



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT



La energía renovable en la minería

Acelerando la integración de energías renovables

INFORME DICIEMBRE DE 2018

Publicado por la

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

En cooperación con

 Columbia Center
on Sustainable Investment
A JOINT CENTER OF COLUMBIA LAW SCHOOL
AND THE EARTH INSTITUTE, COLUMBIA UNIVERSITY

ENERGYANDMINES





La energía renovable en la minería

Acelerando la integración de energías renovables

INFORME DICIEMBRE DE 2018

Índice

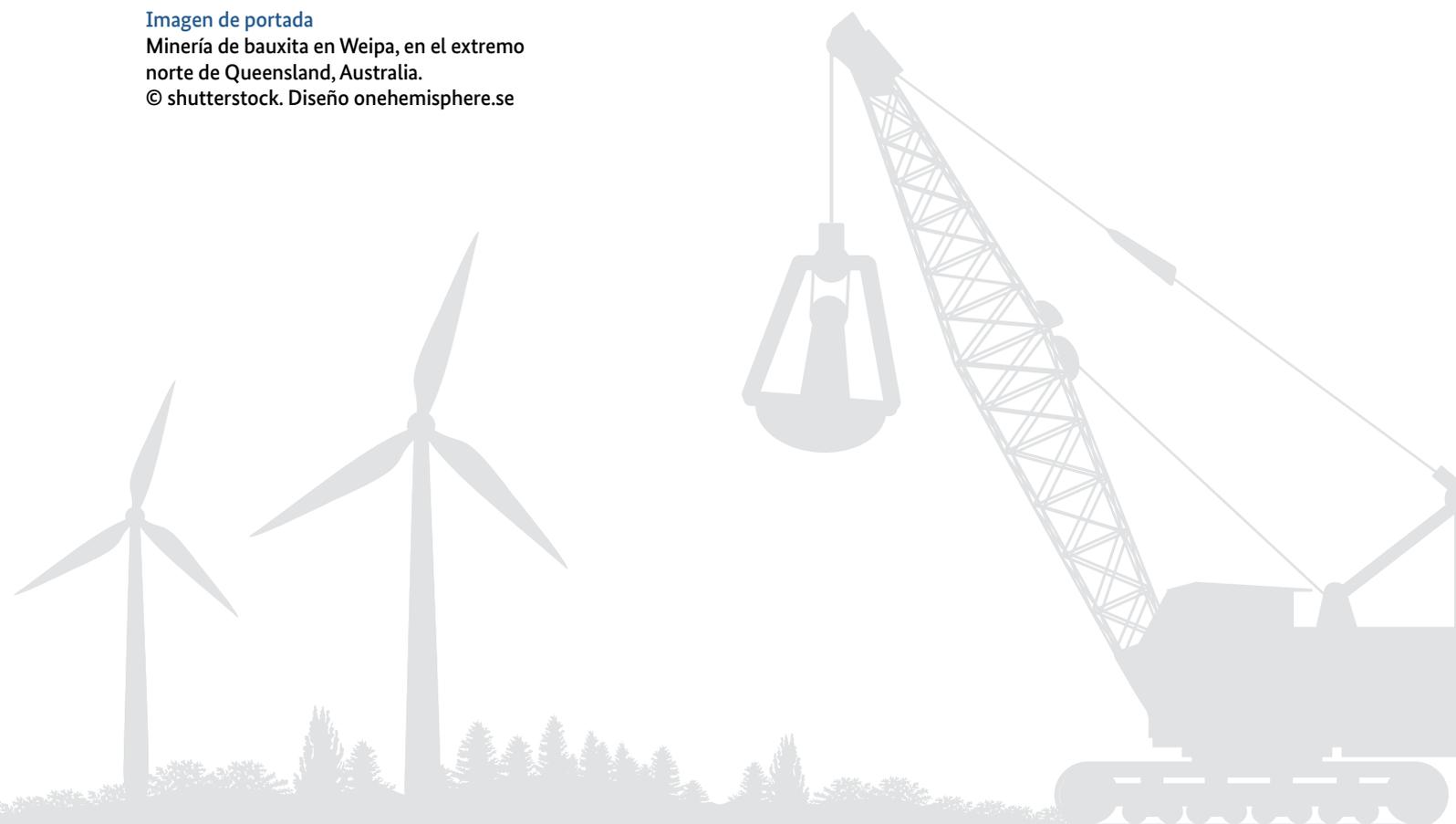
Resumen ejecutivo	16
Introducción.....	30
Parte 1. Marco de integración de energías renovables en sitios mineros	34
1.1. Factores que se deben considerar.....	36
1.2. Rango de penetración de las energías renovables.....	40
1.3. Acuerdos de abastecimiento de energías renovables.....	44
1.3.1. Autogeneración.....	44
1.3.2. Acuerdo de Compra de Energía.....	46
1.3.3. Agrupación de energía industrial.....	48
1.3.4. Certificados de Atributos Energéticos (EAC).....	49
1.3.5. Ofertas de energía renovable de los servicios públicos.....	50
1.4. Acuerdos de abastecimiento de energías renovables.....	51
1.4.1. Venta de energía a la red.....	51
1.4.2. Instalación de proyecto de energía renovable en concesión minera.....	52
1.4.3. Electrificación de las comunidades aledañas.....	52
Parte 2. Obstáculos para una mayor integración de las energías renovables.....	60
2.1. Técnicos.....	62
2.1.1. Intermitencia y variabilidad.....	62
2.1.2. Ubicación e instalación.....	63
2.2. Experiencia.....	64
2.2.1. Sistemas energéticos y adquisiciones.....	64
2.2.3. Logística.....	65
2.2.3. Responsabilidad.....	66
2.3. Financiación.....	68
2.3.1. Estructura de costo.....	68
2.3.2. Subcontratación.....	68
2.3.3. Compromiso.....	68
2.3.4. Soluciones sin conexión a la red para comunidades.....	74
2.4. Regulación.....	74
2.4.1. Subsidios a los combustibles fósiles.....	74
2.4.2. Falta de normativa específica sobre energías renovables.....	75
2.4.3. Falta de incentivos u obligaciones para electrificar en las comunidades cercanas.....	77
2.5. Intereses.....	78
2.5.1. Gobierno.....	78
2.5.2. Sector privado.....	82
Parte 3. Tendencias y factores impulsores	86
3.1. Técnicos.....	88
3.1.1. Electrificación de minas.....	88
3.1.2. Caída de costos de las energías renovables.....	89
3.1.3. Caída de costos del almacenamiento de baterías.....	92
3.1.4. Otras soluciones de almacenamiento.....	94
3.1.5. Paneles solares modulares.....	101
3.1.6. Cadena de bloques – Blockchain.....	102

3.2. Experiencia	105
3.2.1. Sector privado.....	105
3.2.2. Gobiernos y ONG.....	105
3.2.3. Donantes	105
3.3. Financiación.....	107
3.3.1. PPA corporativo	107
3.3.2. Seguro.....	107
3.3.3. Instituciones financieras para el desarrollo.....	108
3.4. Regulación.....	110
3.4.1. Políticas de energías renovables.....	110
3.4.2. Iniciativas de fijación de precios del carbono.....	111
3.5. Intereses.....	112
3.5.1. Accionistas.....	112
3.5.2. Consumidores y futuros colaboradores	113
3.5.3. Comunidades afectadas.....	114
3.5.4. Normas y esquemas de certificación	115
Parte 4. Conclusiones y recomendaciones	116
4.1. Gobiernos.....	118
4.2. Compañías mineras.....	120
4.3. Productores independientes de energía.....	121
4.4. Donantes	122
Parte 5. Investigación futura.....	124
Anexo 1: Panorámica del escenario mundial de las energías renovables.....	127/128
Anexo 2: Criterios de evaluación para la integración de energías renovables.....	129

Imagen de portada

Minería de bauxita en Weipa, en el extremo norte de Queensland, Australia.

© shutterstock. Diseño onehemisphere.se



Lista de imágenes

<i>Imagen 1:</i>	La energía renovable en la minería	18
<i>Imagen 2:</i>	Acuerdos de abastecimiento de energías renovables.....	19
<i>Imagen 3:</i>	Acuerdos de venta de energías renovables	21
<i>Imagen 4:</i>	Capacidad de energía renovable acumulada comisionada y anunciada (MW)	36
<i>Imagen 5:</i>	Factores que determinan el acuerdo de abastecimiento de energía.....	36
<i>Imagen 6:</i>	Comparación de soluciones diésel e híbridas	38
<i>Imagen 7:</i>	Rangos de penetración solar fotovoltaica	41
<i>Imagen 8:</i>	Perfil de producción de energía eólica, solar en comparación con un perfil de carga.....	41
<i>Imagen 9:</i>	Perfil de demanda eléctrica de una mina de oro subterránea	43
<i>Imagen 10:</i>	Acuerdos de abastecimiento de energías renovables.....	45
<i>Imagen 11:</i>	PPA virtuales vs. cerrados	46
<i>Imagen 12:</i>	Categorías para la compra de servicios públicos	51
<i>Imagen 13:</i>	Acuerdos de venta de energías renovables	51
<i>Imagen 14:</i>	Datos en vivo para la central eléctrica híbrida renovable de Coober Pedy.....	55
<i>Imagen 15:</i>	Potencial renovable por fuente.....	62
<i>Imagen 16:</i>	Camiones de combustible en la mina Diavik en perspectiva (2014).....	66
<i>Imagen 17:</i>	Economías de escala para plantas solares en los Estados Unidos.....	69
<i>Imagen 18:</i>	Simulaciones de precios de energía basadas en la vida útil del proyecto.....	70
<i>Imagen 19:</i>	Reservas promedio y recursos por producto.....	71
<i>Imagen 20:</i>	Vida útil de la mina de proyectos mineros seleccionados	71
<i>Imagen 21:</i>	Niveles globales de subvenciones para energías renovables	75
<i>Imagen 22:</i>	Precio promedio por licitación	80
<i>Imagen 23:</i>	Comparación de costo nivelado de energía (LCOE) no subsidiado.....	89
<i>Imagen 24:</i>	LCOE de energía solar frente a gas y diésel en distintas geografías.....	89
<i>Imagen 25:</i>	LCOE para CSP, energía solar fotovoltaica, proyectos eólicos en tierra y mar adentro, 2010–2020.....	90
<i>Imagen 26:</i>	Desglose de costos del sistema: Mina de Thabazimi en Sudáfrica.....	91
<i>Imagen 27:</i>	Precio de baterías de iones de litio	92
<i>Imagen 28:</i>	Perfil energético de la mina Degruusa en un día de gran luminosidad (10,6MW de energía solar fotovoltaica, 6MW de almacenamiento)	93
<i>Imagen 29:</i>	Perfil energético de la mina sin conexión a la red en un día de gran luminosidad (40MW de energía solar fotovoltaica, 17MW de almacenamiento).....	93
<i>Imagen 30:</i>	Sistema de energía solar térmica que abastece la mina Gabriela Mistral	95
<i>Imagen 31:</i>	Soluciones energéticas para empresas mineras ofrecidas por Solar Reserve	96
<i>Imagen 32:</i>	Políticas, herramientas e instrumentos que reducen barreras y mitigan riesgos	105
<i>Imagen 33:</i>	PPA corporativo	108
<i>Imagen 34:</i>	Número de países con políticas regulatorias de energías renovables	110
<i>Imagen 35:</i>	Tendencias en la adopción de incentivos financieros y fiscales.....	111
<i>Imagen 36:</i>	Número y porcentaje de emisiones cubiertas por iniciativas de fijación de precios del carbono.....	111
<i>Imagen 37:</i>	Resoluciones del cambio climático en los Estados Unidos.....	112
<i>Imagen 38:</i>	Capacidad instalada y crecimiento	127
<i>Imagen 39:</i>	Panorama global de la financiación de energías renovables 2015/2016.....	128

Lista de cuadros y tablas

<i>Cuadro 1:</i>	Evaluación de integración de energías renovables para Collahuasi.....	37
<i>Cuadro 2:</i>	Comparación de soluciones diésel e híbridas de cuatro minas sudafricanas.....	37
<i>Cuadro 3:</i>	Campo de exploración energética de Vale.....	39
<i>Cuadro 4:</i>	Impulso en la recuperación de sitios mineros con energías renovables.....	39
<i>Cuadro 5:</i>	Obtención de energía 100% renovable de la red.....	42
<i>Cuadro 6:</i>	PPA virtuales en Chile.....	47
<i>Cuadro 7:</i>	Inversiones conjuntas en energía frente a la crisis energética en Brasil.....	48
<i>Cuadro 8:</i>	El Consorcio Eólico Holandés.....	48
<i>Cuadro 9:</i>	Atributos de la EAC.....	49
<i>Cuadro 10:</i>	Sistema de crédito ambiental de Australia.....	50
<i>Cuadro 11:</i>	Proyecto de energía solar de Rosebel de Iamgold en Surinam.....	52
<i>Cuadro 12:</i>	Asarco arrienda terrenos en concesión minera a IPP.....	53
<i>Cuadro 13:</i>	BHP convierte sus sitios heredados de EE.UU. en tierras ideales para proyectos de energía renovable.....	53
<i>Cuadro 14:</i>	Estación energética híbrida renovable Coober Pedy.....	54
<i>Cuadro 15:</i>	Caso de estudio de Weipa.....	55
<i>Cuadro 16:</i>	Energía geotérmica en la mina de oro de Newcrest y en comunidades aledañas.....	56
<i>Cuadro 17:</i>	Mina de Essakane.....	58
<i>Cuadro 18:</i>	Mina de diamantes Diavik.....	67
<i>Cuadro 19:</i>	El sector minero de Chile en un mercado energético cambiante.....	73
<i>Cuadro 20:</i>	Exenciones fiscales al combustible.....	77
<i>Cuadro 21:</i>	Liberia: Requisito contractual para diseñar exceso de capacidad para la comunidad.....	77
<i>Cuadro 22:</i>	Rondas de licitación de energías renovables de Sudáfrica.....	78
<i>Cuadro 23:</i>	La política económica en la política de energías renovables de Sudáfrica.....	81
<i>Cuadro 24:</i>	Google y Apple apuntan a alcanzar un 100% en compras de energías renovables.....	83
<i>Cuadro 25:</i>	Centro para la transición energética.....	84
<i>Cuadro 26:</i>	La mina Borden será la primera mina subterránea totalmente eléctrica en Canadá.....	88
<i>Cuadro 27:</i>	La mina de Thabazimbi de Cronimet.....	91
<i>Cuadro 28:</i>	DeGrussa Solar.....	94
<i>Cuadro 29:</i>	Gabriela Mistral - Chile.....	95
<i>Cuadro 30:</i>	Cerro Dominador.....	97
<i>Cuadro 31:</i>	Proyecto hidroeléctrico de almacenamiento por bombeo Kidston.....	99
<i>Cuadro 32:</i>	Mina Ranglan de Glencore.....	100
<i>Cuadro 33:</i>	Solución solar modular de SunShift.....	103
<i>Cuadro 34:</i>	ARENA.....	104
<i>Cuadro 35:</i>	El modelo A-B-C.....	104
<i>Cuadro 36:</i>	Scaling Solar.....	106
<i>Cuadro 37:</i>	Amanecer Solar CAP.....	109
<i>Cuadro 38:</i>	Precio premium para aluminio "verde".....	114
<i>Tabla 1:</i>	Agrupaciones de proyectos de energías renovables que abastecen minas.....	38
<i>Tabla 2:</i>	Distintos modelos de propiedad y financiación.....	45
<i>Tabla 3:</i>	Uso del suelo por fuentes de electricidad.....	63
<i>Tabla 4:</i>	Vida útil de la mina: hacer que varias tecnologías sean viables.....	69
<i>Tabla 5:</i>	Plataformas coincidentes.....	108
<i>Tabla 6:</i>	Evaluación de criterios para la integración de energías renovables en proyectos de minería.....	129

Lista de acrónimos*

ABB	Empresa sueco-suiza que opera principalmente en las áreas de robótica, energía, equipos eléctricos pesados y tecnología de automatización.
AEMP	Plataforma de gestión energética de África (productor independiente de energía híbrida y renovable, basado en África, e inversor de capital en energías renovables)
ARENA	Agencia de energía renovable australiana
ASI	Iniciativa de protección del aluminio
Banco BCI	Banco chileno
BBVA	Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (Grupo bancario español)
BHP	Empresa minera diversificada australiano-británica
BNP	Grupo bancario francés BNP Paribas
BOS	Balance del sistema
CAP	Holding chileno de los sectores minero y siderúrgico
CDSB	Consejo de normas de divulgación climática
CEFC	Corporación financiera de energía limpia
CFD	Contrato por diferencias
CNE	Comisión energética nacional chilena
CO₂	Dióxido de carbono
CODELCO	Corporación Nacional del Cobre de Chile
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción de Chile, agencia chilena de desarrollo económico
CRONIMET	Empresa alemana de soluciones de energía y minería.
CSN	Empresa siderúrgica brasileña
CSP	Energía solar concentrada
DCS	Sistemas de control distribuido
DFI	Institución financiera para el desarrollo
DOE	Departamento de energía
DSM	Multinacional holandesa activa en los campos de la salud, nutrición y materiales
EAC	Certificados de Atributos Energéticos
ENERCON	Fabricante alemán de aerogeneradores
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.
EPC	Firma de Ingeniería, Adquisiciones y Construcción
EREN RE	Desarrollador y productor francés de energía independiente
ESKOM	Empresa nacional de servicios públicos de electricidad de Sudáfrica
GHG	Gases de efecto invernadero
IADB	Banco Interamericano de Desarrollo
ICMM	Consejo Internacional de Minería y Metales
ICT	Tecnología de la información y la comunicación
IFC	Corporación financiera internacional
IPP	Productor de energía independiente
JV	Empresa conjunta (Joint Venture)
KFW	Banco de Desarrollo Alemán
KWh	Kilovatios hora
LCOE	Costo nivelado de energía
LGC	Certificado de generación a gran escala
MW	Megavatios
NEOEN	Productor independiente francés de energía renovable
OPIC	Corporación para Inversiones Privadas en el Extranjero
PDAC	Asociación de prospectores mineros de Canadá

NOTA

* Se mantienen algunos acrónimos originales del inglés por su amplio uso en el sector.

PNG	Papúa Nueva Guinea
PPA	Acuerdo de compra de energía
PV	Fotovoltaico
R&D	Investigación y desarrollo
RAF	Fondo para accidentes de tránsito
RE	Energía renovable
REFIT	Tarifa de alimentación de energía renovable
REIPPPP	Programa de adquisiciones de productores independientes de energías renovables en Sudáfrica
RET	Objetivo de energías renovables
RMI	Rocky Mountain Institute
SARS	Servicio de Impuestos de Sudáfrica
SCADA	Vigilancia, control y adquisición de datos
SDG	Objetivos de desarrollo sostenible
SING	Sistema interconectado del Norte Grande
SSI	Iniciativa de Scaling Solar
TCFD	Grupo de trabajo sobre declaraciones financieras relacionadas con el clima
TSM	Hacia una Minería Sostenible
TUGLIQ	Grupo de producción de energía independiente francés
UK	Reino Unido



Términos y definiciones

Acuerdo de compra de energía	Un contrato entre dos partes, una que genera electricidad (el vendedor) y otra que compra la electricidad (el comprador).
Alianza de Compradores de Energías Renovables	Iniciativa para identificar barreras para comprar energía renovable y desarrollar soluciones que satisfagan la demanda voluntaria que crece rápidamente.
Apagones	Una falla en el suministro eléctrico.
Arrendamiento de capital	El arrendador financia el activo arrendado, pero la propiedad del activo permanece con el arrendatario. Tipo de préstamo obtenido por el arrendatario por parte del arrendador.
Arrendamiento operativo	Un contrato de alquiler en el que el arrendatario paga las tarifas al arrendador y no es propietario del activo.
Balance del sistema	Abarca todos los componentes de un sistema fotovoltaico que no sean los paneles fotovoltaicos.
Carga base	La cantidad de energía requerida para satisfacer las demandas mínimas basadas en expectativas razonables de los requisitos del cliente.
Comprador	La parte que compra la electricidad.
Comprador ancla	Es el principal comprador de electricidad que garantizará la viabilidad del proyecto.
Conectada a la red	Que está conectado a la red.
Control de frecuencia y control de giro	Es un proceso para mantener la estabilidad en el sistema de energía cuando hay una desviación entre la fuente de alimentación y la demanda
Costo nivelado de energía	El valor presente neto del costo unitario de la electricidad durante la vida útil de un activo generador. A menudo, se toma como un indicador del precio promedio que el activo generador debe recibir en un mercado para compensar su vida útil.
Cuidado y mantenimiento	Cuando se detiene la producción y la mina se cierra temporalmente, pero se administra de tal manera que garantiza la posibilidad de reiniciar la producción en una etapa posterior.
Curva de carga	Un gráfico que ilustra la variación en la demanda/carga eléctrica durante un tiempo específico. Las compañías de generación utilizan esta información para planificar la cantidad de energía que necesitarán generar en un momento dado.

Curva de consumo	Es un gráfico de la producción de energía en el transcurso de un día que muestra el desequilibrio de tiempo entre la demanda máxima y la producción de energía renovable. En muchos mercados de energía, la demanda máxima se produce después de la puesta del sol, cuando la energía solar ya no está disponible
Desconexión de carga	Acción para reducir la carga en algo, especialmente la interrupción de un suministro de electricidad para evitar una carga excesiva en la planta generadora.
Documento fuera del balance	Activos o deudas que no se consideran en el balance de una empresa
EAC separados	EAC donde se vende y se entrega electricidad y certificados por separado.
Economías de escala	Las ventajas de costo que obtienen las empresas debido a su escala de operación (comúnmente medida por la cantidad de producción realizada), con el costo por unidad de producción que disminuye a medida que aumenta la escala.
Electrodeposición	También llamada electro-obtención, es la electrodeposición de metales de sus minerales que han sido puestos en solución a través de un proceso comúnmente denominado lixiviación. La electro-refinación utiliza un proceso similar para eliminar las impurezas de un metal.
Externa	Una central eléctrica que no está en la concesión de la mina.
Intermitencia (de RE)	La medida en que una fuente de alimentación comienza y se detiene en intervalos irregulares.
Interna	Una central eléctrica que está en la concesión de la mina.
Llave en mano	Proyecto que se construye para que pueda venderse a cualquier comprador como un producto terminado.
Medición neta	Sistema en el que los paneles solares u otros generadores de energía renovable están conectados a una red eléctrica de servicios públicos y la energía excedente se transfiere a la red, lo que permite a los clientes compensar el costo de la energía extraída de la red.
Mini-red	Implica la generación de electricidad a pequeña escala (10 kW a 10 MW), que atiende a un número limitado de consumidores con una red de distribución que generalmente opera aislada de las redes nacionales de transmisión de electricidad.

