresas mineras rara vez proporcionan información sobre las concentraciones de radiactividad y/o de uranio y torio en sus informes ambientales y/o de sostenibilidad. En este contexto, se recomienda obligar a las empresas a

78 https://www.umweltbundesamt.de/dokument/umsoress-steckbrief-icmm-good-practice-guidance-for (Publicación en alemán de la UBA: Perfil ICCM - Buenas Prácticas)

79 https://www.umweltbundesamt.de/dokument/umsoress-steckbrief-the-natural-resource-charter Publicación en alemán de la UBA: Perfil Carta de Recursos Naturales)

divulgar estos datos en el informe oficial anual, lo que mejoraría la transparencia de la respectiva empresa, así como la calidad de los datos.

En proyectos de seguimiento, podrían ampliarse las instrucciones de medición para incluir tablas que indiquen la tendencia de la paragénesis con componentes radiactivos en función de la materia prima y/o la región geográfica, de forma similar a la tabla que muestra las concentraciones de radiactividad en minas chinas, ya incluidas.

Indicador — "Tamaño del yacimiento": Las futuras investigaciones deberían tratar de obtener clasificaciones más completas para todos los recursos, basadas en conjuntos de datos globales, ya que la transferencia de resultados de una región a otra resulta problemática y actualmente solamente se hace porque la calidad de los datos es mejor. Además, hay que tener en cuenta que la tabla de Petrov se refiere a todo el contenido metálico del yacimiento, mientras que los datos de Meyer (2004) se basan en las reservas y, por lo tanto, no consideran las cantidades ya excavadas. Además, son datos muy antiguos que se remontan a finales de la década de 1970, y aun los datos más recientes son de años anteriores al 2003. En un escenario ideal, habría que analizar un amplio y actualizado conjunto de datos de los yacimientos mundiales con su contenido total de metal, y derivar estadísticamente los umbrales de clasificación**.**

Indicador — "Ley mineral": Se recomienda seguir ampliando la base de los datos disponibles para poder clasificar también el contenido de mineral de otras materias primas. Con respecto a las leyes minerales de la bauxita, se recomienda validar a fondo los valores, si aún persisten incertidumbres significativas tras la evaluación inicial conforme al método de OekoRess.

Indicador — "Residuos mineros": La seguridad de las instalaciones industriales de gestión de relaves mineros (TMF, por sus siglas en inglés) es objeto de un estudio por encargo de la Agencia Federal de Medioambiente de Alemania (UBA, por sus siglas en alemán) (Vijgen & Nikolaieva, 2016). El método desarrollado tiene como objetivo supervisar y evaluar las TMF específicas utilizando una lista de verificación para las TMF y el "Índice de peligro de los relaves" (THI, por sus siglas en inglés) desarrollado. Este último determina el riesgo específico de las TMF. Dependiendo de la base de datos disponible, se puede utilizar una fórmula simple o una ampliada.

A continuación se detallan los elementos de la fórmula[80]:

- capacidad (tamaño de la TMF),
- toxicidad (clases de peligrosidad nacionales (para Alemania, Ucrania),
- gestión (existe o no: activa / abandonada / huérfana),
- emplazamiento (peligro de terremotos o de inundaciones),
- dique ((antigüedad, material, espesor[81]).

El método de evaluación en función del emplazamiento de OekoRess ya incluye elementos del método THI. La toxicidad se aborda en los cuatro diferentes indicadores para medir el objetivo de evitar los peligros de contaminación, mientras que los terremotos y las inundaciones son dos de los cuatro sub-indicadores para evaluar el objetivo de evitar el peligro de accidentes por causas naturales. Evitar la doble contabilidad y la sobreestimación no sería un sustituto adecuado de la evaluación del indicador "Residuos mineros". Sin embargo, los elementos "capacidad" y "dique" son aspectos relevantes para el indicador "Residuos mineros" de

[80] La fórmula básica sólo incluye los elementos capacidad y toxicidad.

[81] En lugar de la materia y el espesor, se prefiere el "factor de seguridad" (FoS por sus siglas en inglés: *Factor of Safety*), si está disponible.).

OekoRess y proporcionan una mejor base de evaluación que la explicación actual sobre la altura del dique, que solo distingue entre EHP "media" y EHP "alta".

Con vistas a una futura optimización, para evaluar el indicador "Residuos mineros" se propone utilizar dos de los elementos del método THI: "capacidad" y "dique" El índice THI evalúa la capacidad a partir del Log10 del volumen de los relaves, en m^3. Los valores de Vijgen y Nikolaieva (2016) van de 0 a 9, correspondiendo 9 a un valor máximo de 100.000.000 m^3. Para el THI, el dique se define por los factores edad, material y espesor.

Valores de los factores citados:

- edad del dique: 0 para ≤ 30 años, 1 para > 30 años;
- material del dique: 0 para roca sólida, 1 para suelos que no son de roca sólida;
- espesor de la cresta del dique : 0 para > 10 m, 1 para ≤ 10 m[82].

Si no se dispone de información específica, se recomienda utilizar el valor "1" para evaluar los factores " dique THI ", conforme al principio de precaución. En total (resultado de " capacidad THI " y " dique THI"), el rango de valores para el indicador "residuos mineros" se situaría entre 0 y 12. Para diferenciar entre un EHP "medio" y uno "alto", es necesario fijar un valor umbral. Este valor umbral podría determinarse en un proceso con las partes interesadas. En consecuencia, para el potencial de los peligros relacionados con el impacto duradero de los materiales de residuos mineros, la nueva evaluación resultante podría ser por ejemplo:

- “bajo” (verde) (sin cambios en la evaluación actual): almacenamiento/depósito seguro de relaves en el yacimiento (relleno de la mina en paralelo a la explotación minera en curso, relleno con ma-teriales de residuos para estabilizar la planta minera);
- "medio" (amarillo): resultado de capacidad THI y dique THI ≤ 6;
- "alto" (rojo): resultado de capacidad THI y dique THI > 6

Además del método de evaluación aquí propuesto, se recomienda aplicar también el Método THI en su conjunto, debido a la disponibilidad de datos. El Método THI es una norma reconocida en todos los países de la CEPE/ONU. Los resultados deben reportarse por separado como información adicional sobre la seguridad de los diques.