Términos y definiciones

Oráculos	Un agente que encuentra y verifica eventos reales y envía esta información a una cadena de bloques para que la utilicen los contratos inteligentes.
Paradigma de valor compartido	Políticas y prácticas operativas que mejoran la competitividad de una empresa, al mismo tiempo que promueven las condiciones económicas y sociales en las comunidades en las que opera.
Paquetes de EAC	Certificado de atributos energéticos (EAC) donde se vende y se entrega electricidad y certificados juntos.
PPA cerrado/PPA lado a lado/ PPA físico externo/PPA directo	Un acuerdo mediante el cual el IPP vende la electricidad directamente al comprador por un precio acordado.
PPA sintético/PPA virtual/ PPA financiero/Contrato por diferencia	A diferencia de un PPA físico, un PPA sintético es un contrato financiero y solo puede ver la luz si existe un mercado al contado. En tal acuerdo, el IPP vende la electricidad al precio del mercado al contado y luego establece la diferencia entre ese precio y el precio acordado en el PPA con el comprador.
Precio de ejercicio	Acuerdo bilateral en el que una parte obtiene un precio fijo para la electricidad.
Productor de energía independiente	Una entidad, que no es un servicio público o una empresa de servicio público, pero que posee instalaciones para generar energía eléctrica para su venta a servicios públicos y usuarios finales.
RE100	Iniciativa de empresas comprometidas con la electricidad 100% renovable.
Reservas rotativas	La capacidad de generación adicional que está disponible al aumentar la potencia de salida de los generadores que ya están conectados al sistema de energía.
Restricción	Una de las muchas herramientas para mantener el equilibrio energético del sistema, que consiste en reducir la salida desde un generador de lo que podría producir para ajustarse a la demanda.
Rotación	El transporte de energía eléctrica (megavatios-hora) desde dentro de una red eléctrica a una carga eléctrica fuera de los límites de la red.
Sin conexión a la red	Que no está conectado a la red.
Sistema de energía híbrido	Es un sistema de energía que consiste en dos o más fuentes de energía utilizadas juntas para proporcionar una mayor eficiencia del sistema, así como un mayor equilibrio en el suministro de energía.

Suspensión de actividades

Poner una mina fuera de funcionamiento, pero mantenerla para poder utilizarla en el futuro.

Tarifa de alimentación

Es un pago por la electricidad que alimenta la red de suministro desde una fuente de energía renovable, como paneles solares o eólicos. Las tarifas de alimentación pueden ser exigidas por el gobierno u ofrecidas voluntariamente por un productor minorista de electricidad.

Tarifa del alimentador

Pagos a los usuarios comunes de energía por la electricidad renovable que generan.

Variabilidad (de RE)

La medida en que una fuente de energía exhibe cambios en la salida.

Vida útil de la mina

El tiempo en el que, mediante el empleo del capital disponible, se extraerán las reservas de mineral, o la extensión razonable de las reservas de mineral que el análisis geológico conservador pueda justificar.

Prefacio

En 2015, cuando se adoptaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), inmediatamente nos quedó claro que el sector minero podría ser un socio fundamental e influyente para lograrlos. Gracias a la cooperación alemana, el Columbia Center on Sustainable Investment (CCSI), el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas, el Foro Económico Mundial y la Red de Soluciones de Desarrollo Sostenible, se trazaron las posibles contribuciones del sector minero a cada uno de los 17 SDG, destacando las formas en que la industria minera podría contribuir a través de sus propias operaciones, y mediante colaboraciones y asociaciones con otras compañías, gobiernos, socios de desarrollo y otros actores.

Cuando se consideran los factores impulsores tanto del sector minero como de los SDG, no se puede negar que la energía se encuentra en el centro de ambos. En términos de desarrollo, los ODS 7 (garantizar el acceso a energía asequible, confiable, sostenible y moderna para todos) y 13 (tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos) sustentan el logro de todos los demás ODS. No podemos alcanzar los objetivos de salud, trabajo, educación y erradicación de la pobreza, por ejemplo, sin abordar el enorme y creciente déficit de electrificación. Además, de manera similar, el ritmo alarmantemente rápido del cambio climático ha demostrado ser una de las mayores amenazas para nuestra generación y las futuras; no poder poner fin al calentamiento global y no migrar rápidamente a un sistema de energía global con emisiones netas cero socavaría todos los demás objetivos y, de hecho, la seguridad de todas las especies en este planeta.

La energía es fundamental para el crecimiento y el éxito del sector minero, al igual que lo es para el

desafío del desarrollo. Como se destaca en este informe, la transición global hacia sistemas de energía de emisión neta-cero aumentará la demanda de minerales, ya que ciertos minerales son insumos clave para las tecnologías de energía renovable y los sistemas de transporte electrificados. Esto impulsará una mayor demanda de electricidad por parte del sector minero, acelerado aún más por la automatización y la electrificación de las minas.

Como lo ha señalado la Iniciativa de Minería Inteligente para el Clima (Climate Smart Mining) del Banco Mundial, este cambio y el aumento de la demanda de minerales plantearán “una serie de desafíos en la extracción y el procesamiento de estos materiales desde una perspectiva sostenible. Esto incluye la gestión de las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso de energía y agua, y los impactos ambientales locales para garantizar que las presiones sociales se aborden de manera adecuada”.

Si bien el desafío es importante, la oportunidad es igual de grandiosa. De hecho, la importancia de la energía tanto para el sector minero como para el logro de los objetivos de desarrollo sostenible posiciona de manera única al sector para un impacto transformador. Como indicamos en el Atlas: “La industria minera puede mejorar la sostenibilidad energética al acelerar la incorporación de medidas de eficiencia energética y energías renovables en los suministros de energía de las minas, y asociarse con empresas de servicios públicos para aumentar el uso de fuentes renovables.. La minería también puede aprovechar su demanda energética para extender la energía a las áreas con poco suministro a través de asociaciones que permitan el uso compartido de la infraestructura energética”.

Tres años después, estamos encantados de tener la oportunidad de ampliar y desarrollar esas ideas, desempaquetando los desafíos financieros, operativos, logísticos y políticos, y proponiendo soluciones y ejemplos de las decenas de empresas pioneras que han tomado medidas para integrar las energías renovables en sus operaciones mineras.

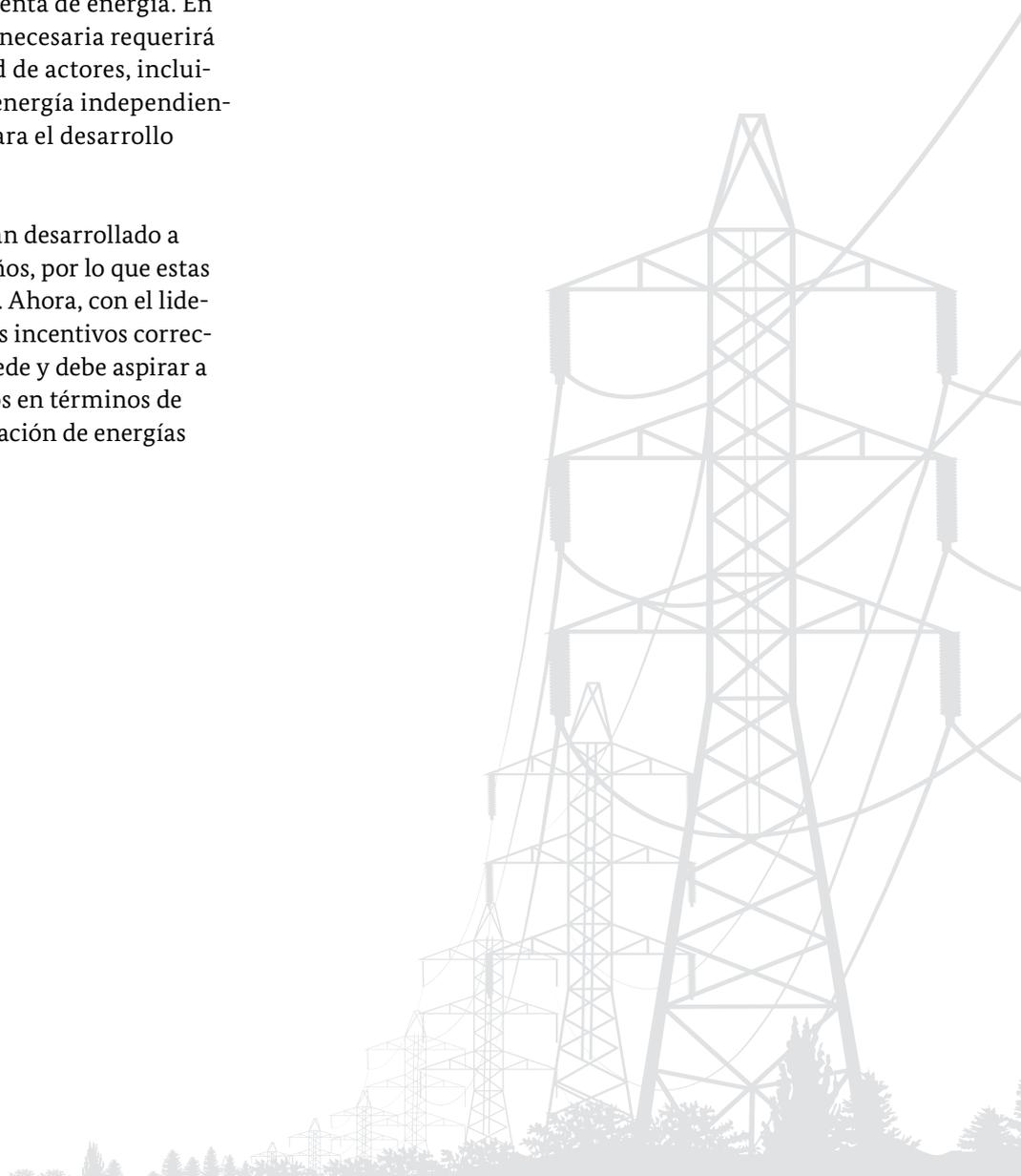
De este informe, podemos destacar tres mensajes. En primer lugar, existe una oportunidad tremenda y urgente para que la industria asuma sus responsabilidades en el marco de los ODS, para mitigar sus contribuciones al cambio climático, particularmente a la luz de las diversas presiones que conducirán a una mayor demanda de energía por parte del sector. En segundo lugar, el sector tiene una gran oportunidad de contribuir a la accesibilidad de energía limpia y moderna a través de diversos acuerdos de abastecimiento y venta de energía. En tercer lugar, la transformación necesaria requerirá la colaboración de una variedad de actores, incluidos gobiernos, productores de energía independientes, instituciones financieras para el desarrollo (DFI) y servicios públicos.

Las tecnologías renovables se han desarrollado a gran velocidad en los últimos años, por lo que estas ya no son el principal obstáculo. Ahora, con el liderazgo dentro de la industria y los incentivos correctos establecidos, la industria puede y debe aspirar a objetivos mucho más ambiciosos en términos de reducción de emisiones e integración de energías renovables.

Las miradas están puestas en el sector minero, y las expectativas de liderazgo e innovación dentro del sector están creciendo. Esperamos que el informe genere discusión y diálogo entre la industria, sus socios y los grupos interesados sobre la función que el sector puede desempeñar para ayudar a alcanzar los objetivos globales sobre el clima y las energías limpias.

Lisa Sachs
Directora de CCSI

Lisa Sachs





© shutterstock

Granja solar en el Desierto de Atacama, en el norte de Chile





Resumen ejecutivo

La minería es una industria de uso intensivo de energía que requiere acceso a una fuente de electricidad estable. Con el aumento de la demanda de minerales y la disminución de las leyes de mineral, se estima que la demanda de energía aumentará en un 36% para el año 2035. La demanda de electricidad crecerá a un ritmo aún mayor, dado que la automatización y la electrificación de los sitios mineros requilibrarán la demanda de energía desde los combustibles líquidos hacia la electricidad. En la actualidad, la electricidad producida y adquirida por las compañías mineras está basada principalmente en

combustibles fósiles. Esto tendrá que cambiar para que el sector contribuya a la descarbonización de la economía mundial, acción necesaria para que los países cumplan con el objetivo que adoptaron en el Acuerdo de París de evitar que las temperaturas globales aumenten más de 1,5-2 grados centígrados. Al mismo tiempo, los costos de los sistemas de almacenamiento de energía solar, eólica y de baterías han estado disminuyendo a una escala sin precedentes, lo que ha alentado a un número creciente de compañías mineras a probar estas tecnologías en sus minas.

Este informe proporciona una descripción general de cómo el sector minero ha integrado las energías renovables en sus operaciones mineras, los obstáculos que aún existen y las tendencias futuras que probablemente impulsarán el despliegue de fuentes renovables para suministrar electricidad a los sitios mineros. El enfoque principal está en las fuentes de energía eólica y solar, debido a la rápida aceptación en los últimos años y la esperada disminución continua de los costos, lo que las vuelve más atractivas desde una perspectiva comercial, y a que estas tecnologías pueden integrarse en más minas en comparación con otras fuentes de energía renovable.

Después de una extensa revisión de la literatura existente, se entrevistaron a 53 personas de las diversas partes interesadas para conocer los últimos avances y discutir temas que no están cubiertos en la literatura. Se han incluido 38 estudios de caso para destacar ejemplos prácticos y experiencias obtenidas.

La siguiente imagen resume los hallazgos del informe. Además de reducir los costos operativos, las soluciones de energías renovables tienen el potencial de ayudar a las compañías mineras a protegerse contra los precios volátiles de las materias primas cuando la fuente de energía se basa en combustibles fósiles y a diversificar el riesgo del suministro de energía; reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que mitiga los riesgos de impuestos a la emisión de carbono y cumple con los esquemas de certificación de la industria; afianzan el permiso para operar al reducir el ruido local y la contaminación del aire, y al mejorar el acceso a la energía en regiones remotas cuando el proyecto minero no esté conectado a la red y puedan aprovecharse para electrificar a las comunidades circundantes; otorgan una ventaja competitiva con los inversionistas ESG y clientes mediante la venta de productos de primera categoría con bajas emisiones de carbono; y propician la instalación de proyectos de energía renovable en sitios mineros recuperados para obtener cuotas de arrendamiento de tierras y respaldar el cierre de minas en la región.

Imagen 1: La energía renovable en la minería



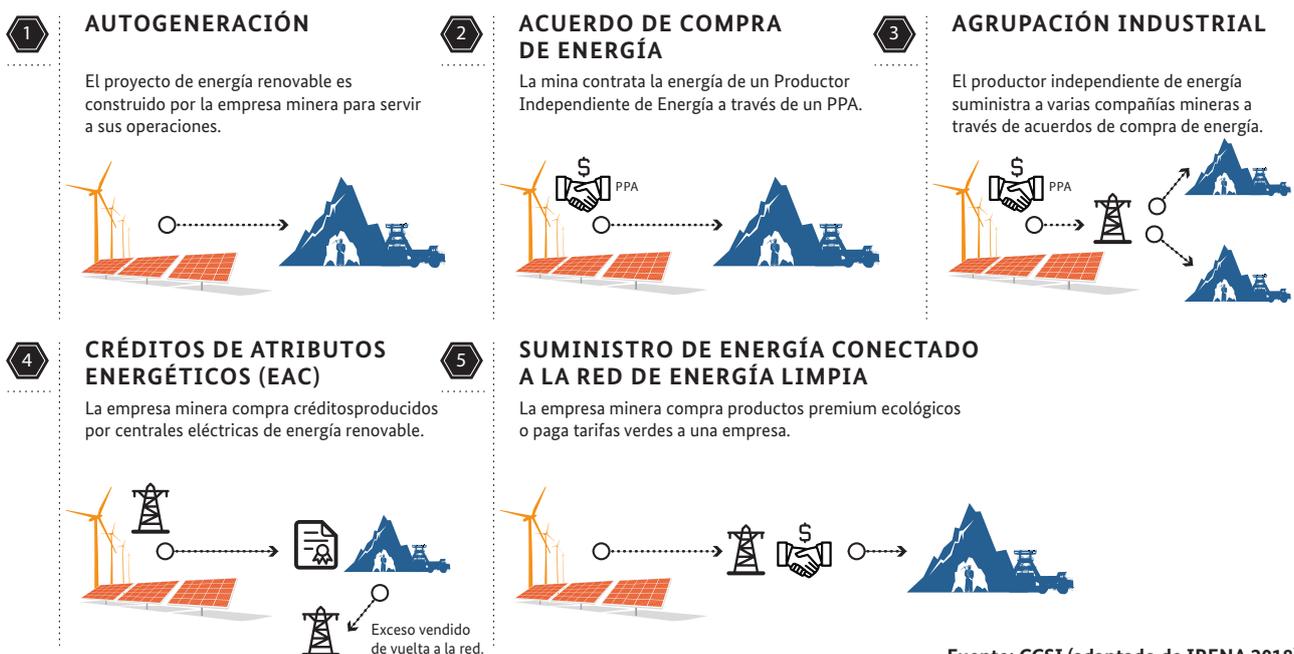
Las recomendaciones han sido divididas por las partes interesadas más importantes que cumplen una función en la implementación de la integración de energías renovables en los sitios mineros, tales como gobiernos, compañías mineras, productores de energía independientes (IPP) y donantes.

Estructura

Hay varios factores que determinarán cómo y en qué medida las empresas mineras pueden integrar las energías renovables en sus operaciones. Estos incluyen:

1. **El potencial de las energías renovables:** incluida la ubicación, el diseño de la mina y otras opciones de suministro de energía. La ubicación está relacionada con las condiciones climáticas en el área o el sistema de red, las características del terreno y si éstas son adecuadas para la construcción de sistemas eólicos o solares. En el diseño de mina, factores relevantes para la integración de energías renovables incluyen el perfil de carga y
2. **Acceso y estabilidad de la red:** las minas que no están conectadas a la red o que no pueden confiar en la red requerirán centrales eléctricas independientes o generadores de respaldo.
3. **Etapas del proyecto:** la mayor parte de la energía se consumirá durante las operaciones. Sin embargo, también hay oportunidades para integrar las energías renovables durante la exploración y posterior al cierre.
4. **Marco legal:** incluye políticas de energías renovables, impuestos y mecanismos de incentivos.
5. **Beneficiarios:** los beneficiarios de la electricidad del proyecto de energía renovable podrían ser la mina, la red y/o las comunidades que se encuentran cerca del sitio de la mina.

Imagen 2: Acuerdos de suministro de energías renovables



Fuente: CCSI (adaptado de IRENA 2018).

A menudo, estos factores están relacionados entre sí. Por ejemplo, la existencia de beneficiarios adicionales estará estrechamente relacionada con si el proyecto está o no conectado a la red, y si el marco legal permite la venta a terceros. Además, estos factores determinarán la tasa de penetración de las energías renovables. En un lugar donde los perfiles eólico y solar se complementan, por ejemplo, se pueden lograr mayores tasas de penetración de energías renovables como lo demuestra la mina de cobre Zaldivar (*cuadro 5*) en Chile para un proyecto conectado a la red y el Sistema de energía híbrido Coober Pedy (*cuadro 14*) en Australia para un proyecto no conectado a la red. Para las tasas de penetración de energías renovables por encima del 20% en escenarios sin conexión a la red, es necesario integrar controladores de almacenamiento y de energía que realicen monitoreo en tiempo real del balance de energía, la calidad de la energía y la estabilidad.

Hay cinco acuerdos de suministro de energías renovables disponibles para las compañías mineras, como se ilustra en la imagen 2:

1. **Autogeneración:** el proyecto de energía renovable es construido por la empresa minera y es de su propiedad.
2. **Acuerdo de compra de energía (PPA):** la mina contrata el servicio de energía de un IPP y se compromete a comprar la electricidad según los términos acordados, previamente establecidos en el PPA.
3. **Agrupación industrial:** varias compañías se comprometen a comprar electricidad a un IPP para hacer viable un proyecto de energía renovable.
4. **Créditos de atributos energéticos:** la empresa minera compra créditos producidos por centrales eléctricas de energía renovable.
5. **Suministro de energía conectado a la red de energía limpia:** la empresa minera compra productos premium ecológicos o paga tarifas verdes a una empresa de electricidad.

En el sector minero, los acuerdos de autogeneración y de PPA son los más utilizados. El primero es particularmente adecuado para proyectos de minería no conectados a la red en jurisdicciones que no cuentan con un marco legal vigente que permita la venta de

electricidad a terceros. Si bien este acuerdo puede ayudar a reducir los precios de la electricidad para las operaciones, aumenta el gasto de capital y los riesgos que asume la empresa minera. Cuando se permiten los acuerdos de PPA, se transfieren los gastos de capital al IPP. Ha habido una proliferación de acuerdos de PPA corporativos y relacionados con la minería que se han adaptado a contextos y necesidades específicas.

Hay tres acuerdos de venta de energía renovable vinculados a proyectos mineros que se ilustran en la *imagen 3*:

1. **Venta de energía a la red:** el exceso de capacidad generado por la central eléctrica renovable se vende a la empresa de electricidad.
2. **Instalación de proyecto de energía renovable en concesión minera:** la compañía minera proporciona o arrienda el terreno a un IPP sin necesariamente usar la energía para la operación minera en sí.
3. **Electrificación de las comunidades aledañas:** en un escenario sin conexión a la red, el proyecto de energía renovable sirve a la mina y/o a las comunidades circundantes.

Si bien el primer acuerdo de venta no es común en la minería, hay varios ejemplos del segundo y el tercero. La empresa minera Asarco en Arizona (*cuadro 12*), por ejemplo, firmó un contrato a largo plazo con un IPP para construir y operar un proyecto de energía renovable en su concesión. Esto es particularmente atractivo para la fase posterior al cierre, donde el terreno previamente explotado es un pasivo para una empresa. Al mismo tiempo, el acceso a terrenos adecuados es uno de los mayores obstáculos para llevar a cabo proyectos de energía renovable. Las minas rehabilitadas con acceso a infraestructura existente pueden reducir los costos de proyectos de energías renovables y presentar la oportunidad para un uso alternativo del sitio minero, así como una fuente potencial de ingresos para la empresa minera.

Además, el terreno plano de las instalaciones de relaves rehabilitadas es muy adecuado para las instalaciones de centrales solares y no requiere el despejar los terrenos. Hay varios ejemplos de proyectos de energía renovable que operan en minas de lignito rehabilitadas en Alemania, mientras que BHP Billiton (*cuadro 13*) está revisando actualmente sus



minas en desuso para la generación de energías renovables y de potencial de almacenamiento.

En regiones remotas, las compañías mineras tradicionalmente han construido infraestructura y han prestado servicios a los pueblos mineros necesarios para albergar la fuerza laboral. Esto ha incluido el suministro de electricidad.

Al extender esta infraestructura a las comunidades aledañas, las compañías mineras pueden aumentar la electrificación. Particularmente en África, donde la pobreza energética afecta a alrededor de 600 millones de personas, esta es una gran oportunidad

de desarrollo. La mina de bauxita Weipa (*cuadro 15*) en Australia y la mina de oro de Lihir (*cuadro 16*) en Papúa Nueva Guinea son ejemplos en los que se han integrado proyectos de energía solar y geotérmica para servir a la mina y alimentar la mini-red de las comunidades aledañas. Si bien este acuerdo de venta tiende a ser más complejo, tiene el potencial de contribuir significativamente al "paradigma de valor compartido" del sector, reducir la posibilidad de oposición de la comunidad y contribuir al desarrollo continuo de la región en el período posterior a la extracción, ya que el proyecto de energía renovable promedio supera la vida útil de los proyectos mineros.

Imagen 3: Acuerdos de venta de energías renovables



Fuente: CCSI.

Obstáculos

Los obstáculos para una mayor integración de energías renovables se pueden agrupar en cinco categorías: técnicos, experiencia, financiación, normas e intereses/incentivos.

Técnicos

Los obstáculos técnicos están asociados con la intermitencia y la variabilidad de las fuentes de generación de energía renovable. Los proyectos mineros están diseñados para funcionar las 24 horas del día y los 365 días del año y, por lo tanto, requieren un acceso estable a la electricidad sin interrupciones. La energía solar y eólica solo se pueden generar cuando el sol brilla y el viento sopla. En particular, para los sitios mineros sin conexión a la red, esto significa que se necesita una fuente de energía de respaldo que sea gestionable (en la mayoría de los casos se usa diésel). El diseño de un sistema de energía híbrido no solo tiene que considerar el ciclo de 24 horas, sino también la estacionalidad y los ciclos multianuales como El Niño para garantizar la energía en el peor de los casos. Como tal, los gastos de capital asociados con un sistema de energía gestionable de respaldo no se pueden eliminar, lo que hace que la inversión financiera en tasas más altas de penetración de energías renovables sea menos atractiva. Otro obstáculo técnico está asociado con la ubicación y la instalación. Habrá áreas donde las condiciones climáticas pueden ser menos adecuadas para la energía solar y eólica. Además, el sitio minero puede ubicarse en un terreno donde es difícil construir una central solar o eólica, dado que la intensidad del uso de la tierra de la energía solar fotovoltaica es 25 veces mayor, y el uso de la energía eólica es 2,5 veces más alto que los sistemas de generación basados en diésel.

Experiencia

Dada la tendencia relativamente reciente de las empresas mineras que buscan integrar las energías renovables en sus operaciones mineras, la experiencia y el conocimiento interno sobre los sistemas de generación de electricidad eólica, solar e híbrida son aún incipientes en comparación con aquellos de las centrales eléctricas tradicionales, como los grupos electrógenos diésel, que los ingenieros de las minas están acostumbrados a operar y reparar. Para abordar esta deficiencia, las compañías mineras pueden buscar externalizar la central de energía renovable o híbrida a un IPP. Sin embargo, los sistemas de adqui-

sición también deben adaptarse para que los proyectos sean aceptables para los IPP y los financiadores. Además, si la solución energética no está totalmente integrada entre los diferentes elementos de los sistemas híbridos, podría crear problemas de logística y responsabilidad.

Financiación

Las restricciones de financiación se relacionan con la estructura de costos de las plantas de energía renovable. Si bien las centrales eléctricas que utilizan diésel tienen costos de operación más altos, los costos de capital iniciales de las energías renovables son y seguirán siendo más altos en el futuro previsible. Esto es problemático desde una perspectiva de flujo de efectivo en el acuerdo de suministro de autogeneración, ya que los inversionistas quieren recuperar los gastos de capital iniciales lo más rápido posible. Como se mencionó anteriormente, la externalización a un IPP aborda este problema, pero la electricidad tendrá un precio más alto, ya que el IPP tendrá que generar un margen y puede enfrentar mayores costos de financiación en comparación con las grandes compañías mineras. Además, el IPP requerirá un compromiso por parte de la compañía minera en caso de que sea el comprador ancla (o el único comprador en el escenario sin conexión a la red) el tiempo suficiente para recuperar la inversión. Este compromiso está ligado a la vida útil de la mina que, a su vez, está determinada por las reservas minerales que son económicamente factibles de extraer.

Si la vida útil de la mina está alineada con la vida útil de la central de energía solar/eólica, que está diseñada para funcionar aproximadamente de 20 a 25 años, es probable que el proyecto de energía renovable ofrezca importantes oportunidades de ahorro de costos en comparación con las soluciones energéticas menos intensivas en capital, como el diésel. Sin embargo, se incentiva a las compañías mineras a limitar los costos de exploración iniciales hasta el punto en que el proyecto minero se vuelva financiable (es decir, tener suficientes reservas que atraigan financiamiento) y luego continuar la exploración mientras las operaciones continúan. Mientras que, por lo tanto, es probable que el proyecto minero se prolongue más de lo que sugeriría la vida útil inicial de la mina, los IPP y los financiadores no están dispuestos a correr el riesgo de un compromiso inicial más corto. Con una vida útil más corta en la mina, se desvanece el atractivo de las soluciones de energía renovable.

Incluso con reservas suficientes para garantizar una larga vida útil de la mina, las compañías mineras son reacias a firmar un PPA a largo plazo o a proporcionar garantías de las empresas matrices, ya que esto reduce la flexibilidad de poner un proyecto minero bajo cuidado y mantenimiento en caso de que haya una caída significativa del mercado. Los PPA a largo plazo amarran a las compañías mineras en compromisos de precios en una era en la que los precios de la electricidad ofrecidos por los IPP disminuyen rápidamente. Además, el sector de la energía solar y eólica ha experimentado una consolidación en el mercado con la adquisición de muchos IPP o con su quiebra en los últimos años. La más destacada es SunEdison, que alguna vez fue la mayor empresa de energía renovable del mundo y que se declaró en bancarrota en 2016. Esto aumenta el riesgo de contraer un compromiso a largo plazo con IPP renovables.

La financiación también es un obstáculo para operacionalizar el acuerdo de venta por el cual se electrifica a las comunidades circundantes. Este modelo debe ser particularmente atractivo para los donantes gracias al potencial de desarrollo. Sin embargo, las instituciones financieras para el desarrollo (DFI) están más enfocadas en financiar proyectos de energías renovables a gran escala en lugar de sistemas híbridos más pequeños, importantes para minas y comunidades circundantes sin conexión a la red. Los costos administrativos son más altos en estos sistemas más pequeños y la mayoría de ellos no financian proyectos de combustibles fósiles que, al menos por ahora, tendrían que ser parte de un sistema híbrido en un escenario no conectado a la red. Además, los largos procesos para aprobar las finanzas son un obstáculo en un mercado de energías renovables acelerado.

Regulación

Los subsidios a los combustibles fósiles están desacelerando la integración de las energías renovables en los sitios mineros. A nivel mundial, los subsidios a los combustibles fósiles en 2015 fueron aproximadamente el doble de los subsidios para energías renovables. Además, las empresas mineras a menudo están exentas de pagar impuestos sobre combustibles utilizados en operaciones todoterreno (off-road) y para la generación de energía. En las jurisdicciones ricas en minería, como Australia y Sudáfrica, el sector minero se encuentra entre los mayores receptores de créditos de combustible o solicitudes de reembolso.

Estos subsidios e incentivos hacen que las fuentes de energía renovable sean menos atractivas. Muchas jurisdicciones ricas en recursos también carecen de regulaciones específicas sobre energías renovables. Para las operaciones mineras sin conexión a la red en los países en desarrollo, el PPA entre el IPP y la compañía minera puede dictar las reglas del juego y compensar un marco legal deficiente. Sin embargo, tan pronto como el proyecto de energía renovable se conecta a la red y/o esté diseñado para vender a terceros, como las comunidades alrededor del sitio minero, es necesaria una legislación sobre energías renovables. Si bien hay algunos proyectos mineros que se han comprometido a electrificar a las comunidades que rodean sus operaciones, faltan incentivos, compromisos o requisitos legales para avanzar en este acuerdo.

Intereses

Si bien, desde una perspectiva técnica, los cambios regulatorios necesarios para alentar los proyectos de energía renovable parecen relativamente sencillos, en la práctica, las reformas energéticas son difíciles de implementar. Esto se debe a que existen poderosos intereses privados y públicos que se van a perder con los cambios en las políticas. Las reformas que apuntan a desagrupar el sector energético para permitir que otros productores compitan en la generación y distribución a menudo se enfrentan a la oposición de las empresas que perderían su poder de monopolio. También hay intereses poderosos en el sector de los combustibles fósiles, a quienes no favorecería un mayor uso de energías renovables. Esto abarca desde políticos que desean apelar a votos electorales que se benefician o se han beneficiado de la cadena de valor de los combustibles fósiles, hasta grupos del sector privado que presionan a los gobiernos y financian campañas de desinformación. Además, el sector de importación y venta de combustible diésel en los países en desarrollo a menudo está controlado por elites comerciales influyentes y bien conectadas.

También hay intereses en pugna a nivel sectorial y empresarial. El sector minero está menos orientado al pensamiento innovador y es más reacio a cambiar que otras industrias como, por ejemplo, el sector de las TIC, que está liderando la integración de las energías renovables. La actitud de ser el "primero en ser segundo", o sea, de querer integrar nuevas tecnologías una vez que otros hayan demostrado que son exitosas, está obstaculizando la prueba de nuevas

soluciones de energía renovable en las minas. A nivel de la empresa, mientras que la administración y el departamento de sostenibilidad de una empresa minera pueden estar interesados en la integración de la energía renovable por razones de reputación, un administrador de la mina, que recibe un pago de acuerdo con los objetivos de producción, puede no

estarlo. Además, se incentiva a los contratistas a diseñar sistemas conservadores con bajos índices de penetración de energías renovables para garantizar que puedan cumplir con los requisitos de energía garantizados.



Tendencias y factores impulsores

Las tendencias y los factores impulsores también se han agrupado en las cinco categorías establecidas anteriormente.

Técnicos

La creciente demanda de minerales y la disminución de las leyes minerales requerirán más energía por tonelada de producción. La demanda de electricidad constituirá una proporción creciente de la energía total a medida que las minas se electrifiquen. La mina de oro Chapleau de Goldcorp (*cuadro 26*) ejemplifica esta tendencia. Al mismo tiempo, se espera que los costos de la generación de energía solar y eólica se reduzcan aún más en los próximos años, lo que convierte a estas fuentes en las opciones de electricidad de menor costo (sobre un costo nivelado y no subsidiado). Hoy en día, las energías renovables, como la eólica y la energía solar a escala de servicios públicos, ya son competitivas en costos sin subsidio. La mina Thabazimbi (*cuadro 27*) en Sudáfrica es un ejemplo en el que, ya en 2013, la integración solar proporcionó un ahorro de costos y la planta se detuvo incluso después de 3,6 años. Desde entonces, el costo nivelado de la energía solar fotovoltaica se ha reducido en más de un 44%.

También se pronostica que los precios de las baterías caerán rápidamente, con costos reducidos a la mitad entre 2017 y 2025. Esto hará que el almacenamiento de baterías sea cada vez más atractivo para ayudar a abordar la intermitencia solar y eólica, permitiendo así mayores tasas de penetración de energías renovables en escenarios sin conexión a la red. La mina Degussa (*cuadro 28*) de cobre/oro, en el oeste de Australia, es un buen ejemplo de un proyecto que ya ha integrado baterías en su sistema de energía híbrido.

Otras soluciones de almacenamiento prometedoras para el sector minero que pueden ayudar a abordar la intermitencia de las energías renovable incluyen el desarrollo de tecnologías de energía solar térmica, el almacenamiento por bombeo y el hidrógeno. En la mina Gabriela Mistral (*cuadro 29*) en Chile, una planta termosolar suministra el 80% de la electricidad de las instalaciones de electrodeposición de Codelco. Además, hay varias plantas de energía solar concentrada (CSP) que se están construyendo para satisfacer las necesidades del sector minero en el norte de Chile, como el proyecto Cerro Dominador (*cuadro 30*). Los sistemas de almacenamiento por bombeo podrían integrarse en sitios mineros aban-

donados. El proyecto de energía de almacenamiento por bombeo más avanzado que utiliza dos minas a cielo abierto proviene de Kidston (*cuadro 31*) en Australia. El hidrógeno es particularmente atractivo para el sector minero, ya que presenta la oportunidad de ofrecer no solo una solución de almacenamiento para la generación de electricidad basada en energías renovables, sino que también tiene la posibilidad de sustituir los combustibles líquidos en la maquinaria minera, una solución que la mina Raglán (*cuadro 32*) está probando en Canadá.

Para abordar la restricción de compromiso descrita anteriormente, según la cual las compañías mineras no pueden o no quieren firmar PPA a largo plazo, las tecnologías de energías renovables modulares pueden proporcionar una solución. La longitud del PPA se puede acortar y los sistemas se pueden volver a implementar si el PPA no se renueva. Esta tecnología también podría ayudar a integrar las energías renovables durante la fase de exploración. Se están integrando tecnologías solares modulares en la mina Century (*cuadro 33*) y en la mina Cannington (*cuadro 33*) en Queensland, Australia.

Experiencia

Un número creciente de compañías mineras está integrando energías renovables en sus operaciones mineras y está adquiriendo experiencia y conocimientos. Los IPP también están mejorando su conocimiento sobre las especificidades del sector minero que deben considerar al ofrecer soluciones comerciales de energía renovable. Además, las instituciones gubernamentales y las ONG que están trabajando en proyectos relacionados con la integración de la energía renovable en los sitios mineros, por ejemplo, ARENA (*cuadro 34*) del Gobierno de Australia y el proyecto Sunshine for Mines del Rocky Mountain Institute, están difundiendo sus hallazgos y experiencias obtenidas. Los donantes también han acumulado experiencia ayudando a los gobiernos a diseñar políticas habilitadoras y a adquirir energías renovables. Las experiencias obtenidas de otros sectores pueden ayudar a abordar varios de los acuerdos de abastecimiento descritos anteriormente. Por ejemplo, el proyecto de la comunidad empresarial GIZ (*cuadro 35*) tiene el potencial de ayudar a las partes interesadas a implementar el acuerdo de ventas de electrificación de la comunidad. Estas experiencias, particularmente cuando comienzan a mostrar evidencia de cómo las compañías mineras pueden beneficiarse comercialmente, impulsarán aún más la integración de la energía renovable.

Financiación

La financiación para los IPP renovables sigue siendo la mayor restricción, especialmente en los países en desarrollo donde el régimen regulatorio aún no está adaptado a las energías renovables y donde los riesgos percibidos son mayores. Sin embargo, hay tendencias positivas cuando se analizan los desarrollos de los PPA corporativos. El volumen de PPA corporativos ha aumentado en gran medida, de aproximadamente 2 GW en 2012 a 29 GW en 2018. Se ha creado una amplia gama de formularios de PPA, productos de financiamiento y seguros para adaptarse a las diferentes especificidades y riesgos de los proyectos. Como resultado, las tasas de capital ahora están en el rango de 5-10% en Australia, donde solían estar en el rango de 10-15% para proyectos de energías renovables conectados a la red. Se observa una tendencia similar para las minas sin conexión a la red.

Las DFI desempeñan una función particularmente importante en la eliminación de riesgos de la financiación de energías renovables, como se ve en el proyecto Amanecer Solar CAP en Chile (*cuadro 37*). Además, los inversionistas institucionales, como los fondos de pensiones, los fondos soberanos y los administradores de activos privados internacionales pueden verse cada vez más atraídos hacia las inversiones en energías renovables a medida que el campo se desprende de los proyectos de combustibles fósiles, lo que libera capital a largo plazo.

Normas

Los gobiernos de todo el mundo están implementando cada vez más incentivos financieros y fiscales que hacen que las energías renovables sean más atractivas, así como regulaciones para respaldar el despliegue de energía renovable. Mientras que en 2007 solo 50 países tenían regulaciones e incentivos a las energías renovables, esto aumentó a 128 países en 2017. Más de 150 países tenían objetivos relacionados con la energía renovable a nivel nacional, además, el número de jurisdicciones que han puesto en marcha iniciativas de fijación de precios del carbono ha aumentado rápidamente, alcanzando 40 jurisdicciones nacionales y 25 subnacionales en 2017. En consecuencia, la cantidad de emisiones cubiertas por la fijación de precios del carbono se ha multiplicado por cuatro en la última década. Tales iniciativas internacionalizarán los costos creados por las emisiones de combustibles fósiles y fortalecerán aún más el caso económico de las energías renovables. Se espera que esta tendencia continúe, ya que los países están tratando de abordar los compromisos asumidos en las contri-

buciones nacionales determinadas en virtud del Acuerdo de París.

Intereses

Los accionistas e inversores institucionales están cada vez más preocupados de los riesgos del cambio climático en su cartera. En los EE.UU., el cambio climático ha encabezado la lista de resoluciones de los accionistas en los últimos años, con inversionistas que piden a las empresas que implementen sistemas de gestión para reducir los riesgos de las emisiones de carbono y que establezcan objetivos de eficiencia energética y de integración de energías renovables. Se pueden observar tendencias similares en otras jurisdicciones donde se registran las empresas mineras. Iniciativas como el Grupo de trabajo sobre divulgaciones financieras relacionadas con el clima y las Normas de Contabilidad para la Sostenibilidad están estableciendo nuevos estándares de requisitos de divulgación relacionadas con el clima. La iniciativa Metas Basadas en la Ciencia (Science Based Targets) está ayudando a las empresas e inversores a evaluar qué objetivos están alineados con el Acuerdo Climático de París.

Del mismo modo, los consumidores están presionando cada vez más a los proveedores para garantizar una cadena de valor responsable. El abastecimiento responsable de cobalto de la República Democrática del Congo es un ejemplo reciente en el que el sector minero se ha visto directamente afectado. Empresas como Apple han solicitado informes sobre las emisiones de carbono en la cadena de valor, lo que está presionando a los proveedores para que reduzcan las emisiones. Al ser uno de los mayores emisores en la cadena de valor de los productos de consumo, el sector minero se verá afectado por estas tendencias. De forma particular, esto se da en el sector de la fabricación de automóviles, donde aproximadamente dos tercios del contenido total de carbono del automóvil durante su ciclo de vida pasará del uso del automóvil con un motor de combustión interna a la producción de un automóvil con un motor eléctrico. Otro potencial impulsor del aumento de la demanda de minerales bajos en carbono es la contratación pública. Las políticas de la UE y los países de la OCDE buscan recompensar a las cadenas de suministro más ecológicas en los sectores de la construcción y el transporte.

Si bien las comunidades afectadas están menos preocupadas por las emisiones de carbono, ellas se preocupan por la contaminación del aire y el ruido de los proyectos mineros, problemas que la integración de las energías renovables puede mitigar. El sector

minero ha luchado cada vez más para obtener y retener la licencia social para operar en muchas jurisdicciones mineras en los últimos años. Es probable que esta presión se intensifique a medida que las compañías mineras busquen automatizar sus instalaciones, lo que conduce a menos oportunidades de empleo y adquisiciones a nivel local. Para beneficiar a las comunidades locales en escenarios sin conexión a la red, las compañías mineras podrían tratar de entregar electricidad a las comunidades circundantes como una forma de reequilibrar el paradigma del "valor compartido".

Como respuesta a la creciente presión de las partes interesadas, en los últimos años, el sector minero ha visto un número creciente de estándares que prevén que las empresas mineras hagan más para enfrentar el cambio climático. En diversos grados, las asociaciones mineras internacionales y nacionales han adaptado los estándares del cambio climático. Los esquemas de certificación, como la iniciativa *Aluminum Stewardship Initiative* y la iniciativa *Responsible Mining Assurance*, también requieren que las empresas y los emplazamientos mineros establezcan objetivos de emisiones de gases de efecto invernadero más ambiciosos. El cumplimiento de éstos requerirá que las empresas mineras adopten las energías renovables de forma más amplia.

Conclusiones y recomendaciones

El impulso y las tendencias a largo plazo apuntan a que las energías renovables desempeñarán un papel más importante en el sector minero. A medida que los impactos del cambio climático empeoran, los gastos de adaptación al clima aumentan y los precios de las tecnologías de almacenamiento y de energías renovables continúan disminuyendo, es probable que este impulso aumente debido a la presión de las diversas partes interesadas. Este desarrollo presenta una oportunidad para que las compañías mineras con miras al futuro acumulen experiencia en la integración de energías renovables. A medida que avanza la integración, las inversiones pueden aprovecharse para aumentar la electrificación en escenarios rurales sin conexión a la red con la ayuda de donantes. Después del cierre, también existe un gran potencial para que los terrenos mineros se utilicen para proyectos de energía renovable.

Para facilitar la integración de las energías renovables en el sector minero, los gobiernos, las empresas mineras, los productores de energía independientes y los donantes tienen que cumplir ciertas funciones.