Al nivel de "Emplazamiento (entorno)": Podría desarrollarse más la reciente evaluación espacial de la expansión del área, que constituye la base de datos para los correspondientes indicadores relacionados con el "emplazamiento". De este modo se podría utilizar la ratio de expansión del área/volumen de producción como un nuevo indicador específico, que serviría de referencia para las explotaciones mineras que extraen determinadas materias primas. También podrían derivarse datos del inventario del ciclo de vida, que además podrían incluirse en la evaluación del uso de suelos según el concepto de la hemerobia. Para ello, es necesario desarrollar un enfoque sobre cómo podría considerarse el componente variable del uso de suelo.

Indicador – "Índice de estrés hídrico (WSI) y zonas desérticas": El método actual en los proyectos de OekoRess para evaluar el objetivo "Evitar la competencia por el uso de agua" es una combinación del Índice de estrés hídrico (WSI) desarrollado por (Pfister et al. 2009) y

[82] El dique es considerado más estable si el espesor de la cresta (y, obviamente, en la base (fondo) es lo suficientemente grande como para retener los relaves almacenados en la laguna de relaves.

regiones desérticas definidas (Olson et al. 2001). Fue necesario combinar dos indicadores, porque la escasez absoluta de agua en los desiertos —donde hay baja extracción de agua— no estaba representada en el indicador WSI. Sin embargo, se trata de un aspecto importante y por ello se incluyó en el respectivo indicador de OekoRess. En los últimos años se desarrollaron otros modelos gracias a la mayor disponibilidad de datos y a conceptos de métodos avanzados.

Los métodos más relevantes en el contexto de OekoRess se describen en el Informe OekoRess III. Para una futura optimización, se recomienda usar el "Índice de privación de agua" (WDI, por sus siglas en inglés), integrado en indicador "WAVE+ 2018" (Berger et al. 2018). Por lo tanto, debe utilizarse el conjunto de los datos anuales a nivel de cuencas hidrográficas no agrícolas. En el informe OekoRess III se describe una posible evaluación para los peligros potenciales, basada en el valor del WDI.

Indicador – "Zonas protegidas y sitios AZE": Además del conjunto de datos globales de las zonas ya protegidas, la cobertura de datos globales de las zonas de gran importancia ambiental crece continuamente. En el informe OekoRess III se describen las bases de datos más importantes.

Para actualizar el indicador OekoRess, se recomiendan considerar las siguientes opciones:

1. Evaluar los emplazamientos de la AZE con alto EPH.
2. Evaluar los sitios AZE con alto EPH. Añadir al indicador las "Áreas Clave para la Biodiversidad" (KBA por sus siglas en inglés: *Key Biodiversity Area*). Una futura optimización del método debería analizar si las KBA se califican con un EPH medio o alto. Si el EPH se califica de "alto", se puede descartar la evaluación separada de los sitios AZE, ya que se trata de un subconjunto de las KBA.

Indicador – "Potencial de conflictos con la población aledaña": Para futuras optimizaciones, debería intentarse encontrar un indicador que sea adecuado para indicar los conflictos potenciales con la población aledaña por asuntos relacionados con el medioambiente. Un enfoque podría ser la inclusión de este aspecto en las normas voluntarias. Otra posibilidad podría ser investigar y evaluar los fallos judiciales de juicios donde las empresas mineras son la parte demandada.

Nomenclatura *

Tabla: Nomenclatura de terminología técnica usada en los ámbitos de proyectos mineros, procesamiento de minerales y gestión de residuos

Glosario de términos tecnológicos relevantes	
Perforación y Tronadura (inglés: *drill and blast*); sinónimos: Perforación y Voladura, Perforación con explosivos	El método de "perforación y tronadura" se utiliza en la minería subterránea y a cielo abierto, en canteras y en la construcción de túneles. Primero se hacen perforaciones en la roca siguiendo un diagrama predefinido y en estas perforaciones se colocan los explosivos. La tronadura hace fragmentar la roca, tras lo cual se remueven los fragmentos. Este proceso se repite las veces necesarias[83].
Relaves de pila seca *(dry stacking*), sinónimo: apilamiento en seco, relaves secos apilados, relaves apilados en seco, (almacenamiento en seco)	"La deshidratación de los relaves a un grado superior al de pastosidad produce una pulpa filtrada húmeda (saturada) o seca (no saturada) que ya no puede ser transportada. Estos relaves filtrados se suelen compactar normalmente [...] para formar pilas de relaves secas (no saturadas). Este tipo de almacenamiento de relaves produce un apilamiento estable que normalmente no exige la formación de paquetes de retención y se denomina "relaves de pila seca controlada". [...] Algunas explotaciones de alúmina de bajo rendimiento filtran los residuos para producir una pulpa húmeda y, consiguientemente, "apilan en seco" los relaves [84].
Depósito de estériles (inglés: *waste dump*); sinónimos: Depósito o Botadero de lastre / estériles, Apilamiento de estéril, Escombrera, Desmonte	"Un apilamiento en la superficie de roca o mineral fragmentados.[85] Más concretamente: "Amontonamiento de productos no comercializables (ganga, residuos mineros, roca estéril, recubrimiento (*overburden*), residuos), que se produce, p.ej., en el desbroce del yacimiento o durante el proceso de explotación. Si no hay ventas, también acopio de carbón, coque, mineral y otras materias primas minerales".[86]
Ganga (inglés: *gangue*); sinónimo: zafra	Material que acompaña al mineral que no es económicamente útil y que es inevitable en la explotación.[87]

[83] RPM Drilling (2019): Blast Hole Drilling - The Basics (Conocimiento básico sobre la perforación con explosivos"), https://www.rpmdrilling.co.za/blast-hole-drilling-process/ (acceso el 05 de noviembre 2019)

[84] Engles (2012): Dry Stacking of Tailings, (Filtered Tailings), Website: Tailings.info, http://www.tailings.info/disposal/drystack.htm citing Davies and Rice (2001) (acceso el 05 de noviembre 2019)

[3] US Security and Exchange Commission (n.y.): Glossary of Mining Terms (disponible en inglés: Comisión de Bolsa y Valores de EEUU: Glosario de Términos mineros), https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1165780/000116578003000001/glossary.htm (acceso el 05 de noviembre 2019[86])-Bischoff, W. und Bramann, H. (1981): Westfälische Berggewerkschaftskasse Bochum: Das kleine Bergbaulexikon.Essen (Verlag Glückauf); (Diccionario de terminología minera en alemán) ISBN 3-7739-0501-7 y entrada en Sillano / Rojas: Diccionario de Términos Mineros, RII ed, 2010.

[86])-Bischoff, W. und Bramann, H. (1981): Westfälische Berggewerkschaftskasse Bochum: Das kleine Bergbaulexikon.Essen (Verlag Glückauf); (Diccionario de terminología minera en alemán) ISBN 3-7739-0501-7 y entrada en Sillano / Rojas: Diccionario de Términos Mineros, RII ed, 2010.

Residuos mineros (inglés: *mine waste*)	"Los residuos mineros incluyen los residuos generados durante la extracción (remoción), el procesamiento de los minerales".[88] Por tanto se trata de un término global o "paraguas" que cubre materiales de recubrimiento (*overburden*), roca descartada y relaves".
Minería a cielo abierto (inglés: *open-cast mining*); sinónimos: minería a rajo abierto / a tajo abierto	"Método de explotación minera que consiste en eliminar los estratos suprayacentes o el recubrimiento (*overburden*), extraer el carbón y volver a colocar el recubrimiento. Cuando el material suprayacente está formado por tierra o arcilla, puede retirarse directamente con raspadores o excavadoras, pero cuando se encuentra roca, es necesario recurrir a la voladura para preparar el material de forma adecuada para su manipulación por las excavadoras."[89]
Minería a cielo abierto (inglés: o*pen-pit mining*); sinónimos: minería a rajo abierto, Minería a rajo abierto / a tajo abierto, cantera, terraza, descubierta	"Una forma de operación diseñada para extraer minerales que se encuentran cerca de la superficie. Primero se eliminan los estériles o el recubrimiento (*overburden*), y luego se rompe y carga el mineral, como en una cantera de piedra. Es importante sobre todo en la extracción de minerales de hierro y cobre".[90] "Una diferencia significativa entre los métodos de *open- pit* y *open-cast* es que en "*open cast*", la sobrecarga que se retira para acceder al mineral se coloca inmediatamente en la corta previamente extraída"[91]
Recubrimiento (inglés: *overburden*); sinónimos: sobrecarga	Capa de suelo o roca sólida que crece naturalmente sobre un yacimiento mineral. En la minería a cielo abierto, el recubrimiento debe ser eliminado antes de extraer los recursos minerales.[92]
Pila (de residuos mineros) (inglés*: pile (of mining waste*); sinónimos: montón de residuos, apilamiento de residuos	Apilamiento de residuos mineros secos que se almacena por encima del nivel de la superficie y sin límites naturales o artificiales.
Explotación a tiras, (inglés: *strip mine*); sinónimos: cantera	"Minería a rajo abierto de tipo "*open pit*", normalmente en minas de carbón, que se explota retirando el recubrimiento, excavando la veta de carbón y devolviendo el recubrimiento. [93]"

[87] Umweltbundesamt (2004): Umweltbundesamt BVT-Merkblatt zum Management von Bergbauabfällen und Taubgestein (en alemán, Folleto sobre la gestión de los residuos mineros y la roca estéril) Internet. (https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/me-dien/419/dokumente/bvt_management-bergbauabfaelle_vv.pdf acceso el 21 de mayo de 2015)

[88] US Environmental Protection Agency (Agencia de Protección del Medio Ambiente de EEUU, EPA), https://archive.epa.gov/epawaste/nonhaz/industrial/special/web/html/index-5.html (acceso el 05 de noviembre 2019)

[89] Hacettepe University Department of Mining Engineering (2009): Dictionary of Mining, Mineral, and Related Terms http://www.abdurrahmanince.net/ (acceso el 05 de noviembre 2019)

[90] Op. Cit.

[91] https://www.e-education.psu.edu/geog000/node/690, (acceso el 17 de mayo 2022)

[92] Umweltbundesamt (2004): Umweltbundesamt BVT-Merkblatt zum Management von Bergbauabfäl-len und Taubgestein. Internet. (https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/me-dien/419/dokumente/bvt_management-bergbauabfaelle_vv.pdf acceso el 21 de mayo 2015)

[93] US Security and Exchange Commission (n.y.): Glossary of Mining Terms, https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1165780/000116578003000001/glossary.htm (acceso el 05 de noviembre 2019)

Relaves (inglés: *tailings*); sinónimos: desechos, ripios, colas relaveras, jales (Mx)	"Material de desecho de una molienda luego de que se ha recuperado la mayor parte de los minerales valiosos."[94] "Desechos son todos los residuos sólidos de las operaciones de tratamiento de los minerales. Como la mayoría de los procesos de beneficiamiento son de vía húmeda, los desechos (relaves) en general se presentan en forma de pulpa con una fracción sólida y una fracción acuosa conteniendo diferentes partículas minerales en suspensión y/o disueltas. Se define la recuperación como la relación entre la cantidad de mineral útil contenida en el concentrado (o sea, el producto de la usina de beneficiamiento) y la cantidad total de ese mineral contenida en el *run of mine*."[95]
Dique de contención (de relaves) (inglés: *Tailings dam*); sinónimos: muro de contención	"Un dique de contención de relaves es un terraplén para contener relaves o un dique que permite la descarga de relaves. El término " dique de relaves " abarca los terraplenes, muros de presa u otras estructuras de embalse, diseñadas para permitir la sedimentación de los relaves y para retener los relaves y el agua del proceso, y que se construyen de manera controlada."[96]
Embalse de relaves *(inglés: Tailings impoundment*); sinónimos: reservorio / tranque	"Un embalse de relaves es el espacio/volumen de almacenamiento creado por un dique de contención o más de uno, donde se depositan y almacenan los relaves. Los límites del embalse vienen dados por los diques de contención (*tailings dams*) y/o los límites naturales."[97]
Laguna de relaves (inglés: *Tailings pond*); sinónimos: represa de relaves, relaveras, piscinas de relaves Sinónimos que se deben evitar para evitar confusión: represas / estanques, laguna de aguas claras o de clarificación de relaves	"Una depresión a un nivel inferior que se utiliza para confinar los relaves, la función primaria de la cual es permitir suficiente tiempo para que los metales pesados se sedimenten o para que el cianuro se destruya antes de descargar el agua en los cursos de agua locales." [98]
Instalación de gestión de relaves (*Tailings management facility o*	"... una instalación de gestión de relaves (TMF por sus siglas en inglés) pretende abarcar todo el conjunto de estructuras necesarias para el manejo de los residuos, incluyendo la instalación para el

[94] Op. Cit.