Los gobiernos que buscan atraer inversiones en energías renovables podrían permitir que los IPP ingresen al mercado. Alternativamente, las empresas podrían ofrecer los programas de compras corporativas. Los gobiernos también podrían exigir la inclusión de evaluaciones de energía renovable en los estudios de factibilidad para proyectos nuevos y negociar los requisitos de electrificación de la comunidad cuando sea apropiado. Las regulaciones deben adaptarse para permitir la continuación del proyecto de energía renovable después del cierre. Además, podría considerarse el establecimiento de objetivos de emisiones de carbono para el sector en el que contribuye en gran medida a las emisiones nacionales. Para incentivar aún más las energías renovables, los gobiernos podrían adoptar iniciativas de fijación de precios del carbono, eliminar los subsidios a los combustibles fósiles y rastrear los atributos de las energías renovables. Se debería recompensar a la investigación y el desarrollo (I+D) en esta área y a los pioneros. Por el lado de la demanda, los gobiernos podrían buscar adoptar prácticas de contratación pública ecológicas para incentivar la descarbonización de las cadenas de suministro de la construcción y el transporte.

Las compañías y asociaciones mineras deben buscar una carrera a la cima con un mayor liderazgo en energías renovables y objetivos más ambiciosos. El desarrollo de productos premium con bajas emisiones puede proporcionar una señal de liderazgo a los consumidores y puede llevar a una ventaja competitiva en el futuro. La capacitación del personal sobre las oportunidades de energía renovable y la alineación de incentivos puede ayudar a internalizar este liderazgo en toda la empresa. Los procesos mineros y las opciones de energía renovable deben revisarse periódicamente, dado el rápido desarrollo de las tecnologías renovables y la caída de los precios. La adaptación de las prácticas de adquisición para atender mejor las soluciones de energía renovable es clave. En escenarios sin conexión a la red, las empresas mineras deberían considerar más estratégicamente el papel que pueden desempeñar en el diseño de soluciones energéticas para estimular el desarrollo económico rural a través de una mayor electrificación.

Los productores independientes de energía podrían tratar de abordar mejor las necesidades de las compañías mineras, desarrollando soluciones de energía híbrida que se adapten a diversas circunstancias. El cumplimiento de estándares ambientales, sociales y gubernamentales estrictos ayudaría a garantizar

que los proyectos de energía renovable conserven la licencia social para operar en el futuro. A medida que se inician más proyectos de energías renovables, la resistencia de las comunidades afectadas puede aumentar si no se siguen las prácticas recomendadas. La búsqueda de financiación de DFI puede apoyar en esta acción.

Los donantes deben tratar de aumentar la financiación climática debido a que los países desarrollados se están quedando atrás en sus compromisos. En la actualidad, se carece particularmente de financiamiento para proyectos de energía renovable de tamaño mediano adecuados para sitios mineros. Se podría diseñar un centro único para la integración de la energía renovable en proyectos corporativos (minería) para agilizar el soporte. Los donantes pueden desempeñar un papel particularmente importante en el desarrollo e implementación de esquemas de electrificación de la comunidad sin conexión a la red y coordinar la combinación de la demanda de energía. La simplificación de los programas de apoyo desde el inicio hasta la conclusión ayudaría a mantenerse al día con el acelerado sector de las energías renovables. Una mayor colaboración entre los departamentos de minería y energía renovable dentro de las organizaciones donantes, así como entre el asesoramiento técnico y las unidades de financiamiento, puede ayudar a identificar oportunidades e implementarlas. Finalmente, los donantes deben trabajar políticamente para ayudar a promover reformas energéticas que apoyen la integración de las energías renovables en los países en desarrollo ricos en recursos naturales.

Esperamos que este informe contribuya a comprender la integración de la energía renovable en el sector minero. Durante la investigación y en las conversaciones para este estudio, surgieron varias ideas interesantes que merecen atención adicional. Estas incluyen: (1) revisar otras tecnologías de energía renovable y evaluar qué tecnologías son particularmente prometedoras a lo largo de la cadena de valor minera; (2) evaluar la medida en que los países en desarrollo con un potencial hidroeléctrico podrían facilitar y beneficiarse de la penetración de la energía solar y eólica; (3) diseñar una operación minera en torno a los perfiles de generación de energía renovable y comparar la economía resultante del proyecto con el enfoque tradicional de diseñar soluciones de energía en una mina que opera a una capacidad establecida; (4) analizar en profundidad y realizar pruebas piloto de la electrificación de la disposición de las comunidades circundantes en escenarios son conexión a la red; (5) desarrollar directrices y materiales de capacitación para ayudar a la integración de la energía renovable; y (6) evaluar si existe potencial para las energías renovables en las operaciones mineras artesanales y a pequeña escala.







© shutterstock

Central de energía solar
concentrada





Introducción

El sector minero es una industria de uso intensivo de energía que requiere un acceso constante y confiable a la energía para sus operaciones. Dependiendo de la fuente y el nivel de actividades posteriores incluidas en la evaluación, la industria minera representa entre el 1,25% y el 11% de la demanda energética global.¹ En promedio, el consumo final de energía del sector depende, en gran medida, de los combustibles fósiles con el 62% de la energía final, compuesta por petróleo, gas y carbón. El 35% está compuesto por el

consumo de electricidad y, dependiendo del país de operaciones, la red también está basada en combustibles fósiles.* En 2014, solo el 0,001% de la mezcla de consumo final de energía en el sector de la minería y la explotación de canteras era energía solar, eólica u otros tipos o energías renovables instaladas en el sitio.³ Al incluir la combinación de generación de electricidad promedio de la red, la contribución de la energía renovable a la minería ha sido relativamente constante por debajo del 10% desde 1971.⁴

NOTA

* Los minerales ferrosos y no metálicos tienden a tener una mayor proporción de consumo de combustible fósil a electricidad (alrededor del 87-88%) en comparación con los metales no ferrosos (alrededor del 60%).²

De cara al futuro, se espera que el consumo de energía por parte del sector minero aumente en un 36% para 2035⁵, debido a la disminución de las leyes de mineral y la creciente demanda de minerales. Al mismo tiempo, el mundo se comprometió con la Agenda 2030⁶ para que la temperatura global no supere los 1,5 grados centígrados. Esto requerirá una rápida descarbonización del sistema energético mundial a mediados del siglo.⁷ Estas dos tendencias presentan una oportunidad y un desafío sin precedentes al sector minero. Por un lado, la velocidad a la que se produce la transición energética será un factor determinante para el crecimiento de la demanda de ciertos minerales, dado que las tecnologías de carbono cero en los sectores de la energía y el transporte son más intensivas en minerales.⁸ Por otro lado, el sector minero tendrá que reducir drásticamente su dependencia de los combustibles fósiles en sus operaciones para reducir sus emisiones de carbono. Los proyectos de generación solar y eólica tienen el potencial de descarbonizar el componente de electricidad del consumo de energía.

En este contexto, y considerando los avances en la tecnología solar y eólica, así como la drástica caída de los precios de la energía solar y eólica en los últimos años, las soluciones de energía renovable se han vuelto cada vez más atractivas para las compañías mineras. En promedio, los gastos de energía representan alrededor del 15% de los costos totales y pueden aumentar hasta el 40% en la industria de la minería de metales cuando se involucra el procesamiento.⁹ Por lo tanto, el ahorro en este componente del costo, que probablemente aumentará en el futuro, es una propuesta atractiva para las empresas mineras. En la actualidad, hay una serie de proyectos de energía solar y eólica que están en marcha, y Ernst and Young anticipa que, para 2022, la inversión del sector minero en energías renovables será más del doble que la inversión actual.¹⁰

A pesar del creciente interés por la utilización de fuentes renovables en el sector minero, la tasa de penetración de la energía eólica y solar sigue siendo pequeña. No ha aumentado significativamente según la proporción de la energía total consumida por el sector y siguen existiendo reservas sobre la integración de energías renovables. Esto se puede deber a varias razones, incluyendo: (a) la naturaleza intermitente del suministro de energía solar y eólica; (b) la inadecuada cuantificación de las reservas probadas de minerales existentes para justificar una inversión a largo plazo en infraestructura de energía

renovable; (c) la falta de conocimiento de la industria minera sobre las energías renovables; (d) las estructuras de incentivos en las empresas mineras que no son propicias para el cambio; y (e) una falta de comprensión por parte de los desarrolladores de energías renovables sobre cómo estructurar los acuerdos comerciales de energía ajustados a las especificidades de la industria minera.¹²

El objetivo de este informe es proporcionar recomendaciones a las empresas mineras, productores de energía independientes, gobiernos e instituciones de desarrollo sobre cómo acelerar la integración de las energías renovables en el sector minero. Lo hace identificando los obstáculos existentes y los factores impulsores futuros que van a influir en la velocidad de la integración. Después de una extensa revisión de la literatura, se entrevistaron a 53 personas de los diversos grupos de partes interesadas para captar los últimos desarrollos y discutir temas que no están cubiertos en las publicaciones oficiales. Se incluyeron citas relevantes de estas entrevistas a lo largo del informe y, además, se revisaron estudios de casos para resaltar ejemplos prácticos y experiencias obtenidas. Estos se presentan en cuadros a lo largo del informe. Se prestó especial atención a la revisión del marco reglamentario y los estudios de casos en Australia, Canadá, Chile y Sudáfrica. Estos países de diferentes regiones son ricos en diversos recursos minerales y se encuentran a la vanguardia de la integración de la energía renovable en los sitios mineros, y han desarrollado marcos regulatorios avanzados para respaldar dichos sistemas. De esta forma, presentan valiosas experiencias obtenidas de las que pueden aprender otros países ricos en recursos. El enfoque principal de este informe está en las fuentes de energía solar y eólica que abastecen a las operaciones mineras a gran escala.

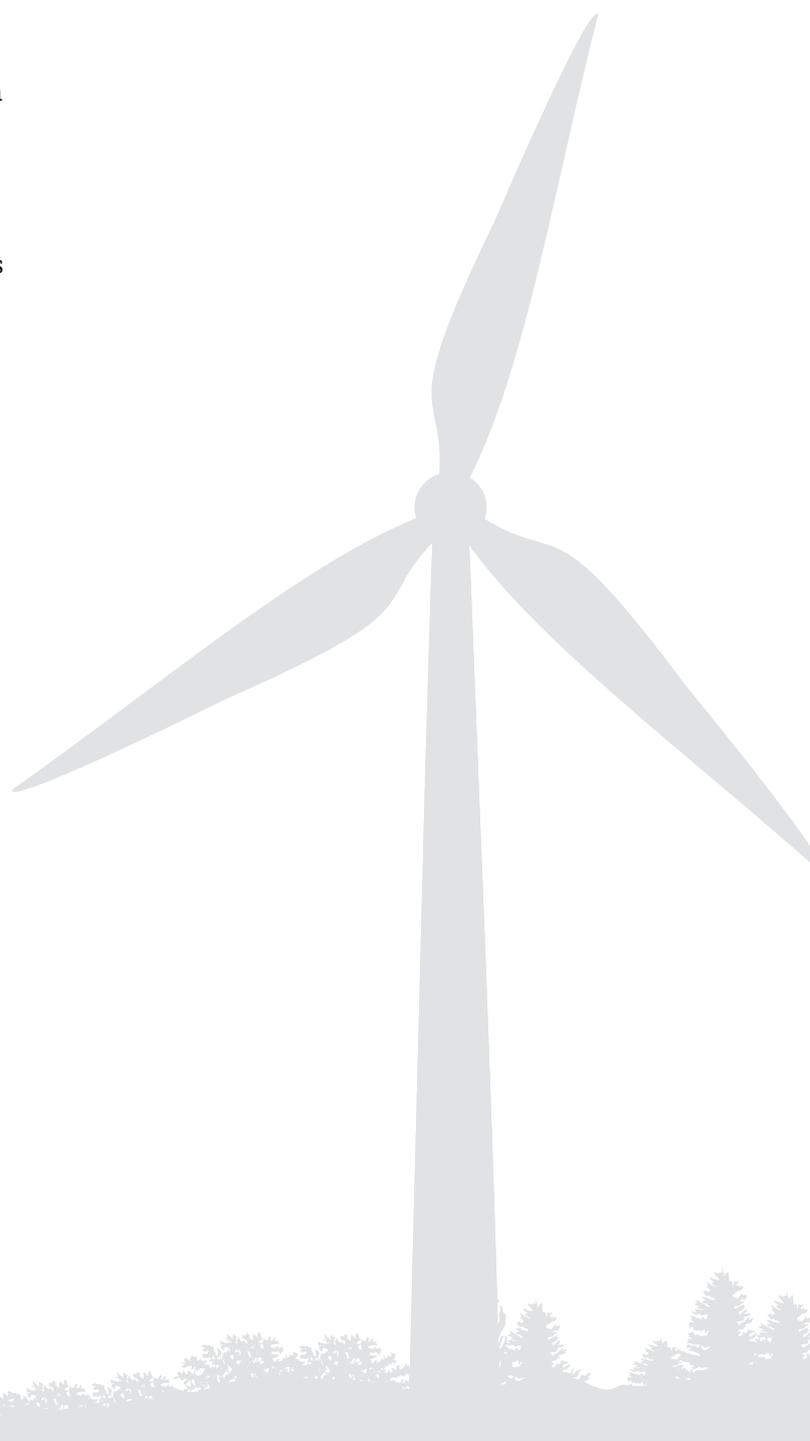
Estas tecnologías han sido elegidas debido a su rápida aceptación en los últimos años*, la continua disminución esperada de los costos en los años venideros que hace que sean más atractivas desde una perspectiva empresarial y porque estas tecnologías pueden integrarse en más minas que otras fuentes de energías renovables** La energía hidroeléctrica es una tecnología más madura en la que es poco probable que los costos se reduzcan significativamente en los próximos años. Además, las sinergias y estudios de casos de minería hidroeléctrica ya se han destacado en el informe "The power of the mine", donde CCSI es coautor.¹⁴ Esto no significa que las compañías mineras no deban considerar la hidroelectricidad y

otras tecnologías renovables al momento de evaluar fuentes de energía potenciales, y el informe proporciona estudios de caso de integración de hidroelectricidad (*cuadros 5 y 7*) e integración geotérmica (*cuadro 16*). En particular, la energía hidroeléctrica tiene un gran potencial para abordar los problemas de intermitencia asociados con la energía eólica y solar, y puede atender de manera más adecuada las necesidades energéticas muy elevadas de las operaciones de fundición.

El informe se estructura de la siguiente manera: la *Sección 1* proporciona el marco de cómo las empresas mineras pueden obtener energía eólica y solar para sus operaciones. Destaca los factores que deben considerarse al elegir el acuerdo de suministro de energía y la tasa de penetración de energías renovables que se puede lograr con varias tecnologías. También se describen varios acuerdos de venta renovables. La *Sección 2* destaca los obstáculos que han dificultado el aumento de la captación de energía renovable en el sector minero, y la *Sección 3* describe las tendencias futuras y los factores que conducirán a una captación más rápida de las energías renovables en la minería. La *Sección 4* concluye el informe y proporciona recomendaciones para las partes interesadas (gobiernos, compañías mineras, productores de energía independientes y donantes).

NOTAS

- * Consulte el *anexo 1* para ver el último panorama global del uso de energías renovables.
- ** Muchas de las operaciones mineras remotas están ubicadas alrededor del Ecuador, entre los 35° de latitud de los paralelos norte y sur donde el sol es intenso y confiable (por ejemplo, en el África subsahariana, Australia o el norte de Chile) y, por lo tanto, es ideal para la generación de electricidad con energía solar.¹³





© Jörn Breiholz

La mina de Chuquicamata es una mina de cobre en la Región de Atacama, en el norte de Chile.





Marco de integración de energías renovables en sitios mineros

I.0

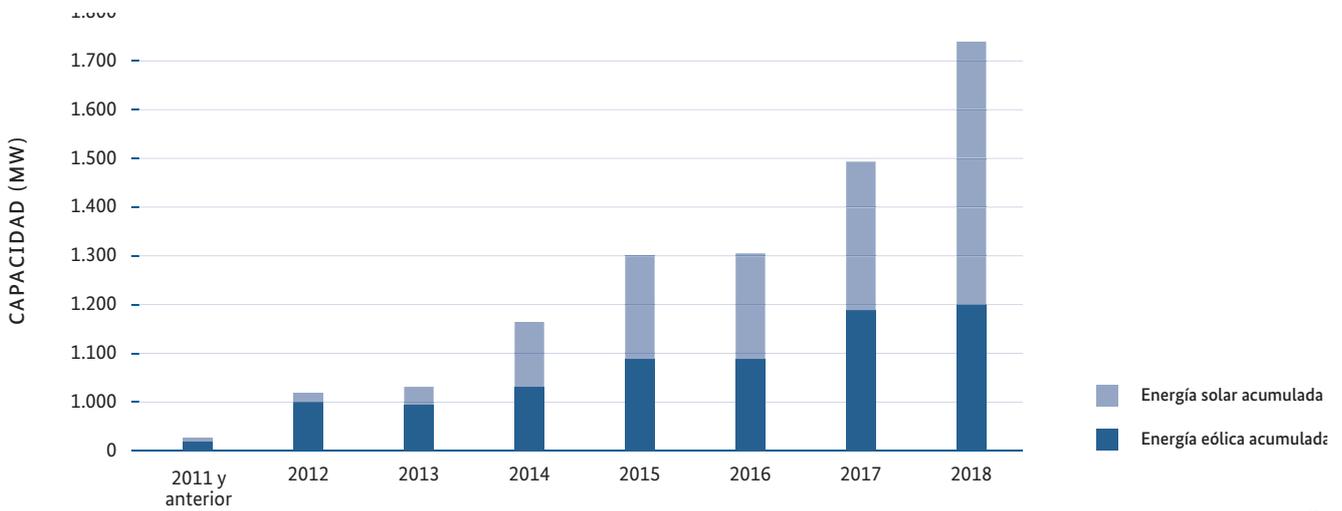
El interés en la integración de la energía renovable por parte de las empresas mineras ha aumentado en los últimos años y se han puesto en marcha y se han encargado más proyectos.*

NOTA

* Rocky Mountain Institute mantiene una lista actualizada de proyectos de energía renovable que se anuncian y se ponen en marcha en los sitios mineros o que son propiedad de compañías mineras.¹⁵

La *imagen 4* destaca la tendencia reciente. De la capacidad instalada, 59% son proyectos eólicos, 37% de energía solar fotovoltaica y 4% de energía solar térmica.¹⁶

Imagen 4: Capacidad de energía renovable acumulada en funcionamiento y anunciada



Fuente: RMI.¹⁷

Esta sección destaca las consideraciones que determinan el potencial para la integración de energías renovables en un proyecto minero. Los factores que se considerarán se discuten antes de describir los determinantes y los requisitos para diferentes niveles de tasas de penetración de energía renovable en un proyecto minero. La tercera subsección destaca las diferentes opciones de abastecimiento disponibles para las empresas mineras. La cuarta subsección se centra en los acuerdos de venta cuando el proyecto de energía renovable no está alimentando únicamente a la operación minera.

1.1. Factores que se deben considerar

La *imagen 5* describe los factores que las empresas mineras deben considerar al determinar los acuerdos de suministro/venta de energía. A menudo, estos factores están relacionados entre sí. Por ejemplo, los beneficiarios estarán estrechamente relacionados con si el proyecto está o no conectado a la red, y si el marco legal permite la venta de terceros.

Imagen 5: Factores que determinan el acuerdo de abastecimiento de energía

Potencial para energías renovables	Acceso y estabilidad de la red	Etapa del proyecto	Marco legal	Beneficiarios
Ubicación	Sin conexión a la red	Exploración	Impuestos y subsidios	Mina
Diseño de la mina	Conexión a la red inestable	Operación	Servicios nacionales	Red
Opciones de fuentes de energía	Conexión a la red estable	Posterior al cierre	Oportunidades para IPP	Comunidad

Fuente: CCSI

Potencial para energías renovables

Para decidir si la energía solar o eólica debe ser parte de la combinación de energías de la mina, se debe revisar la ubicación, el diseño de la mina y otras opciones de abastecimiento de energía. La ubicación incluye las condiciones meteorológicas en el área del sistema de la red (por ejemplo, la radiación solar o el perfil del viento) y las características del terreno (por ejemplo, un terreno plano grande adecuado para una central de energía solar). Las características importantes de la mina para un proyecto de energía renovable incluyen la vida útil del proyecto y el perfil de carga de las operaciones. Las fuentes de energía renovable deben compararse con otras fuentes de energía. Esto incluye comprender los costos y la confiabilidad

de las distintas opciones de energía. Si, por ejemplo, la mina puede obtener toda la energía de una red eléctrica estable basada en energía hidroeléctrica, es menos probable que un proyecto solar o eólico sea capaz de competir con los precios ofrecidos por la red, dado que el suministro a partir de sistemas de red hidroeléctrica a menudo es más barato*. Lo contrario es el caso de las alternativas que usan diésel, donde, aparte del precio, deben tenerse en cuenta los riesgos de la oferta y la volatilidad de los precios.

Un estudio de 2016 llevó esta evaluación un paso más allá al tener en cuenta más consideraciones, mediante la comparación de varias soluciones energéticas para cuatro minas sudafricanas ([cuadro 2](#)).

Cuadro 1: Evaluación de integración de energías renovables para Collahuasi¹⁹

Se realizaron las siguientes cuatro simulaciones para evaluar los posibles impactos financieros resultantes de la integración de un proyecto solar de 150 MW en la mina de cobre Collahuasi en Chile:

1. Modelo fotovoltaico solar que destaca el precio y el margen para los desarrolladores;
2. Modelo de energía minera que explora las posibles fluctuaciones en los precios de la energía y los cambios en las necesidades de energía de la mina durante la vida útil del proyecto, por ejemplo, debido a la degradación del mineral o al aumento de la dureza del mineral;
3. Ahorro de costos nivelados de energía por tonelada para diversos procesos mineros, incluida la planta de concentración, planta de desalinización, servicios, cableado eléctrico y lixiviación;
4. El valor nivelado de la energía, que considera el aumento en el valor de las acciones de la compañía debido a los ahorros. En este ejemplo específico, demuestra que el mayor valor debido a los ahorros resultantes de la electricidad solar supera la inversión de capital inicial de la instalación solar de 150 MW.