[95] Sánchez, p. 241

[96] United Nations Economic Comission for Europe (2014): Safety guidelines and good practices for tailings management facilities, Geneva, (en inglés, Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (2014): Directrices de seguridad y buenas prácticas para las instalaciones de gestión de residuos, Ginebra GE.13-26665-April2014-696-ECE/CP.TEIA/26

[97] Op. Cit.

[98] US Security and Exchange Commission (n.y.): Glossary of Mining Terms, (Comisión de Bolsa y Valores de EEUU: Glosario de términos mineros) https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1165780/000116578003000001/glossary.htm (acceso el 05 de noviembre 2019)

TMF); sinónimos: Instalación de manejo de relaves	almacenamiento de residuos, la(s) presa(s) de residuos, el embalse de residuos, las balsas de clarificación, las tuberías de descarga, etc." [99]
Instalación industrial para el almacenamiento o depósito de relaves mineros (inglés: *Tailings storage facility*)	"Una instalación industrial para el almacenamiento o depósito de relaves mineros es una instalación utilizada para contener los relaves. Puede incluir un dique de relaves (laguna y *embalse de relaves*), estructuras de decantación y vertederos. [100] Una instalación industrial para el almacenamiento o depósito de relaves también pueden ser cortas, relaves de pilas secas, lagos o depósitos subterráneos."[101]
Estéril (inglés: *(Mining) Waste rock*); sinónimos: lastre, ganga	"Como estériles se clasifican los minerales que están por debajo de la ley de corte.[102]" (Roche et al. 2017) Estéril (*waste rock*) también se define como la "Roca estéril o sub marginal, o la mena extraída que no tiene suficiente valor para justificar su procesamiento y, por lo tanto, se retira antes de los procesos de molienda."[103]
Procesamiento (*processing*), sinónimos: concentración, beneficio, tratamiento	La concentración consiste en elevar contenido de metal del mineral. Para ello se aprovechan distintas técnicas, fundamentalmente la flotación[104] . En inglés, los desechos del procesamiento se conocen como *tailings*, el término empleado en este documento es "relaves".
Ley mineral (inglés: *Ore grade*); sinónimos Ley / Tenor (Ar), ley de mineral	Define el contenido de mineral valioso.
Mena (inglés: *ore*), sinónimos: mineral en bruto, mineral de mena	Una mineralización económica.
Paragénesis, sinónimo: asociación	"El concepto de ""asociación mineralógica"", equivalente a paragénesis, sería la asociación de especies minerales cristalizadas conjuntamente (aunque no necesariamente a la vez) en un proceso de mineralización. La ""asociación mineralógica"" o paragénesis está

[99] United Nations Economic Comission for Europe (2014): Safety guidelines and good practices for tailings management facilities, Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (2014): Directrices de seguridad y buenas prácticas para las instalaciones de gestión de residuos, Ginebra, GE.13-26665-April2014-696-ECE/CP.TEIA/26

[100] Op.Cit.

Op.Cit.

[102] Roche, C., Thygesen, K., Baker, E. (Eds.) 2017. Mine Tailings Storage: Safety Is No Accident. A UNEP Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal, Nairobi and Arendal, (en inglés; "Almacenamiento de residuos mineros: La seguridad es ningún accidente. Una evaluación de respuesta rápida del PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y GRID-Arendal, Nairobi y Arendal") www.grida.no, ISBN: 978-82-7701-170-7

[103] Hacettepe University Department of Mining Engineering (2009): Dictionary of Mining, Mineral, and Related Terms (Diccionario de terminología de minería, minerales y términos relacionados). (http://www.abdurrahmanince.net/ (acceso el 05 de noviembre de 2019)

[104] Sillano / Rojas: Diccionario de Términos mineros.

	condicionada por las condiciones y el tipo de proceso en el que crecen los cristales (...) y es característica de cada yacimiento."[105]
Deber de vigilancia (inglés: *Duty of care*); sinónimos: Diligencia Debida	El deber de vigilancia o deber de cuidado es una obligación de respetar un estándar de diligencia debida al realizar actos que puedan causar daños previsibles a otros.[106]
Criticidad (*criticality*)	"En el ámbito de la gestión de la seguridad operativa y la calidad, la criticidad se define como el producto de la probabilidad de que se produzca un accidente y la gravedad de sus consecuencias: criticidad = probabilidad × gravedad."[107]
Yacimiento (inglés: *deposit*); sinónimos: depósito (de minerales), cuerpo mineralizado	En este documento se usa "yacimiento" para evitar confusión con el término "depósito (de residuos mineros) pese a que "depósito" es el término preferido en muchas regiones.

*** Nota de la traductora:** Para facilitar el uso de esta publicación en el contexto de los países destinatarios, se ha optado por el uso de una terminología uniforme en el texto y las tablas. Cada término que pueda tener variantes regionales en las regiones destino aparecen en la NOMENCLATURA después del término del texto como "sinónimo". El término en inglés se menciona para ayudar en eventuales consultas bibliográficas. Donde pareció oportuno, se adaptó la explicación del término traducido del inglés, citando la fuente en español a pie de página. Además, la NOMENCLATURA contiene algunos términos que no figuran en la publicación original y no se han traducido los sinónimos que no son relevantes en la traducción.

La traductora y el equipo de revisión esperan que la traducción sea coherente y comprensible en las diferentes regiones destino y piden disculpas, sabiendo que el español es un idioma que prefiere usar sinónimos, con lo cual una terminología uniforme es una solución práctica que no le gustará a todo/as. Como señala el ingeniero y consultor Jack de La Vergne en el prólogo de su Diccionario Técnico de Mineros y Petroleros: "Pronto llegó a ser obvio que una sola traducción no era una meta práctica. Varias serían requeridas, una para cada país (...). Esto debido a la diferencia marcada que existe entre las palabras y frases técnicas empleadas de un país latinoamericano a otro, así como en España."[108]

[105] https://www.foro-minerales.com › forum › viewtopic (acceso el 16 de mayo de 2022).

[106] Este concepto aún no existe en todas las legislaciones, https://es.frwiki.wiki/wiki/Devoir_de_vigilance (acceso el 08 de mayo 2022)

[107] https://fr.wikipedia.org/wiki/Criticité, traducción del francés (acceso el 08 de mayo 2022)

[108] Jack de la Vergne: Diccionario Técnico de Mineros y Petroleros, Inglés-Español, 2012, https://www.miningideas.com/Documentos/Diccionario_Tecnico_de_Mineros_y_Petroleros_-_Ingles_a_Espanol.pdf (último acceso el 16 de mayo 2022)

7 Referencias bibliográficas

Akcil, Koldas (2006): Akcil, A.; Koldas, S.: Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies (Drenaje ácido de minas (DAM): Causas, tratamiento y estudios de casos). En: Journal of Cleaner Production 14. (2006) 1139-1145.

Alliance for Zero Extinction (2010): 2010 AZE Update. Washington D.C. www.zeroextinction.org (acceso el 1 de julio 2015).

AMAP (1998): Geographical Coverage. Arctic Monitoring and Assessment Programme (Cobertura geográfica. Programa de Vigilan-cia y Evaluación del Ártico) (AMAP). http://www.amap.no/about/geographical-coverage (acceso el 21 de enero 2016).

Basedeau (2009): Basedeau, M.: Ressourcenkonflikte (Conflictos causados por recursos naturales). En: Wissenschaft & Frieden, 2009-2: Ressourcen: Ausbeutung, Krieg, Elend (Recursos: Explotación, guerras, miseria). Internet: http://wissenschaft-und-frieden.de/index.php?mid=0&pid=11&jvar=126 (acceso el 18 de noviembre 2015).

Becker, F., Scholl, C., Rüttinger, L., Rechlin, A., Priester, M., Schöning, N., Vogt, R., Kämper, C. (2020): Comparative analysis of case studies for mining sites worldwide. OekoRess II Working Report on environmental hazards and impacts, governance challenges and indicators (Análisis comparativo de estudios de casos de explotaciones mineras de todo el mundo. Informe de trabajo de OekoRess II sobre riesgos e impactos ambientales, retos de gobernanza e indicadores). [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-17_texte_81-2020_oekoressii-analysiscasestudies.pdf]

BMUB (Ed.) (2012): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Deutsches Ressourceneffizienzpro-gramm (ProgRess). Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Ministerio Federal de Medioambiente, Protección de la Naturaleza, Cons-trucción y Seguridad Nuclear: Programa Alemán de Eficiencia de Recursos (ProgRess). Programa para el uso sostenible y la protección de los recursos naturales. Ministerio Federal de Medioambiente, Conservación de la Naturaleza, Construcción y Se-guridad Nuclear). Berlín. Disponible en línea en: :http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/progress_broschuere_de_bf.pdf, (último acceso el 19 de enero 2016.

BMUB/UBA (Ed.) (2017): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit I Umweltbundesamt: Schritt für Schritt zum nachhaltigen Lieferkettenmanagement - Praxisleitfaden für Unternehmen (Ministerio Federal de Medioambiente, Protección de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear I Agencia Federal de Medioambiente: Paso a paso hacia la ges-tión sostenible de la cadena de suministro - Guía práctica para empresas); Berlín, Dessau, enero 2017.

Berger et al. (2009): Berger, V. I., Singer, D. A., Orris, G. J.: Carbonatites of the world, explored deposits of Nb and REE: Database and grade and tonnage models (Las Carbonatitas a nivel mundial, depósitos explorados de Nb y REE: Base de datos y modelos de ley y tonelaje). U.S. Geological Survey Open-file Report 2009–1139, 17 p. y base de datos, disponible en línea en: http://pubs.usgs.gov/of/2009/1139/.

Berger et al. (2011): Berger, V. I., Singer, D. A., Bliss, J. D., y Moring, B. C.: Ni-Co laterite deposits of the world; database and grade and tonnage models (Depósitos mundiales de laterita de Ni-Co; base de datos y modelos de ley y tonelaje). U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1058, disponible en línea en: <http://pubs.usgs.gov/of/2011/1058/>http://pubs.usgs.gov/of/2011/1058/.

Berger et al. (2014): Berger, V. I., Mosier, D. L., Bliss, J. D., y Moring, B. C.: Sediment-hosted gold deposits of the world—database and grade and tonnage models (Depósitos sedimentarios de oro mundiales: base de datos y

modelos de ley y tonelaje): U.S. Geological Survey Open-file Report 2014-1074, 46 p. http://pubs.usgs.gov/of/2014/1074/].

Buchert et al. (2016): Buchert, M.; Bulach, W.; Degreif, S.; Hermann, A.; Hünecke, K.; Mottschall, M.; Schleicher, T.; Schmidt, G.; Stahl, G.; Ustohalova, V.: Policy Paper 2: Deutschland 2049 - Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft (Hacia una economía sostenible de las materias primas), Darmstadt, Junio de 2016, disponible en https://www.oeko.de/oekodoc/2600/2016-607-de.pdf, último acceso el 30 de noviembre 2016.

Bundesinstitut für Risikobewertung (Agencia Federal de Alemania para la Evaluación de Riesgos) (Ed.) (2016): Toxikologische Bewertung von chemischen Stoffen (Evaluación toxicológica de materias químicas). Disponible en línea en http://mobil.bfr.bund.de/en/toxikologische_beurteilung_von_chemischen_stoffen-70287.html, último acceso el 19 de febrero de 2016.

Cissarz, A. (1965): Einführung in die allgemeine und systematische Lagerstättenlehre (Introducción a la teoría general y sistemáti-ca de los yacimientos). Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Cooper, M., B. (2005): Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Australian Industries - Review of Current Inventories and Future Generation. A Report prepared for the Radiation Health and Safety Advisory Council (Materiales naturales radiacti-vos (NORM, por sus siglas en inglés) en la industria australiana - Estudio de los inventarios actuales y de futura generación. In-forme elaborado para el Consejo de Salud y Seguridad Radiológica. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.553.5905&rep=rep1&type=pdf.