Cuadro 2: Comparación de soluciones híbridas y diésel en cuatro minas Sudafricanas²⁰

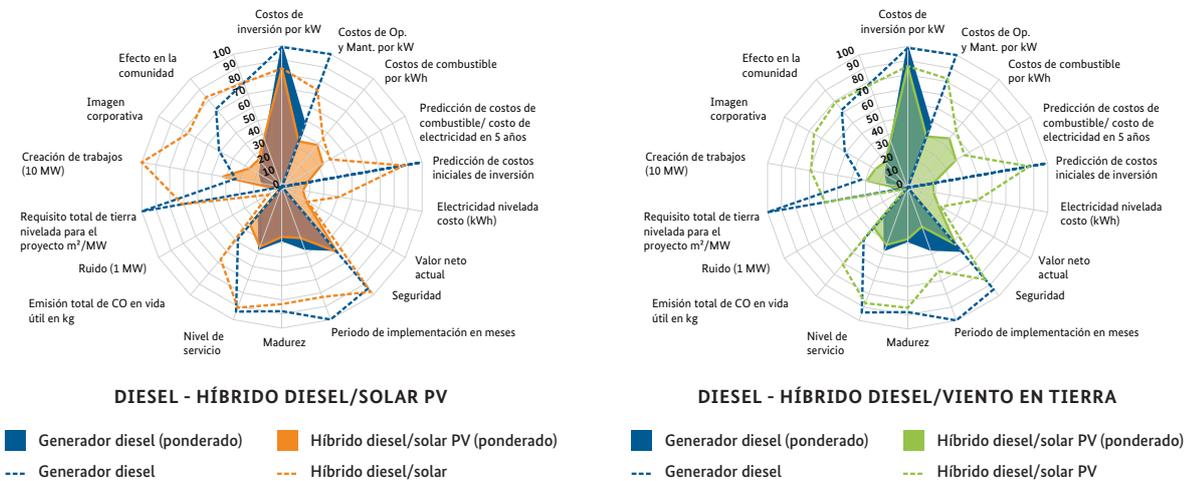
Como se ilustra en la *imagen 6*, la planta de energía a base de diésel superó a las soluciones híbridas en términos de costos de instalación, requisitos de espacio y plazos de implementación. Las soluciones híbridas de energía solar y eólica funcionaron mejor en términos de consumo de combustible, disminuyendo el costo nivelado de electricidad, disminuyendo las emisiones de CO₂, promoviendo una mejor imagen corporativa y mejorando las relaciones con la comunidad. Durante un período de 20 años, se podrían ahorrar €44 millones (US\$ 50 millones) mediante la introducción de energía solar y €55 millones (US\$ 62 millones)** mediante la introducción de la energía eólica en comparación con las soluciones que usan solo diésel. La solución eólica híbrida requirió 3 meses más de implementación en comparación con la solución solar híbrida. También presentó un menor potencial para crear empleos adicionales.

NOTAS

* El informe "The power of the mine" estima en \$5cts/kwh.¹⁸ Puede haber oportunidades para usar fuentes de energías renovables para sistemas de almacenamiento por bombeo (*consulte la Sección 3.1.4*).

** Utilizando el tipo de cambio al 1 de octubre de 2018.

Imagen 6: Comparación de soluciones diesel e híbridas



Fuente: Votteler (2016)²¹

Acceso y estabilidad de la red

Las posibilidades de acuerdo de suministro de energía serán fundamentalmente diferentes dependiendo de si el proyecto minero está conectado a la red o no. Para proyectos conectados a la red, el acuerdo de abastecimiento de energía también dependerá de la capacidad de la red en comparación con la demanda de la mina. Los proyectos mineros con mayor demanda de energía que la capacidad de la red requerirán la generación en el sitio. Además, los proyectos conectados a redes eléctricas no confiables requerirán una capacidad de generación de respaldo.

El estudio de 2016, mencionado antes, incluye una encuesta de 22 proyectos de energía solar y eólica que abastecen a los sitios mineros que se agrupan según sus características. El principal factor determinante de los acuerdos de suministro de energía era si el proyecto estaba conectado o no la red. En situaciones sin conexión a la red, las empresas mineras a menudo invirtieron en los proyectos en sí, en lugar de recurrir a productores de energía independientes (IPP) (Tabla 1). Esto resalta la aversión de los IPP a depender únicamente de un proyecto minero como comprador.

Tabla 1: Agrupaciones de proyectos de energías renovables que abastecen minas

	Proyectos no conectados a la red	Proyectos conectados a la red
Países	Varios países	8 de 10 proyectos conectados a la red revisados estaban en Chile
Financiación	7 de 12 autofinanciados	90% financiado con PPA
Tamaño	Hasta 9,2MW	Hasta 115MW

Fuente: Votteler (2016).²²

Etapa del proyecto

Las energías renovables se han integrado en proyectos mineros durante la exploración, producción y post-cierre. La mayoría de los ejemplos en este informe se centran en la integración de la energía renovable durante las operaciones, dado que esta etapa constituye la mayor parte de la demanda de energía de un proyecto minero. Sin embargo, como se muestra en los cuadros 3 y 4, las energías renovables también se han implementado durante la exploración y el post-cierre.

A menudo, la exploración ocurre en áreas remotas que no están conectadas a la red. La energía se necesita para propósitos de perforación y para el campamento de exploración.²³ Estas operaciones generalmente son alimentadas por generadores diésel, lo que resulta en altos costos operativos y requisitos de transporte de combustible hacia los sitios de exploración. Dada la naturaleza a corto plazo de la etapa de exploración, las tecnologías modulares de energías renovables (vea el cuadro 3) son clave para desbloquear todo el potencial de la energía renovable.

Al final de la vida útil de la mina, las compañías mineras están sujetas a las regulaciones de cierre y recuperación, las que requieren que se retiren y restauren las tierras y vías fluviales, y que administren el mantenimiento y el monitoreo a largo plazo del sitio cerrado para evitar la contaminación y la degradación posteriores al cierre de mina. Por lo tanto, la mina y sus terrenos asociados se convierten en una responsabilidad para la empresa. En este contexto, los proyectos de energía renovable presentan la oportunidad de un uso alternativo del sitio, así como una fuente potencial de ingresos. La mina puede arrendar el terreno al IPP y obtener ingresos del arrendamiento (como se muestra en los cuadros 12 y 13). En otras circunstancias, los proyectos de energía renovable pueden servir para recuperar el sitio. Bajo la iniciativa “Superfund Redevelopment Initiative”, la Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (EPA) identificó e implementó varios proyectos renovables en antiguos emplazamientos mineros.²⁴ El Reino Unido (UK) inició una iniciativa similar (cuadro 4).

Cuadro 3: Campo de exploración energética de Vale²⁵

Para energizar su campamento de exploración en la región de Atacama en Chile, Vale instaló paneles solares modulares. Los paneles proporcionaron calefacción a unos 70 miembros del personal y reemplazaron el 66% de la demanda de diésel del campamento (5.100 litros) durante cuatro meses de exploración.

Cuadro 4: Recuperación de sitios mineros antiguos con energías renovables²⁶

En el Reino Unido, 75 sitios mineros heredados requieren un tratamiento continuo del agua para evitar la contaminación de los cauces de agua y acuíferos. En 2016, la autoridad del carbón probó la instalación de 192 paneles solares en el techo de una de las principales plantas de tratamiento. Ya que se encontró que esta fuente de energía es eficiente y rentable, los paneles solares se desplegarán en todas las minas heredadas que requieren un tratamiento continuo del agua.

Marco legal

El sector de la energía está altamente regulado en la mayoría de los países. El marco legal determinará si es posible obtener recursos de terceros (por ejemplo, si existe un marco de transmisión de energía) o si la empresa solo puede contratar a la empresa de servicios nacional (*consulte la Sección 2.4*).

El marco también definirá si la electricidad puede devolverse a la red, y la existencia de tarifas de alimentación y la medición neta determinarán a qué precio es posible que el proyecto de energía renovable vuelva a vender a la red cualquier electricidad que el proyecto minero no utilice (*consulte Secciones 1.4 y 2.4*).

Las políticas nacionales, los impuestos y los incentivos en el sector energético también determinarán los aspectos económicos del suministro de energía. Los proyectos renovables serán menos atractivos en los países que subsidian el combustible fósil (*consulte Sección 2.4.1*).

Beneficiarios

El diseño del sistema de energía deberá adaptarse a los usuarios finales. La venta en la red o la distribución de energía a las comunidades circundantes de una mina sin conexión a la red requerirá diferentes inversiones en infraestructura y administración de cargas en comparación con un sistema de energía en el sitio que solo sirve al proyecto minero.

1.2. Rango de penetración de las energías renovables

Además de decidir si una compañía minera integrará o no las energías renovables en la matriz energética, también tendrá que elegir el porcentaje de energía renovable que compondrá la demanda eléctrica total de un proyecto. Sobre la base de la evaluación de los factores anteriores, la mina decidirá qué tipo de penetración de energía renovable puede acomodarle.

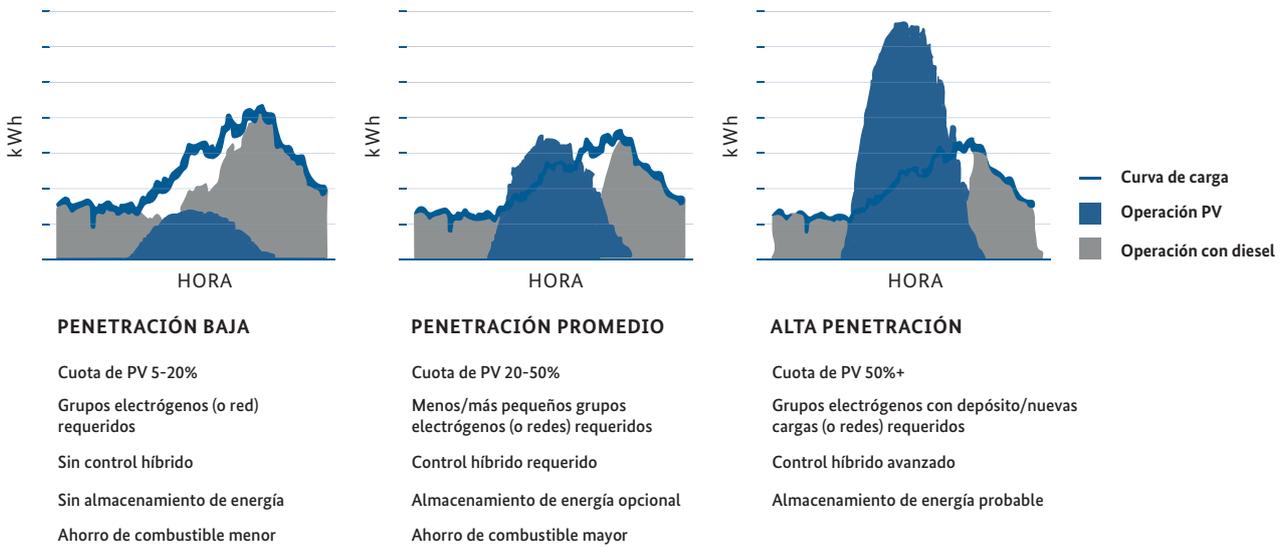
Las operaciones mineras a gran escala requieren energía las 24 horas del día y los 365 días del año, y están diseñadas para funcionar a capacidad constante. Las minas tienen una baja tolerancia a la interrupción del suministro de energía, dado el impacto en la producción y los ingresos. Para que una solución de energía renovable funcione, debe integrarse a la perfección con las condiciones de suministro de energía existentes para no interrumpir el modelo de negocio de la mina. Mientras que para las operaciones de minería conectadas a la red puede ser factible realizar operaciones con una alta tasa de penetración de energías renovables, no es viable que las operaciones mineras sin conexión a la red dependan exclusivamente de energía solar y/o eólica sin almacenamiento. Es necesario un sistema híbrido de energía solar y eólica combinado con la generación mediante combustibles fósiles para compensar las horas en que el sol no brilla y el viento no sopla.

Como se puede ver en la *imagen 7*, el alcance de la penetración de la energía renovable determinará hasta qué punto también se necesita un sistema de control, capacidad de almacenamiento, control de la carga y gestión.

Con una penetración bajo el 20%, no hay necesidad de sistemas de almacenamiento y control, lo que reduce los requisitos de capital, pero también reduce los ahorros en diésel. La energía renovable se utilizará durante la carga máxima. Como las energías renovables son intermitentes y los generadores diésel necesitan un cierto tiempo para la puesta en marcha, esta tasa de penetración conllevará que los generadores funcionen como carga base, pero no a plena capacidad, lo que reducirá los costos del diésel.

Con una tasa de penetración sobre el 20% (otros estudios estiman este umbral en 30%)²⁷, los ahorros de diésel se vuelven sustanciales, pero, al mismo tiempo, la mina necesita invertir en un sistema de control. Con una penetración del 50% se necesitará un componente de almacenamiento.

Imagen 7: Rangos de energía solar PV

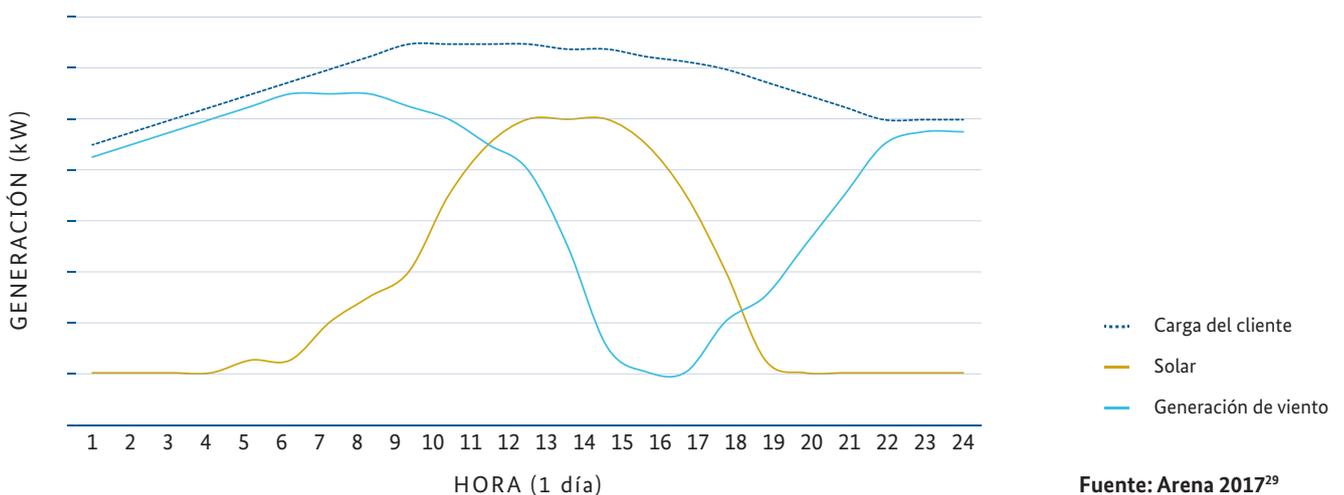


Fuente: Isla Power: PDAC Presentation, 2018.²⁸

En lugares donde hay perfiles de generación complementarios entre las fuentes eólica y solar, se pueden lograr mayores tasas de penetración de las energías renovables (consulte imagen 8 y cuadro 5). Cuando se fusiona con el almacenamiento, las tasas de penetración pueden aumentar aún más (consulte el cuadro 14).

En el cuadro 5, la mina Zaldívar alcanza el 100% de energía renovable al hibridar ambos tipos de energías renovables y al estar conectada a la red, lo que elimina completamente las necesidades de almacenamiento.

Imagen 8: Perfil de producción de energía eólica, solar en comparación con un perfil de carga



Fuente: Arena 2017²⁹

Cuadro 5: Suministro de energía 100% renovable de la red

Ubicación:	Chile
Compañía minera:	Antofagasta y Barrick Gold
Mina:	Mina de cobre Zaldívar
Propietario del proyecto:	Colbún
Capacidad del proyecto:	550 GWh/año utilizando una combinación de energía solar, eólica e hidroeléctrica
Ahorros:	350.000 t/año de CO ₂ e



Contexto: la mina de cobre Zaldívar, ubicada en el norte de Chile, es una empresa conjunta entre Barrick Gold y la compañía minera Antofagasta Minerals. Inició sus operaciones en 1995 y, en 2017, produjo 103.000 toneladas de cátodos de cobre. Su vida minera restante se estima en 13 años.

El proyecto: el proyecto firmó un acuerdo de compra de energía por 10 años con la compañía chilena de electricidad Colbún, para convertirse en la primera mina de cobre del mundo en obtener energía 100% renovable a partir de fuentes de energía hidroeléctrica, solar y eólica. El proyecto consumirá 550 GWh/año a partir de julio de 2020. Este PPA ayudará a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de la mina en alrededor de 350.000 toneladas por año. Un organismo externo certificará la fuente de electricidad.³⁰ La combinación de fuentes de energías renovables se habilita mediante la interconexión de las redes norte (SING) y central (SIC) en Chile. La red central proporcionará el componente eólico e hidráulico, mientras que la red norte proporcionará el componente solar y eólico. Esta hibridación de energías renovables aborda los problemas de intermitencia descritos en la Sección 2.1.1 y permite una penetración al 100% de energías renovables.³¹

Como se indicó antes, si las tasas de penetración son superiores al 20–30%, se necesitarán controladores de energía híbridos para realizar un monitoreo en tiempo real del balance de energía, la calidad de la energía y la estabilidad.³² Los controladores más eficientes son los sistemas automatizados llamados control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) o sistemas de control distribuido (DCS). Estos se componen de software y hardware, tanto del lado de la demanda (carga) como del lado de la oferta (generación), que aseguran la comunicación entre la carga y la generación. Para que el impacto de estos sistemas se optimice, se debe incluir en el sistema los programas de producción, procesamiento y otras operaciones.³³ El rendimiento de la generación de energía híbrida y su impacto en el ahorro de combustible se maximiza a través de un diseño holístico que considera la carga y la generación.³⁴ Es probable que también sea necesario que el almacenamiento de energía alcance este nivel de tasa de penetración (vea el cuadro 28 con un sitio minero con un componente de almacenamiento y SCADA).

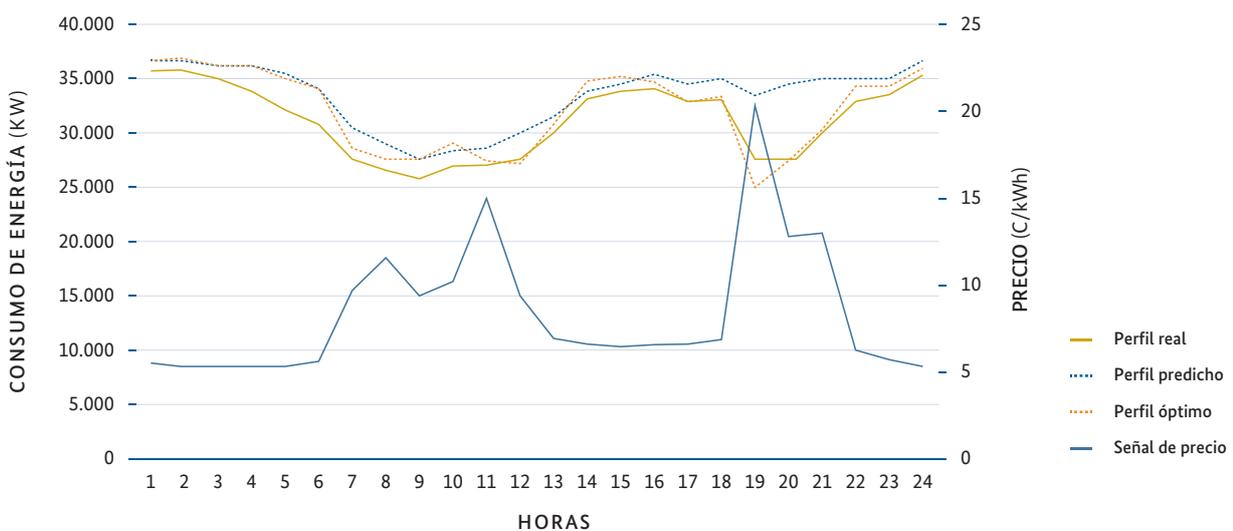
En el lado de la carga, las actividades de uso intensivo de energía se programan en el momento de alta intensidad de las energías renovables (por ejemplo, durante el día para la energía solar). Sin embargo, el desplazamiento de carga es solo económico para ciertas actividades. La imagen 9 muestra el perfil de demanda de electricidad de una mina de oro subterránea sudafricana.

La menor demanda de energía alrededor de las 9 am y las 7 pm está asociada con la optimización de la programación de sistemas, como el bombeo y la refrigeración, para reducir la factura de la electricidad y beneficiarse de la estructura de tarifas Megaflex de Eskom, que cobra más a los grandes consumidores durante los momentos de mayor demanda en las mañanas y las noches. Sin embargo, este cambio de carga solo reduce la demanda de electricidad en alrededor del 20% por cuatro horas durante el ciclo de 24 horas.

Las minas también deben considerar y atender la eliminación de carga o la desconexión programada de una carga para reducir la demanda general para evitar posibles apagones.

En el lado de la generación, la gestión del "Compromiso de la unidad" es crucial, ya que es el cronograma del tiempo y nivel de operación de varias unidades de generación dentro del sistema de energía. Esto incluye el uso de la reducción de energía, por lo que la cantidad de energía generada o transmitida se reduce cuando el perfil de carga es menor que la generación, así como la determinación de las reservas rotativas que se refieren a la capacidad de generación adicional conectada de la planta térmica/generador de combustible fósil, en caso de eventos de contingencia.³⁵

Imagen 9: Perfil de demanda eléctrica de una mina de oro subterránea



Fuente: Votteler 2016³⁶



1.3. Acuerdos de suministro de energías renovables

La *imagen 10* muestra los acuerdos de suministro de energías renovables más comunes. El sector minero ha utilizado principalmente los acuerdos de autogeneración (acuerdo de suministro 1) y de compra de energía (acuerdo de suministro 2).