Cox et al. (2003, actualizado en 2007): Cox, D. P., Lindsey, D. A., Singer, D. A., Diggles, M. F.: Sediment-hosted copper deposits of the world—Deposit models and database (Depósitos sedimentarios de cobre mundiales - Modelos de yacimientos y base de datos). U.S. Geological Survey Open-File Report 2003-107, 1.3, http://pubs.usgs.gov/of/2003/of03-107/

Cox, Singer (2007): Cox, D. P., Singer, D. A.: Descriptive and grade-tonnage models and database for iron oxide Cu-Au deposits (Modelos descriptivos y de tonelaje y base de datos de depósitos de cobre-oro de óxido de hierro). U.S. Geological Survey Open-File Report 2007–1155 [http://pubs.usgs.gov/of/2007/1155/]

Dehoust, G., Manhart, A., Schmidt, G., Vogt, R., Kämper, C., Giegrich, J., Auberger, A., Priester, M., Dolega, P. (2017): Discussion of the environmental limits of primary raw material extraction and development of a method for assessing the environmental availability of raw materials to further develop the criticality concept (OekoRess I). A methodology for a site-related approach (Debate sobre los límites medioambientales de la extracción de materias primas primarias y desarrollo de un método de eva-luación de la disponibilidad ambiental de las materias primas para seguir desarrollando el concepto de criticidad (OekoRess I). Una metodología para un enfoque en función del emplazamiento). UBA-Texte 87/2017. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-17_texte_87-2020_oekoress1_site-related-evaluation.pdf]

Dehoust, G., ,Manhart, A., Schmidt, G., Vogt, R., Kämper, C., Giegrich, J., Auberger, A., Priester, M., Dolega, P. (2017a): Erörterung ökologischer Grenzen der Primärrohstoffgewinnung und Entwicklung einer Methode zur Bewertung der ökologischen Rohstoffverfügbarkeit zur Weiterentwicklung des Kritikalitätskonzeptes (ÖkoRess I). Konzeptband (Discusión de los límites eco-lógicos de la extracción de materias primas primarias y desarrollo de un método de evaluación de la disponibilidad ecológica de materias primas para avanzar en el concepto de criticidad (ÖkoRess I). Volumen conceptual.). UBA-Texte 87/2017. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-09-28_texte_87-2017_oekoress_konzeptband_2.pdf]

Dehoust, G., Manhart, A., Schmidt, G., Vogt, R., Kämper, C., Giegrich, J., Auberger, A., Priester, M., Dolega, P. (2017b): Discussion of the environmental limits of primary raw material extraction and development of a method for assessing the environmental availability of raw materials to further develop the criticality concept (OekoRess I). A method for a raw material based ap-proach (Discusión de los límites ambientales de la

extracción de materias primas primarias y desarrollo de un método de eva-luación de la disponibilidad ambiental de las materias primas para avanzar en el concepto de criticidad (OekoRess I). Un mé-todo para un enfoque en función de la materia prima). UBA-Texte 87/2017. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-17_texte_87-2017_oekoress1_raw-material-related-evaluation.pdf]

Duffus, J. H. (2001): "Heavy Metals" – A Meaningless Term ("Metales pesados" - un término irrelevante). en: Chemistry Interna-tional Vol. 23, No. 6.

Durand, J. F. (2012): The impact of gold mining on the Witwatersrand on the rivers and karst systems of Gauteng and North West Province, South Africa (El impacto de la minería del oro en Witwatersrand en los ríos y sistemas kársticos de Gauteng y la Pro-vincia del Noroeste, Sudáfrica). En: Journal of African Earth Science, 68, pp. 24-43, 2012.

European Commission (Ed.) (2014): Report on critical raw materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials (Informe sobre las materias primas críticas para la UE. Informe del grupo de trabajo especial sobre la definición de las materias primas críticas).

European Commission (Ed.) (2010): Critical raw materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials (Materias primas críticas para la UE. Informe del grupo de trabajo especial dedicado a la definición de las materias primas críticas). Bruselas.

Graedel et al. (2012): Graedel, T. E.; Barr, R.; Chandler, C.; Chase, T.; Choi, J.; Christofferson, L. et al.: Methodology of Metal Critica-lity Determination (Metodología para la determinación de la criticidad de los metales). En: Environmental Science & Techno-logy 46 (2), pp. 1063–1070, 2012.

Graedel et al. (2015): Graedel, T. E.; Harper, E. M.; Nassar, N. T.; Nuss, Philip; Reck, Barbara K.: Criticality of metals and metalloids (Criticidad de metales y metalóides). En: Proc Natl Acad Sci USA 112 (14), pp. 4257–4262. DOI: 10.1073/pnas.1500415112. 2015

Ludington, Plumlee (2009): Ludington, S., Plumlee, G. S.: Climax-type porphyry molybdenum deposits (Depósitos de pórfido de molibdeno de tipo clímax). U.S. Geological Survey Open-file Report 2009–1215, 16. http://pubs.usgs.gov/of/2009/1215/

Ludington et al. (2009): Ludington, S., Hammarstrom, J., y Piatak, N.: Low-fluorine stockwork molybdenite deposits (Depósitos de molibdenita de stockwork de bajo contenido en flúor). U.S. Geological Survey Open-file Report 2009–1211, 9 http://pubs.usgs.gov/of/2009/1211/

HIIK (2014): Heidelberger Institut für Internationale Konfliktforschung: Conflict Barometer (Barómetro de conflictos) 2013. Heidel-berg, 2014.

Hua, L. (2011): The Situation of NORM in Non-Uranium Mining in China. China National Nuclear Safety Administration (La situa-ción de los NORM en la minería no relacionada con el uranio en China. Administración Nacional de Seguridad Nuclear de Chi-na). Internet: http://www.icrp.org/docs/Liu%20Hua%20NORM%20in%20Non-Uranium%20Mining%20in%20China.pdf (acceso el 22 de enero 2016).

Humphreys (2005): Humphreys, M.: Natural Resources, Conflict, and Conflict Resolution. Uncovering the Mechanisms (Recursos naturales, conflictos y resolución de conflictos. Desvelando los mecanismos). En: Journal of Conflict Resolution, Vol. 49/4, 2005, pp. 508-537.

IAEA (2014): Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Require-ments Part 3 (Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Las normas básicas internacionales de seguridad. Requisitos generales de seguridad - Parte 3). Viena, 2014.

IUCN/UNEP-WCMC (2015): The World Database on Protected Areas (WDPA) (Base de datos mundial de Áreas Protegidas) [Onli-ne]. UNEP-WCMC. Cambridge, Reino Unido. www.protectedplanet.net (acceso el 1ro de julio 2015).

Kuenzer et al. (2006): Kuenzer, C.; Zhang, J.; Tetzlaff, A.; van Dijk, P.; Voigt, S.; Mehl, H.; Wagner, W.: Uncontrolled coal fires and their environmental impacts: Investigating two arid mining regions in north-central China (Incendios de carbón incontrolados y su impacto ecológico: Investigación de dos regiones mineras áridas del centro-norte de China). En: Applied Geography 27 (1), pp. 42–62. 2006

Lide, David R. (2005): CRC Handbook of Chemistry and Physics, 85th edition, CRC Press, Section 14, Geophysics, Astronomy, and Acoustics; Abundance of Elements in the Earth's Crust and in the Sea (CRC Manual de Química y Física, 85ª edición, CRC Press, Sección 14, Geofísica, Astronomía y Acústica; Abundancia de los elementos en la corteza terrestre y los mares). Boca Raton, Florida.

Manhart, Schleicher (2013): Manhart, A., Schleicher, T.: Conflict minerals – An evaluation of the Dodd-Frank Act and other resource related measures (Minerales de conflicto - Una evaluación de la Ley Dodd-Frank y otras medidas relacionadas con los recur-sos). Oeko-Institut e.V., Friburgo / Breisgau (Alemania), 2013.

Mar, Okazaki (2012): Mar, S. S.; Okazaki, M.: Investigation of Cd contents in several phosphate rocks used for the production of fertilizer (Investigación del contenido de Cd en varias rocas fosfáticas utilizadas para la producción de fertilizantes). En: Micro-chemical Journal 104 (2012) 17-21.

McNeish (2010): McNeish, J.-A.: Rethinking Resource Conflict. World Development Report 2011, Background Paper (Replantea-miento del conflicto por los recursos. Informe sobre el Desarrollo Mundial 2011, Documento de referencia). Nueva York, 2010.

Meyer, F.M. (2004): Availability of Bauxite Reserves (Disponibilidad de las reservas de bauxita). En: Natural Resources Research, Vol. 13, No. 3, septiembre 2004: 161-172. Internet: https://www.researchgate.net/publication/225905681_Availability_of_Bauxite_Reserves/link/562f8c5308ae4742240afbfe/download (acceso el 1 De septiembre 2020).

Mosier et al. (2012): Mosier, D. L., Singer, D. A., Moring, B. C., Galloway, J. P.: Podiform chromite deposits; database and grade and tonnage models (Depósitos de cromita podiforme; base de datos y modelos de ley y tonelaje). U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2012-5157, 45. y base de datos. (Disponible en: http://pubs.usgs.gov/sir/2012/5157/.)

Mosier et al. (2009): Mosier, D. L., Berger, V. I., Singer, D. A.: Volcanogenic massive sulfide deposits of the world—Database and grade and tonnage models (Los depósitos volcanogénicos masivos de sulfuro del mundo - Base de datos y modelos de ley y to-nelaje). U.S. Geological Survey Open-file Report 2009–1034, http://pubs.usgs.gov/of/2009/1034/

Murray et al. (1998): Murray, J. L.; Hacquebord, L.; Gregor, D. J.; Loeng, H.: Physical / Geographical Characteristics of the Arctic (Características físicas y geográficas del Ártico). En: AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues (Informe de evaluación del AMAP: Problemas de contaminación en el Ártico). pp. 9–24. 1998

National Research Council of the National Academies (Consejo Nacional de Investigación de las Academias Nacionales) (Ed.) (2008): Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy (Los Minerales, los minerales críticos y la economía de los EEUU). Washington D.C.

Nuss, Eckelman (2014): Nuss, P.; Eckelman, M. J.: Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis (Evaluación del ciclo de vida de los metales: Una síntesis científica). En: PLoS ONE 9 (7), p. e101298. DOI: 10.1371/journal.pone.0101298.

Olsen et al. (2001): Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V., Underwood, E. C., D'amico, J. A., Itoua, I., Strand, H. E., Morrison, J. C., otros: Terrestrial Ecoregions of the

World: A New Map of Life on Earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity (Ecorregiones terrestres del mundo: Un nuevo mapa de la vida en la Tierra: Un nuevo mapa mundial de las ecorregiones terrestres ofrece una herramienta innovadora para la conservación de la biodiversidad). En: BioScience. Vol. 51, No. 11, pp. 933–938. 2001

Pfister et al. (2009): Pfister, S., Koehler, A., Hellweg, S: Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. In: Environmental Science & Technology. Vol. 43, No. 11, pp. 4098–104.

Priester, M., Ericsson, M., Dolega, P., Löf, O. (2019): Mineral grades: an important indicator for environmental impact of mineral exploitation (Leyes minerales: un indicador importante del impacto ambiental de la explotación de minerales). En: Mineral Economics 32(3). DOI: 10.1007/s13563-018-00168-x

Priester et al. (2013): Priester, M., Wetzenstein, W., Lewis, S., Hentschel, T., Kirch, E., Dorn, R.: Costs of social protests in mining areas (Los costes de las protestas sociales en las zonas mineras). Projekt-Consult, Bad Vilbel, 2013.

Priester, Dolega (2015): Priester, M.; Dolega, P.: Bergbauliche Reststoffe - Teilbericht OekoRess. Berlin. Available online at http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/bergbauliche_reststoffe_final_151106.pdf, último acceso el 19 De enero 2016. (in German only)

Prior et al. (2012): Prior, T.; Giurco, D.; Mudd, G.; Mason, L.; Behrisch, J.: Resource depletion, peak mineral and the implications for sustainable resource management (El agotamiento de los recursos, el pico mineral y las implicancias para la gestión sosteni-ble de los recursos). En: Global Environmental Change 22 (3), pp. 577–587. 2012.