1.3.1. Autogeneración

El acuerdo de autogeneración implica que la mina está involucrada en el financiamiento y la propiedad del proyecto de energía renovable. Por lo general, dichos proyectos se realizan *in situ*, por lo que la planta de energía renovable se construye en la concesión minera y se conecta directamente a la operación. Esta distribución de energía es adecuada para el sector minero, ya que puede acomodar proyectos sin conexión a la red. Además, los requisitos reglamentarios son menos onerosos que otros tipos de acuerdos. También existen proyectos fuera del sitio, en cuyo caso las tarifas de transmisión o los cargos por traslado pueden tener que pagarse al propietario de la red. Estos proyectos son más comunes en los mercados de electricidad liberalizados.³⁷

Existen las siguientes estructuras de autogeneración:

- A. La compañía minera es propietaria y financia el proyecto, y adquiere la central a través de un acuerdo llave en mano con un desarrollador externo de energía renovable. Este acuerdo es más frecuente con proyectos de menos de 5 MW.
- B. La empresa minera invierte capital en una empresa conjunta con un tercero. La mina es propietaria conjunta y usuaria de la central, que compra la energía en condiciones favorables acordadas previamente.
- C. La mina comparte los riesgos y beneficios con el IPP, al entrar en un arrendamiento de capital. El IPP es el arrendador y financia la planta de energía, mientras que la mina es el arrendatario que paga las tarifas de arrendamiento de capital y mantiene los derechos de propiedad.

En los tres casos, la central se mantiene en el balance de la mina. La compensación entre las diferentes estructuras de autogeneración se encuentra entre los mayores gastos de capital frente a los gastos operativos. En la primera estructura, la compañía minera tendrá mayores desembolsos de capital y menores gastos operativos, por lo que el riesgo es mayor. En el último acuerdo, los costos de capital se transfieren a un IPP, pero los costos de operación en forma de costos de arrendamiento son considerablemente más altos. La *Tabla 2* resume el riesgo/rendimiento de diferentes escenarios de propiedad y financiamiento. El tercer caso en la tabla se explica con más detalle en la *Sección 1.3.2*.

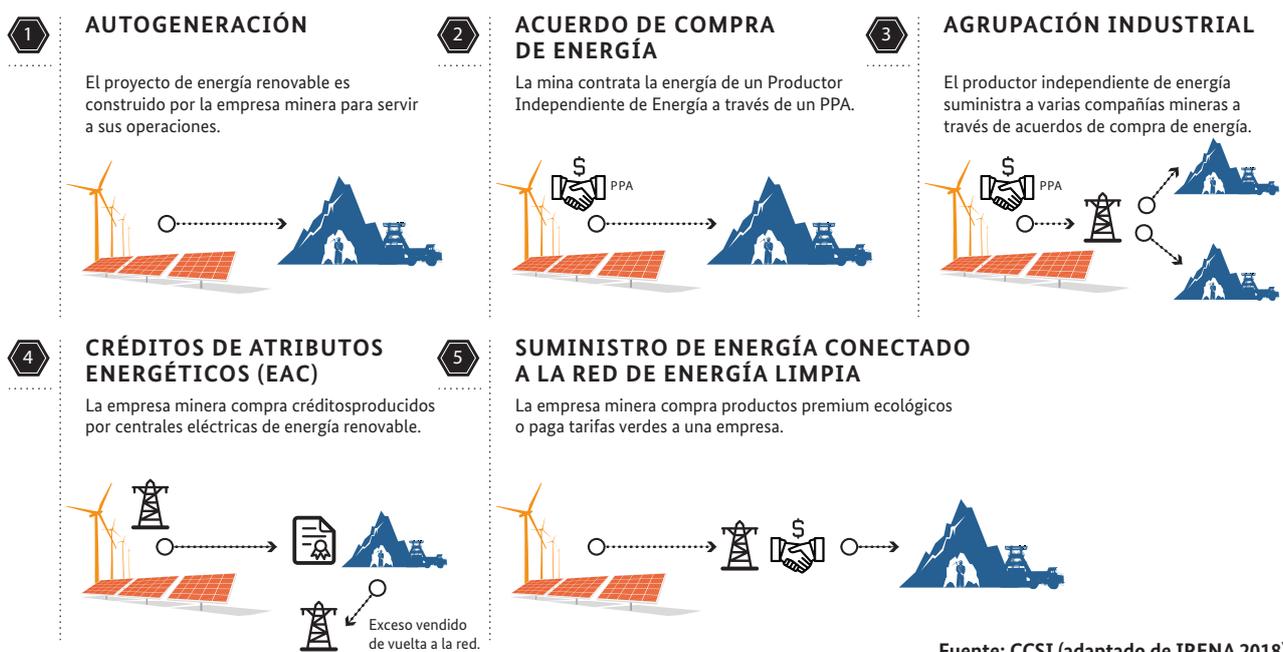


Tabla 2: Distintos modelos de propiedad y financiación

Modelos de propiedad y financiación	Características del acuerdo de financiación	Riesgo/ Retorno
Propiedad y finanzas de la mina	Capital y deuda con acuerdo de llave en mano con un constructor de proyectos.	Alto/ Alto
Propiedad de la mina (eventualmente) y finanzas de terceros	Arrendamiento de capital	Medio/ Medio
Propiedad y finanzas de terceros	Acuerdo de compra de energía con un IPP	Bajo/ Bajo

Fuente: Adaptado de Isla Power – PDAC 2018³⁸

Imagen 10: Acuerdos de suministro de energías renovables



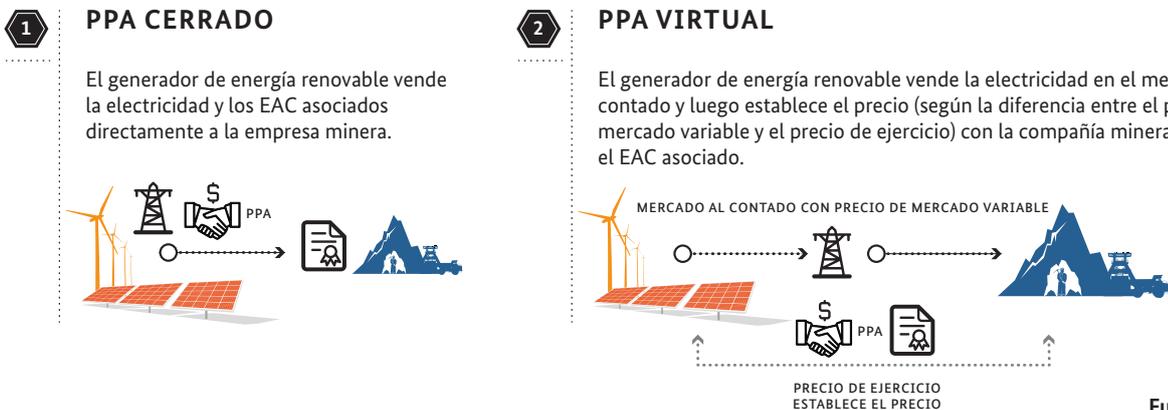
Fuente: CCSI (adaptado de IRENA 2018).

1.3.2. Acuerdo de compra de energía

La mina no posee ni financia el proyecto de energía renovable. En su lugar, contrata la energía de un proyecto de energía renovable que es financiado, construido y operado por un IPP u otra empresa. Esto se hace a través de un Acuerdo de Compra de Energía (PPA). El PPA define los términos comerciales que afectan la venta de electricidad entre las dos partes, incluida la fecha de inicio de la operación comercial, el cronograma de entrega de electricidad, la tarifa, el volumen de energía que se espera entregar, los plazos de pago, las sanciones por el bajo rendimiento de cualquiera de las partes y las disposiciones para la terminación.³⁹

A fines del 2017, 35 países habían realizado acuerdos corporativos de PPA, con muchas jurisdicciones ricas en minería.⁴⁰ Ya que existe una gama de adaptaciones y oportunidades de PPA,* los dos principales PPA utilizados por las compañías mineras son el PPA "cerrado" (también llamados PPA lado a lado o PPA físico externo) y el PPA "virtuales" (también llamados PPA sintético, PPA financiero o contrato por diferencias). Un PPA cerrado es cuando el desarrollador vende la electricidad directamente a la empresa minera por un precio acordado. Si existe un mercado al contado y el IPP puede vender a la red, el IPP puede firmar un PPA virtual. En tal acuerdo, el IPP vende la electricidad al precio del mercado al contado y luego establece la diferencia entre ese precio y el precio acordado en el PPA con el comprador de la mina (*cuadro 6*).⁴¹ Estas dos formas de PPA se ilustran en el diagrama siguiente (*imagen 11*).

Imagen 11: PPA Cerrado vs. Virtual



Fuente: IRENA⁴²

NOTA

* Para obtener más información sobre los PPA corporativos, los riesgos y beneficios/inconvenientes de las diversas opciones, consulte:
<https://www.wbcsd.org/Programs/energy-circulareconomy/climate-energy/rescale/resources/innovation-in-Power-Purchase-agreement-Structures> y
https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/f05d3e00498e0841bb6fbb54d141794/ifc+Solar+report_web+_08+05.pdf?mod=aJPereS.

Cuadro 6: PPA Virtuales en Chile

Una parte significativa de las operaciones mineras de Chile se realizan en la región norte, que tiene la mejor radiación solar del mundo.

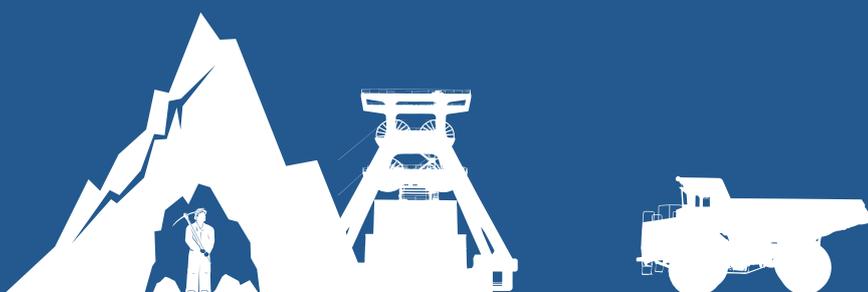
En 2016, Chile se convirtió en el mayor productor de energía solar en América Latina, con más de 160 desarrolladores solares, incluidas las centrales solares más grandes en construcción en el mundo. Con este éxito, Chile está en vías de superar su objetivo obligatorio de 20% de penetración de energías renovables para 2025 y de alcanzar su objetivo de 70% para 2050.⁴³

En 2015, una enmienda a la ley 20.018, aprobada en 2005, obligó a las empresas de distribución a realizar procesos de licitación para asegurar el suministro de energía a sus clientes regulados, lo que contribuyó a este éxito. Esto introdujo bloques de suministro de energía de diferentes tamaños por hora (día, máximo, noche, 24 horas) y un período de suministro más largo de 20 años. Esta enmienda promovió considerablemente las energías renovables y redujo el precio promedio de la energía otorgada de US\$ 77,6/MWh en 2013 a US\$ 47,6/MWh en 2016.⁴⁴ Los proveedores de energía renovable subcotizaron proyectos de energía tradicional en más del 70 por ciento en algunos casos.⁴⁵

Esta ley de licitación proporcionó el entorno adecuado para los IPP renovables en Chile en un momento en que el mercado al contado marginal basado en el costo no podía garantizar la viabilidad de los IPP renovables. En Chile, la energía se envía a la red por el costo marginal más bajo (basado en costos variables) y este sistema favorece teóricamente a las energías renovables, especialmente en un entorno con altos precios para el gas y el petróleo, porque los costos variables de las energías renovables son insignificantes.⁴⁶ En medio del auge de las materias primas en la primera década del siglo XXI, los altos precios del petróleo, el gas y las graves sequías (lo que redujo la generación hidroeléctrica y aumentó sus costos), los IPP se beneficiaron de los altos precios al contado. Sin embargo, durante 2015-2016, el inicio de la disminución de los precios del cobre, el petróleo y el gas, junto con las lluvias especialmente intensas de El Niño (que rellenaron las represas hidroeléctricas), marcó un aumento masivo en el suministro de energía y eliminó la viabilidad financiera de cientos de megavatios de proyectos solares de IPP (un tercio de la capacidad solar instalada en Chile).⁴⁷

Se espera que muchos de estos proyectos sean comprados y consolidados por desarrolladores más grandes, mientras que, al mismo tiempo, buscan firmar contratos a largo plazo, ya sea un PPA o contrato por diferencias (CFD) para cubrir la exposición al mercado al contado.⁴⁸ Los CFD se prefieren particularmente como instrumentos de cobertura, ya que el generador y el comprador acuerdan un precio de ejercicio. El comprador acuerda pagarle la diferencia al generador cuando el costo marginal de la energía sea menor que el precio de ejercicio y viceversa, si el costo marginal de la energía es más alto que el precio de ejercicio.

Con el aumento en los costos de energía incurridos por las minas, debido a sus plantas de desalinización de uso intensivo de energía y la disminución de las leyes de mineral, la demanda de proyectos solares está aumentando nuevamente, y con ello más oportunidades para firmar PPA y CFD. Las minas incluso han estado tratando de rescindir su acuerdo a largo plazo con los proveedores de energías convencionales.⁴⁹



1.3.3. Pool de energía industrial

Un pool de energía industrial implica una central de generación distribuida compartida que suministra energía a un grupo de minas para disminuir sus costos de generación. La planta es desarrollada y operada por un tercero. La central también podría ser financiada por el tercero que daría el terreno de las minas en arriendo, o sería copropiedad y financiado por las minas. Las minas realizarán colectivamente un PPA con el operador. La ventaja de este acuerdo es beneficiarse de las economías de escala y distribuir el riesgo para el desarrollador.

Como se menciona en el informe “The power of the mine”,⁵⁰ este acuerdo no es tan frecuente, debido a la naturaleza competitiva en el sector minero y los proyectos mineros que se diseñan y desarrollan a diferentes velocidades. Sin embargo, el cuadro 7 describe tal disposición en el contexto de la energía hidroeléctrica.

Por lo que sabemos, este acuerdo no existe en el contexto de proyectos solares o eólicos y la minería. Sin embargo, se podría inspirar en otros sectores donde empresas de diversos sectores industriales agrupan sus necesidades energéticas (cuadro 8).

Cuadro 7: Inversiones conjuntas en energía frente a la crisis energética en Brasil

La central hidroeléctrica Igarapava de US\$ 240 millones en Brasil tiene una capacidad de 210 MW y comenzó a operar en 1999. El proyecto es propiedad de un consorcio de empresas del sector privado, incluida la compañía energética Aliança Geração (52,65%), la empresa minera AngloGold Ashanti (5,5%), la compañía siderúrgica CSN (17,92%) y el conglomerado industrial Votorantim (23,93%). En ese momento, este proyecto daba a las compañías del consorcio una ventaja competitiva en Brasil, ya que los precios de la electricidad, si provenían de la empresa estatal brasileña de servicios públicos Eletrobras, eran de US\$38/MW, casi 8 veces más que el precio de la electricidad del proyecto hidroeléctrico.⁵¹ Al juntar su demanda de energía y recursos, las compañías del consorcio obtuvieron acceso a precios de electricidad significativamente más bajos.

Cuadro 8: El consorcio eólico holandés

Cuatro empresas, AkzoNobel, DSM, Google y Philips negociaron conjuntamente un PPA con proyectos eólicos en los Países Bajos. Esto llevó a la construcción del proyecto del parque eólico Krammer de 102 MW en 2016 y se acordó un segundo proyecto de 34 MW.

El consorcio negoció los PPA como grupo, pero cada socio firmó un contrato por separado con el desarrollador del proyecto. Los cuatro PPA son idénticos en términos de cantidad y precio de la energía comprada. Gracias a esta estandarización, los costos de negociación y los plazos se pudieron reducir. Para garantizar comunicaciones sin problemas con el propietario/operador del parque eólico, el consorcio designó un único punto de contacto para preguntas operativas.⁵²

1.3.4. Certificados de Atributos Energéticos (EAC)

Un EAC es un instrumento que rastrea la fuente de la energía. Dado que la energía de la red proviene de una variedad de fuentes, no es posible que el consumidor solo obtenga físicamente energía renovable. Al comprar un EAC renovable, el comprador puede reclamar y “retirar”* la energía producida por un proyecto de energía renovable (generalmente 1 MWh), creando así un mercado de oferta y demanda de fuentes renovables. Los EAC pueden ser “agrupados”, por lo que la electricidad y los certificados se venden y entregan juntos (un proyecto minero que firma un PPA cerrado con un IPP también recibe los certificados) o separados, mediante el cual los certificados se compran de forma independiente.

Para que este sistema funcione, es necesario establecer un mecanismo de seguimiento y supervisión. El [cuadro 9](#) describe parte de la información que se rastrea en dichos mecanismos.

A finales de 2017, se podía comprar EAC en 57 países** y se realizó un total de 130 TWh de abastecimiento corporativo de electricidad renovable a través de EAC.⁵³

Como se destaca en el [cuadro 10](#), Australia ha desarrollado un sistema de EAC del que se benefician las minas Degussa ([consulte el cuadro 34](#)) y Cannington, debido a la integración de la energía solar en las operaciones mineras.

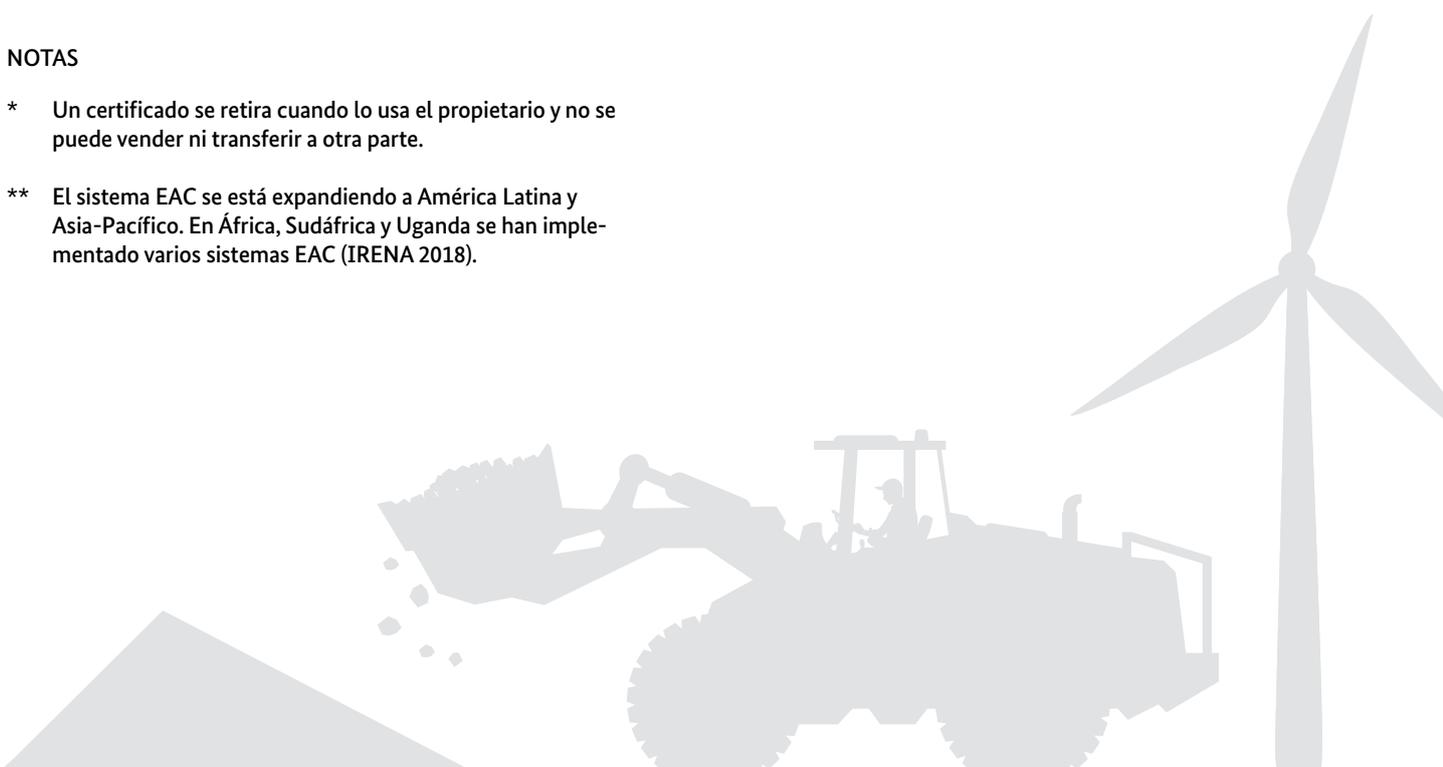
Cuadro 9: Atributos del EAC

- Fecha del certificado
- Tipo de certificado
- ID del sistema de rastreo
- Tipo de combustible renovable
- Ubicación de las instalaciones de energía renovable
- Capacidad nominal del proyecto
- Nombre del proyecto
- Creación del proyecto (fecha de construcción)
- Creación del certificado (generación)
- Número de identificación único del certificado
- Servicio al que se interconecta el proyecto
- Elegibilidad para certificación o RPS
- Tasa de emisiones del recurso renovable

NOTAS

* Un certificado se retira cuando lo usa el propietario y no se puede vender ni transferir a otra parte.

** El sistema EAC se está expandiendo a América Latina y Asia-Pacífico. En África, Sudáfrica y Uganda se han implementado varios sistemas EAC (IRENA 2018).



Cuadro 10: Sistema de crédito ambiental de Australia

La legislación que creó la Agencia de Energía Renovable Australiana (ARENA) (*consulte el cuadro 34*) fue aprobada por el parlamento australiano en noviembre de 2011 como parte del paquete Futuro Energético Limpio, que también incluía la base del plan de comercio de emisiones de Australia y el banco verde del país, conocido como la Corporación Financiera de Energía Limpia (CEFC).⁵⁴ El paquete CEFC se aprobó luego de un aumento en 2009 del Objetivo de Energía Renovable (RET) del país a 41.000 GWh o 20% para 2020, a partir del objetivo original de 9.500 GWh establecido en 2001. El RET se redujo posteriormente en 2015 a 33,000 GWh para 2020, tras la afirmación del gobierno de coalición de que el aumento de la capacidad de generación excedente y la disminución de la demanda de energía justifican una disminución en el RET.⁵⁵

Según el RET, los generadores de energía renovable acreditados reciben certificados de generación a gran escala (LGC) basados en la cantidad de electricidad renovable elegible que producen por encima de su línea de base. Un LGC es igual a 1 MWh de generación de energía renovable. Las entidades, tales como los minoristas de electricidad y las industrias de uso intensivo de energía, incluida la minería, tienen la obligación legal de comprar un cierto número de LGC.⁵⁶ Por ejemplo, South32 comprará LGC a un precio predeterminado a SunSHIFT (*cuadro 33*) para su mina de Cannington para cumplir con sus obligaciones en virtud del RET de Australia.

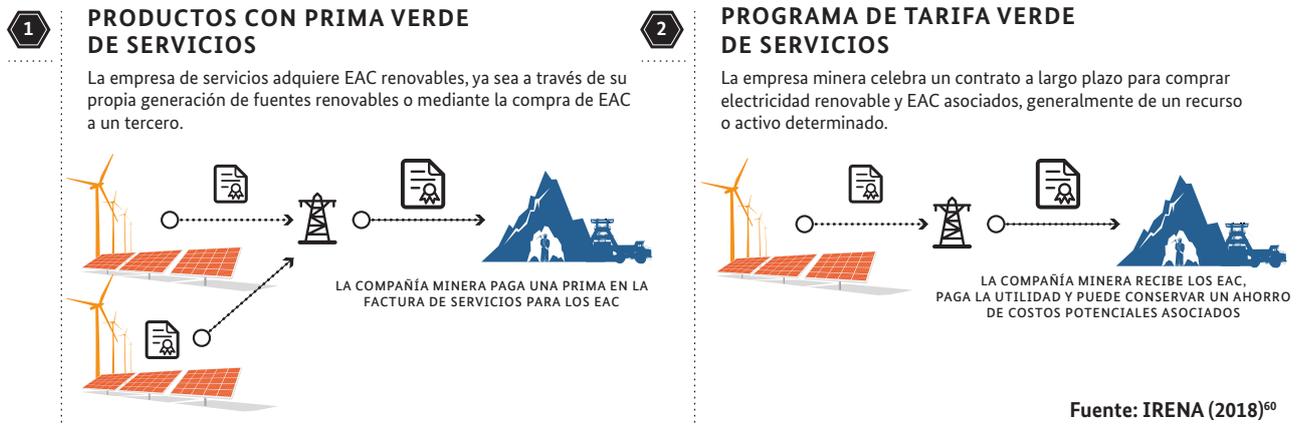
Si estos minoristas de electricidad e industrias de uso intensivo de energía no pueden obtener la suficiente energía renovable requerida para un LGC, pueden comprar certificados. Los usuarios tienen tres años para pagar los LGC antes de tener que pagar un cargo por déficit.⁵⁷ Un LGC tenía un precio de AUS\$ 84,25 en el mercado al contado a principios de mayo de 2018⁵⁸ y se espera que los precios bajen desde que se cumplió con el RET, incentivando así a los usuarios a retrasar las compras.⁵⁹

1.3.5. Ofertas de energía renovable de los servicios públicos

Para satisfacer la creciente demanda, las empresas de servicios públicos ofrecen cada vez más opciones de electricidad renovable. Estos se pueden dividir en dos categorías amplias, a saber, los productos con prima verde y los programas de tarifas verdes. La primera es una opción de compra flexible y está dirigida principalmente a consumidores más pequeños, que pagan una prima en la factura de servicios públicos. La segunda requiere un compromiso a más largo plazo y, a menudo, está vinculada a un proyecto de energía renovable específico. Para ambos modelos, los proyectos de energía renovable no necesariamente tienen que ser propiedad de la empresa. En el caso de que la empresa de servicios públicos no sea propietaria de los sitios de producción de energía renovable, actúa como intermediario, comprando y vendiendo la energía renovable y los EAC asociados. La *imagen 12* ilustra las dos categorías.

A fines de 2017, 39 países ofrecían productos ecológicos de servicios públicos (*utility green products*), que representaban alrededor del 7% del total de fuentes ecológicas corporativas de todos los sectores.⁶¹ Es menos común que las empresas mineras obtengan productos ecológicos de servicios públicos, pese a que están en oferta en muchas jurisdicciones ricas en minería como Australia, Canadá, Sudáfrica y los Estados Unidos. Sin embargo, a medida que más empresas de servicios públicos de todo el mundo ofrezcan este tipo de planes, esta opción puede resultar cada vez más atractiva, especialmente en los mercados energéticos no liberalizados donde la empresa de servicios públicos tiene el control monopólico.

Imagen 12: Categorías para la compra de servicios públicos



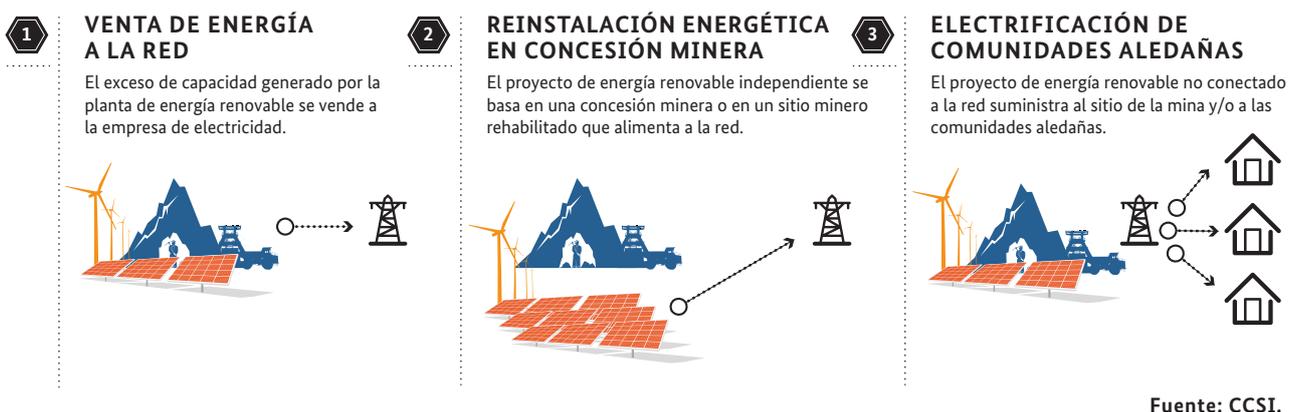
1.4. Acuerdos de venta de energías renovables

Cuando el proyecto de energía renovable no suministra únicamente a la mina, también se deben considerar los acuerdos de venta. A continuación, se resumen tres opciones en la imagen 13. Las dos primeras están conectadas a la red, por lo que el proyecto de energía renovable se vende en la red. Esto puede ser la venta del exceso de electricidad en la red en momentos en que la generación de energía excede la demanda del proyecto minero (1.4.1), o permite que un IPP use su área de concesión minera no utilizada o terrenos recuperados para construir y operar una central de energía renovable (1.4.2). El último acuerdo está relacionado con un escenario de minería sin conexión a la red que alimenta a las comunidades circundantes a través de una mini-red (1.4.3).

1.4.1. Venta de energía a la red

Este acuerdo de ventas involucra una mina conectada a la red. El exceso de capacidad generado por la central eléctrica se vende a la empresa de servicios públicos a través de un acuerdo de medición neta. La medición neta es un acuerdo de facturación por parte de la empresa de servicios públicos que acredita a los propietarios de la generación de energía renovable en el sitio por la electricidad que producen.⁶² Por lo que sabemos, no hay ningún ejemplo de mina involucrada en un acuerdo de medición neta, dado que los proyectos existentes en el sitio todavía son muy pequeños.

Imagen 13: Acuerdos de venta de energías renovables



El *cuadro 11* a continuación presenta el caso de un proyecto solar que está conectado a la red, pero donde la mina tiene un uso prioritario de la energía. Este ejemplo no es un acuerdo puro de medición neta, pero presenta algunas similitudes, dado que la factura de servicios públicos de la mina se reduce como resultado de recibir electricidad a bajo costo de la central de generación solar.

1.4.2. Instalación de proyecto de energía renovable en concesión minera

El acceso a la tierra es una de las principales consideraciones para los proyectos de energía renovable y las áreas de concesión minera, a menudo, son significativamente más grandes que el área que se explotará. Además, las operaciones mineras pueden llevar a cabo una recuperación progresiva, por lo que no se requieren partes del emplazamiento mientras la minería continúa en otras partes de la concesión. Este terreno recuperado se puede arrendar a un operador de energía renovable sin utilizar necesariamente la energía para la operación minera en sí. En el *cuadro 12* se destaca un ejemplo de dicha disposición.

Después del cierre, una vez que las actividades mineras han cesado, también existe la oportunidad de utilizar terrenos recuperados para la instalación de proyectos de energía renovable. En Alemania, por ejemplo, se están desarrollando varios proyectos de parques eólicos en antiguas minas de lignito.⁶³ El Rocky Mountain Institute (RMI) revisó las minas heredadas de BHP y encontró un importante potencial de generación y almacenamiento de energías renovables (*cuadro 13*).

1.4.3. Electrificación de comunas aledañas

En regiones remotas, las compañías mineras tradicionalmente han construido infraestructura y han prestado servicios a las ciudades mineras necesarias para albergar la fuerza laboral, incluida la provisión de electricidad. Al extender esta infraestructura a las comunidades vecinas, las empresas mineras pueden aumentar la electrificación. Particularmente en África, donde la pobreza energética afecta a alrededor de 600 millones de personas, esto es una oportunidad de desarrollo.

Cuadro 11: Proyecto de energía solar Rosebel de Iamgold en Surinam⁶⁴

Ubicación:	Surinam	
Propiedad de la mina:	Iamgold y su filial, Rosebel Gold Mines N.V	
Estado de la red:	Conectado a la red	
Tamaño del proyecto solar:	5 MW	
Puesta en marcha del proyecto solar:	2013	
Costo del proyecto solar:	US\$ 11 millones	
Costo del proyecto solar:	Rosebel Gold Mines	

Contexto: la mina de oro a cielo abierto se ubica en el noreste de Surinam y el 70% es propiedad de Iamgold y, el 30%, del Gobierno de Surinam. La producción comercial comenzó en 2004.

El Proyecto: Iamgold financió y desarrolló un proyecto solar de 5 MW cuando la operación necesitó energía adicional para extraer rocas más duras.⁶⁵ La central se puso en servicio en octubre de 2014⁶⁶ y fue resultado de un acuerdo entre la empresa minera y el Gobierno de Surinam. A cambio de aumentar la cantidad de energía suministrada a la mina a un costo menor, la compañía minera se comprometió a poner en marcha la planta solar, que está destinada a compensar el aumento del suministro de energía según el acuerdo de energía modificado durante las horas pico de demanda.⁶⁷ En promedio alrededor de 750 KW son generados a un costo operativo de US\$ 0,01 por horas peak. Esto se compara con los US\$ 0,12 por horas peak pagados al gobierno por su suministro de energía en 2017.⁶⁸

La electricidad generada por el proyecto solar prioriza el uso en el sitio.⁶⁹ Sin embargo, la planta de energía está conectada a la red eléctrica de Surinam. Por lo tanto, el exceso de potencia podría suministrarse a la red durante las horas de alta radiación.

Cuadro 12: Asarco arrienda terrenos en concesión minera a IPP

La empresa minera de cobre Asarco, en Arizona, firmó un contrato a largo plazo con el IPP Clenera para alquilar un sitio de 500 acres en el arrendamiento minero.⁷⁰ Asarco está conectada a la red, por lo que no es necesario comprar directamente al concesión minera. La colaboración entre el IPP Clenera y Asarco nació del programa de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) que busca desarrollar proyectos de energía renovable en terrenos perturbados, incluidos los sitios mineros.^{71, 72}

Además de ganar mejores tarifas de arrendamiento y cumplir con las regulaciones, la mina también está accediendo a un socio comercial que puede compartir la compra de insumos como arena y grava, áridos, piedra caliza para cemento, acero, silicio para paneles solares, además de la compra de productos mineros, ya que el proyecto de energía solar necesita cantidades considerables de cobre.

Cuadro 13: BHP convierte sus lugares contaminados en los EE.UU. En tierras ideales para proyectos de energías renovables

En 2016, BHP contrató al Rocky Mountain Institute para evaluar el potencial del desarrollo de energía renovable en 22 emplazamientos mineros heredados en América del Norte. El RMI identificó un subconjunto promotor de emplazamientos con un potencial colectivo de más de 0,5 GW. La energía solar fotovoltaica surgió como la mejor oportunidad para la mayoría de los sitios, debido a su ubicación, pero algunos también eran muy adecuados para el desarrollo eólico. También se analizaron varias tecnologías de almacenamiento.⁷³ BHP ha seguido estas recomendaciones y ahora tiene un sitio en Arizona y Nuevo México en las fases de diseño y/o permisos, mientras que, en un sitio en Nuevo México, se firmó un contrato de arrendamiento con un desarrollador de energía solar y almacenamiento.⁷⁴

El programa ha ganado fuerza e interés por parte de las compañías mineras, pero mientras que, desde una perspectiva tecnológica, algunos de los proyectos propuestos son viables, aún existen desafíos en la comercialización de estos proyectos. Los sitios ubicados cerca de las redes con una penetración de energía renovable existente enfrentan la restricción de exacerbar la curva de consumo y desestabilizar la red. Además, los operadores de distribución de terceros no pueden ser incentivados a trasladar la electricidad generada si no atienden a su propia base de clientes. El RMI, por lo tanto, ha revisado cada vez más las opciones de almacenamiento y la atracción de usuarios industriales cerca del sitio para ayudar a abordar estos problemas. Para sitios remotos, la falta de conexión a la red puede ser el principal obstáculo.

La demanda de energía y la capacidad financiera pueden aprovecharse para construir una planta de energía con capacidad excedente, más allá de lo que necesita la mina, para extender el acceso a la energía eléctrica a las comunidades aledañas a un costo marginal bajo, aprovechando las economías de escala.

Este acuerdo de venta prevé un proyecto de energía renovable sin conexión a la red, que atienda al sitio

de la mina y a las comunidades aledañas a través de una mini-red. Esta podría ser una mini-red recién construida, donde el proyecto de energía renovable está diseñado para no solo servir al sitio de la mina, sino también a la comunidad circundante. Por otro lado, podría alimentar una mini-red existente para complementar las fuentes de energía existentes. Por ejemplo, una mini-red eléctrica con diésel para una comunidad minera podría beneficiarse de la integra-

ción de energía renovable para reducir los costos de diésel y mejorar la confiabilidad de la red.

El *cuadro 14* destaca un caso de Australia donde la integración de las energías renovables redujo el costo de la electricidad para una ciudad minera que anteriormente dependía de una mini-red eléctrica a base de diésel. El *cuadro 15* destaca un ejemplo en el que una empresa minera en Australia es el signatario de compra de un proyecto de energía renovable que también presta servicios a la mini-red del municipio.

Cuadro 14: Estación energética híbrida renovable Coober Pedy

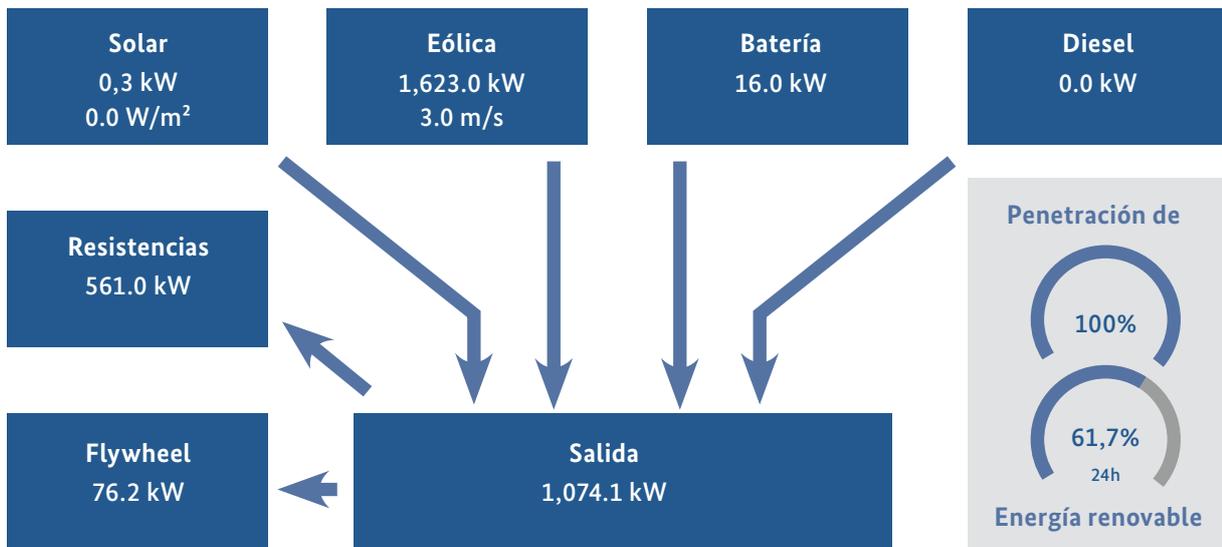
Ubicación:	Coober Pedy, sur de Australia
Propietario del proyecto:	<i>Energy Development Limited (EDL)</i>
Desarrollador del proyecto:	Hydro Tasmania
Capacidad del proyecto:	4 MW eólica, 1MW solar, 1 MW/500 KWh almacenamiento de batería.
Financiación:	AUS\$ 18,4 millones de subvención de Arena para EDL



Contexto: Coober Pedy es conocida como la capital del ópalo del mundo. Se estima que el 70% del ópalo precioso del mundo se ha extraído en los campos alrededor de esta ciudad. Se encuentra en el interior de Australia, lejos de la red eléctrica del país. Tras el descubrimiento del ópalo en 1915, comenzó el asentamiento y la población alcanzó un máximo de más de 3.000 personas en la década de 1980, momento en el que se eligió un gobierno local. Hoy en día, Coober Pedy tiene alrededor de 1.750 habitantes que dependen de la industria del ópalo y el turismo.

El proyecto: al igual que muchos pueblos mineros australianos remotos, Coober Pedy se basó en una central de diésel de 3,9 MW, propiedad de EDL. En 2014, ARENA y EDL firmaron la inversión en un proyecto de energía eólica, solar y de baterías que se integraría en el sistema de energía existente con un PPA de 20 años con el consejo distrital de Coober Pedy. El proyecto comenzó a operar en marzo de 2017 con el objetivo de desplazar en promedio el 70% de los requisitos de diésel. En septiembre de ese año, la ciudad recibió 100% de energía renovable durante 35 horas ininterrumpidas, un hito importante para demostrar que es posible operar con energía renovable al 100% sin un motor en marcha.⁷⁵

La *imagen 14* muestra el panel de control en tiempo real que la comunidad de Coober Pedy y el público en general pueden visitar en línea para verificar las fuentes de energía que actualmente impulsan el remolque.

Imagen 14: Datos en vivo para la central eléctrica híbrida renovable de Coober PedyFuente: Energy Developments⁷⁶**Cuadro 15:** Caso de estudio de Weipa

Ubicación:	Mina de bauxita en Queensland, Australia
Estado de la red:	Sin conexión a la red
Tamaño del proyecto solar:	6,7 MW total, que se desarrollarán en 2 fases
Operación del proyecto solar:	2015
Costo del proyecto solar:	US\$ 23.2 millones
Propietario del proyecto solar:	First Solar
PPA:	15 años
Ahorros en diesel:	600.000 – 2,3 millones de litros anuales
Ahorro de carbono:	1.600 toneladas al año



Contexto: después del descubrimiento en 1955, la producción de bauxita en Weipa comenzó en 1963. Hoy en día, Weipa es la mina de bauxita más grande de Río Tinto, que produce 31 millones de toneladas por año desde sus dos emplazamientos en el este de Weipa y Andoom.⁷⁷ El cercano municipio de Weipa fue construido en la década de 1960 para las operaciones mineras y ha crecido hasta convertirse en un centro regional de negocios y un gobierno.⁷⁸ Una central eléctrica diesel de 36 MW ha prestado servicios a los sitios mineros, al municipio de Weipa y a la comunidad cercana de Napranum a través de una mini-red.⁷⁹

Proyecto solar: en 2015, se inauguró la planta solar de Weipa, que proporciona energía renovable al emplazamiento minero y al municipio. Río Tinto firmó un PPA de 15 años con el IPP First Solar.⁸⁰ En espera del éxito de la primera fase, una segunda fase incluirá un componente de almacenamiento de batería, además de más paneles fotovoltaicos. En la horas peak, la planta solar cubre el 20% de la demanda diaria del municipio.⁸¹ La Agencia de Energía Renovable Australiana (ARENA) otorgó AUS\$ 3,5 millones a la primera fase y destinó otros AUS\$ 7,8 millones para la segunda fase del proyecto.⁸²

Un ejemplo de un país en vías de desarrollo proviene de Papúa Nueva Guinea (PNG), donde se utilizó el potencial geotérmico* para abastecer el emplazamiento minero y el sistema de energía de la comunidad local (*cuadro 16*). Esta inversión es incentivada por el gobierno de PNG que otorga un crédito fiscal para la infraestructura en la comunidad.

Cuadro 16: Energía geotérmica en la mina de oro de newcrest y en las comunidades aledañas

Ubicación:	Isla Lihir, Papúa Nueva Guinea
Estado de la red:	Sin conexión a la red
Planta de energía geotérmica:	56 MW
Inicio de la operación:	2003
Propietario del proyecto:	Lihir Gold Limited (100% propiedad de NewCrest Mining)
Ahorro de ingresos:	US\$ 40 millones por compensar el consumo de diesel + US\$ 4,5 millones por ventas de créditos de carbono en el mercado global.
Ahorro de carbono:	280.000 toneladas al año



Contexto: la Isla Lihir se encuentra en uno de los depósitos de oro más grandes conocidos. La primera extracción de oro se realizó en 1997. En 2010, NewCrest adquirió las operaciones. La mina está ubicada dentro de un volcán extinto que está geotérmicamente activo.