Ross (2003): Ross, M.: The Natural Resource Curse: How Wealth Can Make You Poor (La maldición de los recursos naturales: Cómo la riqueza puede emprobecer a la gente). en: Bannan, Collier 2003: Natural Resources and Violent Conflict. Options and Ac-tions. (Los Recursos naturales y los conflictos violentos. Opciones y acciones. Banco Mundial), Nueva York, 2003.

Salomons, W. (1995): Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, prediction, prevention (El Impacto ambiental de los metales derivados de las actividades mineras: Procesos, predicción, prevención). En: Journal of Geochemical Exploration 52 (1-2), pp. 5–23.

Singer et al. (2008): Singer, D. A., Berger, V. I., Moring, B. C.: Porphyry copper deposits of the world: Database, map, and grade and tonnage models (Los depósitos de pórfido de cobre del mundo: Base de datos, mapa y modelos de ley y de tonelaje), 2008. U.S. Geological Survey Open-file Report 2008–1155, http://pubs.usgs.gov/of/2008/1155/

Singer et al. (2009): Singer, D. A., Berger, V. I., Moring, B. C.: Sediment-hosted zinc-lead deposits of the world: Database and grade and tonnage models (Los Depósitos sedimentarios de zinc-plomo del mundo: Base de datos y modelos de ley y de tonelaj). U.S. Geological Survey Open-file Report 2009–1252, http://pubs.usgs.gov/of/2009/1252/

Schönwiese, C.-D. (2013): Klimatologie (Climatología). Ulmer. Stuttgart.

Shedlock et al. (2000): Shedlock, K. M., Giardini, D., Grünthal, G., Zhang, P.: The GSHAP Global Seismic Hazard Map (Mapa mundial de riesgo sísmico del GSHAP). En: Seismological Research Letters (Notas de Investigación sismológica). Vol. 71, No. 6, pp. 679–689. 2000.

Sverdrup et al. (2017): Sverdrup, H. U., Ragnarsdottir, K. V., Koca, D.: Integrated Modelling of the Global Cobalt Extraction, Supply, Price and Depletion of Extractable Resources Using the WORLD6 Model (Modelización integrada de la extracción y suministro de cobalto a nivel mundial, así como del precio y el agotamiento de los recursos extraíbles mediante el modelo WORLD6), BioPhysical Economics and Resource Quality, 2, 1, p. 1.

Tsurukawa et al. (2011): Tsurukawa, N.; Prakash, S.; Manhart, A.: Social impacts of artisanal cobalt mining in Katanga, Democratic Republic of Congo (Los Impactos sociales de la minería artesanal del cobalto en Katanga, República Democrática del Congo). Oeko-Institut e.V., 2011.

UBA (2015): Umweltbundesamt: personal communication during a project meeting at the Federal Environment Agency in Berlin (comunicación personal durante una reunión del proyecto en la Agencia Federal de Medioambiente en Berlín, el 8 de octubre 2015).

Udayabhanu, Prasad (2010): Udayabhanu, S. G.; Prasad, B.: Studies on Environmental Impact of Acid Mine Drainage Generation and its Treatment: An Appraisal (Estudios sobre el impacto ambiental de la generación de drenaje ácido de minas y su trata-miento: Una evaluación). En: Indian Journal of Environmental Protection 30 (2010) 953-967.

UNISDR (2013): From Shared Risk to Shared Value –The Business Case for Disaster Risk Reduction (De Riesgo compartido a valor compartido - El argumento económico para la reducción del peligro de los desastres). En: Global Assessment Report on Disas-ter Risk Reduction (Informe de Evaluación global sobre la reducción del peligro de desastres). Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, por sus siglas en inglés). Ginebra..

UNISDR (2015a): Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management Global Assessment Report on Disas-ter Risk Reduction. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR) (Lograr el Desarrollo sostenible. El Futuro de la gestión del riesgo de desastres. Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres. Oficina de las Nacio-nes Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres). Ginebra.

UNISDR (2015b): Annex 1: GAR Global Risk Assessment: Data, Methodology, Sources and Usage. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR) (Evaluación global de riesgos: Datos, me-todología, fuentes y uso. Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres. Oficina de las Naciones Uni-das para la Reducción del Riesgo de Desastres). Ginebra.

USGS (2015): Mineral commodity summaries (Resumenes de materias primas minerales) 2015. U.S. Geological Survey, Reston.

Vijgen, J., Nikolaieva, I. (2016): Improving the safety of industrial tailings management facilities based on the example of Ukrai-nian facilities. Annex 2 Methodology for improving TMF safety (Mejoramiento de la seguridad de las instalaciones de gestión de residuos industriales a partir del ejemplo de las instalaciones ucranianas. Anexo 2 Metodología para la mejora de la seguri-dad de las TMF). DOKUMENTATION 01/2016. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/doku_01_2016_annex_2_improving_the_safety_of_industrial_tailings_management_facilities_0.pdf

Wellmer, Hagelüken (2015): Wellmer, F. W., Hagelüken, C.: The Feedback Control Cycle of Mineral Supply, Increase of Raw Mate-rial Efficiency, and Sustainable Development (El Ciclo de control retroalimentado para el suministro de minerales, el incremen-to de la eficiencia de las materias primas y el desarrollo sostenible). En: Minerals 2015, 5(4). 815-836.

White, W.M. (2013): Geochemistry (Geoquímica). Chichester. Wiley-Blackwell.

Zepp, H. (2011): Geomorphologie (Geomorfología). Schöningh. Paderborn.

Textos citados únicamente en la Nomenclatura en español:

SÁNCHEZ, Luis Enrique: Departamento de Engenharia de Minas Escola Politécnica da Universidad de São Paulo: MANEJO DE RESI-DUOS SOLIDOS EN MINERÍA, (http://www.unesco.org.uy/geo/campinaspdf/campinasprimeras.pdf) pp. 239-250 (último acce-so el 16 de mayo 2022)

SILLANO, María Isabel, ROJAS, Jorge Pérez: DICCIONARIO DE MINERÍA INGLÉS - ESPAÑOL -INGLÉS, RIL editores, Santiago de Chile 2010, ISBN 978 956 284 735 3

Vergne, Jack de la: Diccionario Técnico de Mineros y Petroleros, Inglés-Español, 2012 https://www.miningideas.com/Documentos/Diccionario_Tecnico_de_Mineros_y_Petroleros_-_Ingles_a_Espanol.pdf (último acceso el 16 de mayo 2022)