El proyecto: para aprovechar el potencial geotérmico, Lihir Gold Limited llevó a cabo un proyecto piloto de 6 MW en 2003. Dado el éxito del proyecto piloto, se encargó una expansión de 30 MW en 2005 y una expansión adicional de 20 MW en 2007. Esta central complementa a la central de energía a base de diésel de 70 MW, construida anteriormente. La central de energía geotérmica cubre alrededor del 75% de las necesidades de energía de la mina, con 3 MW al servicio de las aldeas locales en la isla.⁸³ La central fue construida por contratistas externos y el personal de la empresa minera proporciona las operaciones y el mantenimiento. La central eléctrica utilizó el comercio de créditos de carbono bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio⁸⁴ que generó US\$ 4,5 millones en 2008, mediante la venta de reducciones certificadas de emisiones en el mercado global.

Además, la inversión fue apoyada por el Gobierno de PNG a través de su Esquema de Crédito Fiscal para Infraestructura (ITCS). El esquema otorga un crédito del 0,75% (de la renta imponible o del impuesto a pagar, el que sea menor) para gastos en proyectos de infraestructura aprobados que contribuyan a la comunidad.⁸⁵ El proyecto aurífero tiene una vida útil de 30 años adicionales y la energía geotérmica seguirá desempeñando un papel importante en el desarrollo la mina y el apoyo a la comunidad local.⁸⁶

NOTA

* La energía geotérmica se refiere a la energía almacenada en la tierra. Su potencial se encuentra en áreas con actividad volcánica, aguas termales y salidas de vapor. El vapor se bombea a la superficie y se convierte en electricidad. El

potencial se estima en 12.000 TWh por año. Sin embargo, este potencial está distribuido de manera desigual y, por lo general, está ubicado muy profundo debajo de la superficie, lo que dificulta la accesibilidad.

Cuando la comunidad paga por la electricidad, este acuerdo requiere claridad con respecto a los mecanismos de compensación por la electricidad vendida a terceros e inversiones adicionales en infraestructura de redistribución en el caso de que la mini-red no exista. Como tal, este modelo es más complejo e involucra a más actores. Por ejemplo, los pagos y los riesgos cambiarios deberán abordarse y asignarse si las comunidades locales pagan la electricidad en la moneda local.

Sin embargo, este acuerdo de venta también tiene muchos beneficios potenciales. Desde una perspectiva de desarrollo, el acceso a la electricidad es un ingrediente clave y podría ayudar a las empresas mineras a volver a equilibrar el "paradigma de valor compartido"* que está cada vez más amenazado debido a la automatización, lo que reducirá las oportunidades de contratación y empleo locales.⁸⁸ También podría ayudar a las empresas a obtener y conservar la licencia social para operar en áreas rurales donde las comunidades se oponen a la minería. Además, los proyectos de energías renovables pueden apoyar a la comunidad local después de la minería.⁸⁹ Iamgold prevé la planta solar en su mina de Essakane en Burkina Faso para beneficiar a las comunidades locales una vez que se cierre el emplazamiento minero (cuadro 17). Mientras que la vida útil de la mina es de 10 años, la vida útil de la central solar es de 20–25 años. Dados los bajos gastos operativos de la central de energía renovable después del gasto de capital inicial, este proyecto legado es asequible para que el gobierno y la comunidad lo mantengan y operen. Para permitir tal disposición, las regulaciones de cierre y recuperación deben adaptarse para garantizar que la planta de energía esté excluida de los requisitos para dismantelar la infraestructura de la mina.

NOTA

* El concepto de valor compartido puede definirse como políticas y prácticas operativas que mejoran la competitividad de una empresa, al mismo tiempo que promueven las condiciones económicas y sociales en las comunidades en

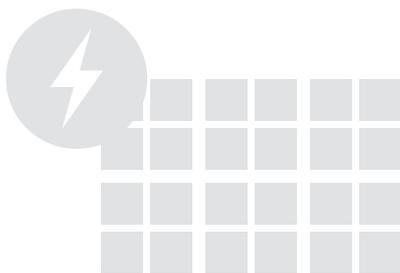
las que opera. La creación de valor compartido se enfoca en identificar y expandir las conexiones entre el progreso social y económico.⁸⁷

Cuadro 17: Mina Essakane

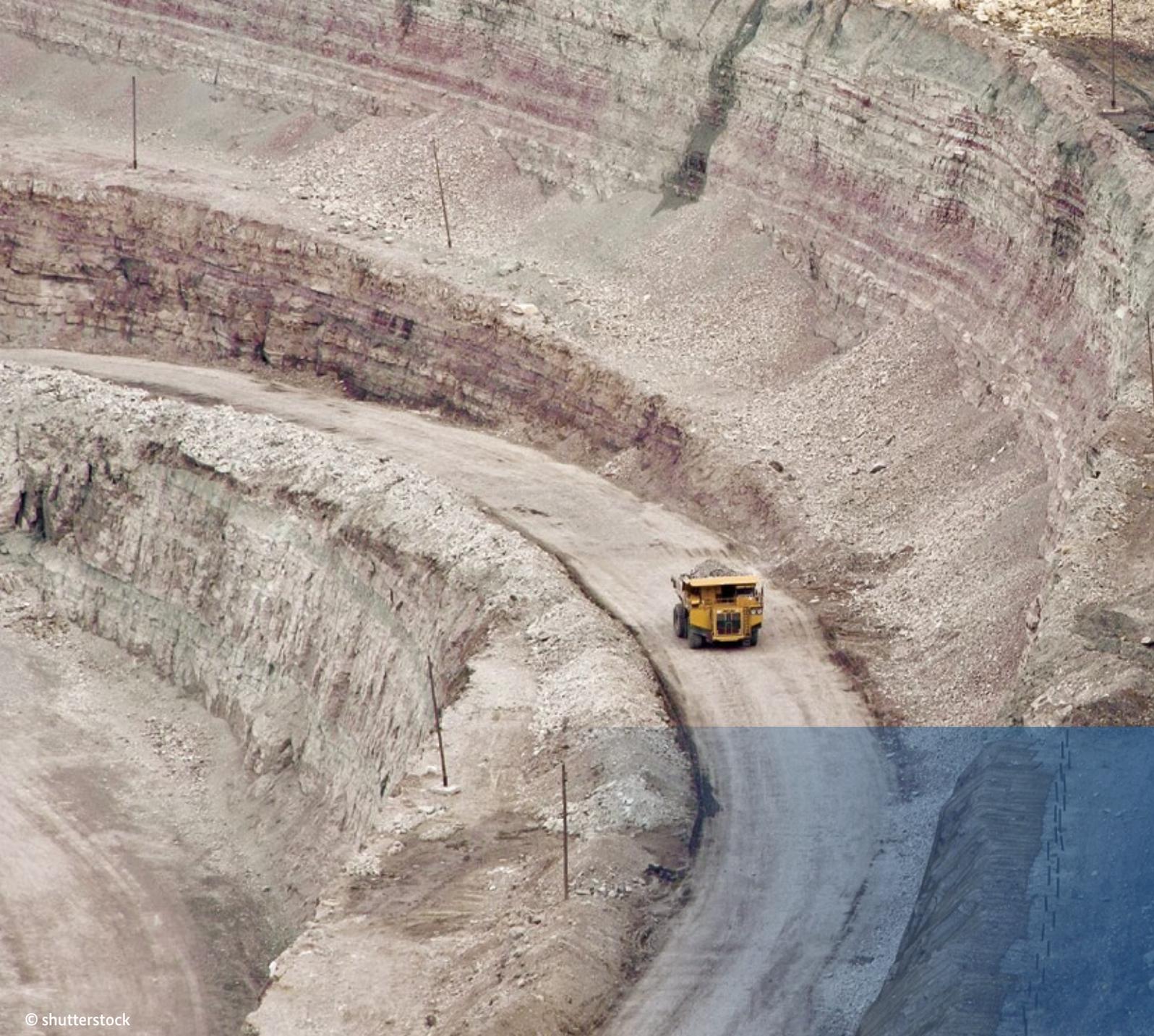
Ubicación:	Noreste de Burkina Faso	
Propiedad de la mina:	IamGold (90% de participación), Gobierno de Burkina Faso (10%)	
Estado de la red:	Sin conexión a la red	
Installierte Leistung der Solaranlage:	15 MW	
Puesta en marcha del proyecto solar:	2018	
Costo del proyecto solar:	US\$ 20 millones	
Desarrollador del proyecto solar:	EREN RE y la Plataforma de Gestión Energética de África (AEMP)	
PPA:	IamGold tiene un PPA de 15 años con el proyecto ⁹⁰	
Ahorros en diésel:	6 millones de litros anuales	
Ahorro de carbono:	18.500 toneladas de CO ₂ anuales ⁹¹	
Otros componentes:	57 MW de diésel	

Contexto: las actividades mineras en Essakane comenzaron en 2009, después de que Iamgold adquiriera el proyecto de Orezone en 2008. La mina se encuentra dentro de la Zona Principal de Essakane, el mayor depósito de oro conocido en el país.⁹² Tiene 2,65 millones de onzas de reservas de oro recuperables y una vida útil de la mina de 8,6 años. Las reservas podrían aumentar en un 39% y extender la vida útil de la mina más allá de 2030.⁹³ El aumento en los precios del combustible, el contenido de roca dura y la caída en la producción han contribuido a un aumento del 16% en los costos de producción.

Proyecto solar: en marzo de 2018, se puso en marcha un proyecto de energía solar de 15 MW en la mina Essakane después de que los desarrolladores EREN RE y AEMP obtuvieran un préstamo de US\$ 16,5 millones BNP Paribas, la filial del Banque Internationale pour le Commerce, l'Industrie et l'Artisanat du Burkina.^{94,95} El período de construcción de un año de duración fue supervisado por el contratista de ingeniería, adquisiciones y construcción Wärtsilä. La generación a partir del componente solar, que se conectará con los generadores diésel de 57 MW existentes de la mina,⁹⁶ cubrirá hasta el 8% de las necesidades energéticas de la misma.⁹⁷ El proyecto minero continuó para mejorar la economía de la operación minera, el suministro de energía de cobertura y proporcionar cierta protección contra la volatilidad del precio del petróleo.⁹⁸







© shutterstock

Mina a cielo abierto





OBSTÁCULOS PARA UNA MAYOR INTEGRACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

2.0

Esta sección enumera los principales obstáculos que impiden una mayor integración de la energía solar y eólica en el sector minero. Los obstáculos fueron agrupados en cinco categorías: (1) técnicos, que incluyen la naturaleza intermitente y variable de las fuentes de energía solar y eólica, así como las características específicas de la ubicación que pueden dificultar la construcción de centrales de energía renovables cerca del sitio de la mina; (2) experiencia, que incluye una experiencia limitada del sector minero en la construcción, operación y adquisición de energías renovables; (3) financiación, dado que las compañías mineras prefieren no asumir gastos de capital adicionales en el balance, pero tampoco les gusta comprometerse con acuerdos de compra de

energía a largo plazo, particularmente cuando la vida útil de la mina es corta o incierta. Se incurre en complejidades adicionales cuando las comunidades deben beneficiarse de soluciones de energía renovable; (4) regulación, que se componen principalmente de subsidios a los combustibles fósiles y la falta de leyes que fomenten la inversión en energías renovables; y (5) intereses, que pueden no estar alineados con el gobierno o el sector privado para respaldar el despliegue de energías renovables. Algunos de los obstáculos se aplican a todos los acuerdos de suministro y venta descritos en la sección anterior. Otros son específicos para circunstancias específicas (como emplazamientos mineros sin conexión a la red) y acuerdos de suministro/venta.

2.1. Técnicos

2.1.1. Intermitencia y variabilidad

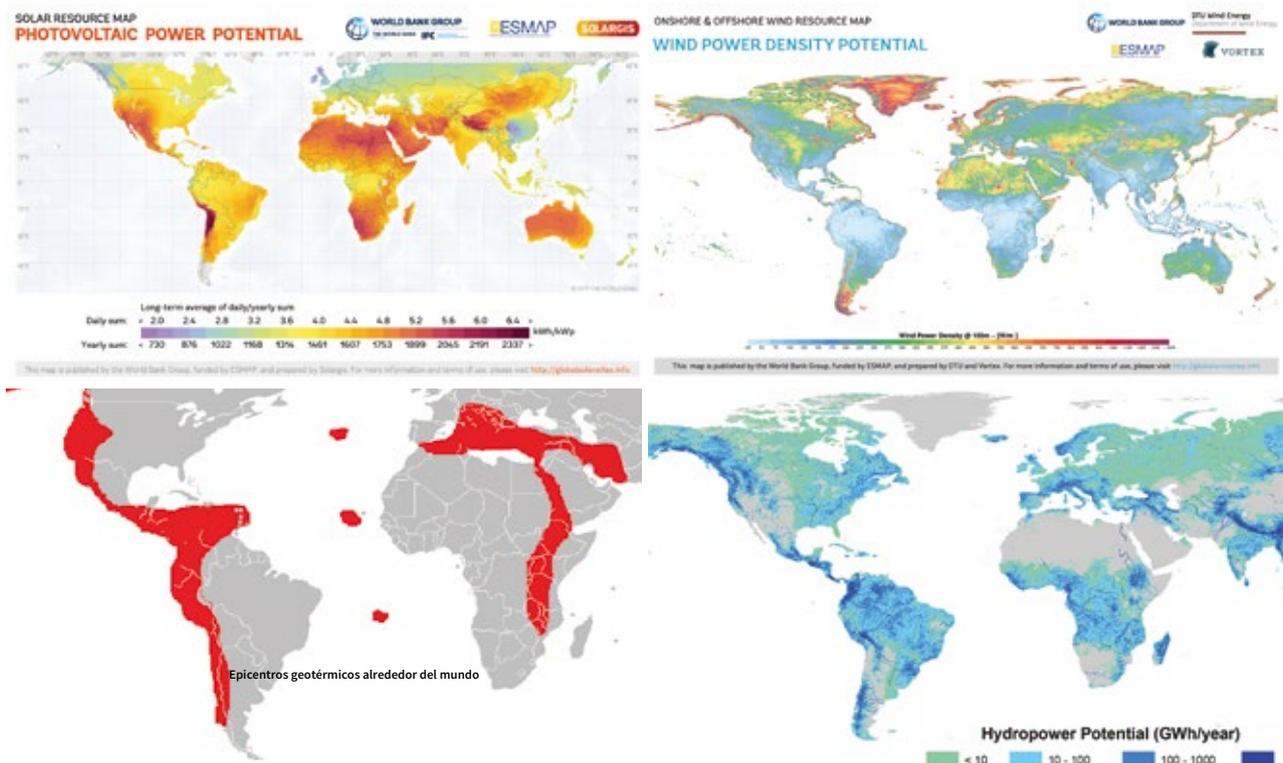
La intermitencia y la variabilidad son los mayores inconvenientes técnicos de las fuentes de energía solar y eólica. Si bien la minería necesita una fuente de alimentación ininterrumpida, la potencia de las energías renovables solo se genera cuando el sol brilla y el viento sopla, y la cantidad de energía producida depende de la cobertura de las nubes y la velocidad del viento.

Al diseñar la cantidad de energía solar o eólica que puede componer la matriz de generación energética, no solo se deben considerar las alteraciones en un ciclo de 24 horas, sino también los ciclos estacionales y de varios años: por ejemplo, el sistema debe optimizarse para que no haya interrupciones en el suministro eléctrico durante la temporada de monzones o en los años donde se manifieste El Niño. Para el viento, que tiende a ser menos confiable que el sol, el peor escenario debe considerarse en el diseño del sistema de respaldo. Como tal, las minas sin conexión a la red continuarán teniendo que depender de una central de energía basada en combustibles fósiles, incluso al aumentar el componente de almacenamiento en baterías. Por lo tanto, el gasto de capital en

el sistema de respaldo no se puede eliminar y el ahorro de costos es menor si se comparara una central de energía renovable con una planta de diésel. Los ahorros de costos solo están asociados con la cantidad de generadores diésel que pueden ser reemplazados de manera segura por el sistema híbrido y los costos de diésel ahorrados durante las operaciones. Además, los gastos de capital pueden amortizarse durante un período de tiempo más prolongado, dado que el desgaste de los generadores es menor.

Un punto de inflexión en el problema de la intermitencia y la variabilidad es la caída del costo del almacenamiento de batería (*consulte la Sección 3.1.3*). Sin embargo, el almacenamiento de batería no eliminará completamente la presencia del diésel en escenarios sin conexión a la red en un futuro próximo. Además, todavía no está claro qué tecnología de baterías prevalecerá en última instancia. Las baterías de plomo-ácido se han utilizado ampliamente como almacenamiento debido a sus costos más bajos, pero con la caída de los precios de las baterías de iones de litio, más IPP se están cambiando a esta tecnología. Esta tecnología es superior en términos de mayor densidad, resistencia mejorada y una vida útil más larga.⁹⁹

Imagen 15: Potencial renovable por fuente



Fuente: Banco Mundial, Solargis, ESMAP, Vortex, Energy Education, PLOS¹⁰²

A pesar de una vida útil más larga en comparación con las baterías de plomo-ácido, las baterías de iones de litio aún deben reemplazarse durante la vida del proyecto de energía renovable, algo que es costoso. Las baterías de flujo tienen una vida útil más larga que las baterías de iones de litio, pero son menos eficientes y confiables, lo que aumenta el potencial de interrupciones.¹⁰⁰ Las tecnologías de baterías aún deben desarrollarse para ser más atractivas para los proyectos de minería (consulte otras tecnologías de almacenamiento prometedoras en la [Sección 3.1.4](#)).

2.1.2. Ubicación e instalación

El potencial de la energía renovable es altamente dependiente de la ubicación. La [imagen 15](#) muestra el potencial de energía solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica.¹⁰¹ Mientras que los mapas muestran que casi todas las partes del mundo tienen al menos potencial para un tipo de energía renovable (si no más), habrá lugares específicos donde el potencial para este tipo de energías es menos atractivo.

NOTA

* tenga en cuenta que los datos incluyen el uso del suelo para el espaciamiento y de los ciclos mineros “aguas arriba” (por ejemplo, la explotación de la mina). a) Trainor et al. (2016); b) Fthenakis y Kim (2009); c) IINAS (2017); d) PNUMA (2016); e) Estimación propia para región no especificada (es decir, genérica).

Tabla 3: Uso del suelo por fuentes de electricidad*

Producto	Fuente de energía primaria	Intensidad de uso de tierra [m ² /MWh]					
		Datos de EE.UU. ^a	Datos de EE.UU. ^b	Datos UE ^c	PNUMA ^d	Común ^e	
Electricidad	Nuclear	0,1	0,1	1,0		0,1	
	Gas natural	1,0	0,3	0,1	0,2	0,2	
	Carbón	Subterráneo	0,6	0,2	0,2		0,2
		Superficie (“cielo abierto”)	8,2	0,2	0,4	15,0	5,0
	Renovables	Eólica	1,3	1,0	0,7	0,3	1,0
		Geotérmica	5,1		2,5	0,3	2,5
		Hidroeléctrica (grandes represas)	16,9	4,1	3,5	3,3	10
		Solar fotovoltaica	15,0	0,3	8,7	13,0	10
		Solar – energía solar concentrada	19,3		7,8	14,0	15
	Biomasa (de cultivos)	810	13	450		500	
Combustible líquido	Combustible fósil	0,6		0,1		0,4	
	Biocombustibles	Maíz	237		220		230
		Caña de azúcar (de jugo)	274		239		250
		Caña de azúcar (residuo)					0,1
		Soya	296		479		400
		Celulosa, bosque de ciclo corto	565		410		500
		Celulosa, residuo			0,1		0,1

Además del potencial regional para las energías renovables, hay consideraciones específicas del sitio que deben tomarse en cuenta. En los sitios remotos sin estaciones meteorológicas cercanas, puede ser necesario recopilar mediciones adicionales de viento y tasas de rendimiento solar durante uno o dos años para establecer una estimación de producción promedio teniendo en cuenta las temporadas.¹⁰³

Además, la instalación de energías renovables requiere significativamente más terreno que otras centrales eléctricas. Esto se muestra en la [Tabla 3](#) que proporciona estimaciones de la intensidad del uso del suelo por fuente de energía. El acceso a la tierra es uno de los principales obstáculos para el aumento del despliegue de energías renovables en general. Sin embargo, esta es también una de las mayores sinergias potenciales con el sector minero, dado que las compañías mineras tienden a tener áreas de concesión que son más grandes de lo que van a explotar. Los terrenos mineros recuperados y las presas de relaves especialmente remediadas tienen el beneficio adicional de ser planos y no requieren costos de desmonte, lo que los hace ideales para instalaciones de energía renovable ([consulte la Sección 1.4.2](#)).

2.2. Experiencia

2.2.1. Sistemas energéticos y adquisiciones

La salud y la seguridad están profundamente arraigadas en la actitud de la industria minera y cada compañía minera tendrá empleados a tiempo completo que se centrarán exclusivamente en la capacitación y en la mejora de las normas de salud y seguridad. Este no es el caso de las soluciones de energía y los esfuerzos de ahorro de energía. Como un representante de una empresa minera destacó:

“En nuestra empresa no hay ningún empleado a tiempo completo cuya única tarea sea revisar las soluciones de energía en nuestros sitios mineros y evaluar los potenciales de eficiencia energética. Por lo general, el suministro de energía es responsabilidad de alguien en la mina que también tiene otras responsabilidades. Por lo tanto, es posible que no tenga tiempo para desarrollar su comprensión sobre soluciones de energía renovable o híbrida. Desde una perspectiva comercial, parece ser una oportunidad perdida, dado que aproximadamente una cuarta parte de los gastos operativos de nuestros múltiples sitios mineros están relacionados con la energía”.

Como resultado, hay una falta de conocimientos técnicos en las empresas mineras con respecto a las energías renovables y los sistemas híbridos. Los ingenieros en minas y los proveedores tradicionales saben cómo construir, operar, reparar y mantener sistemas que funcionan con diésel en minas sin conexión a la red, lo que actúa como una restricción para la integración de la energía renovable. Como lo indica otro entrevistado de una empresa minera:

“Las compañías mineras necesitan energía, pero no están interesadas en el negocio de la generación de energía. Nuestra competencia principal es extraer cosas del suelo. Cuando sea posible, nos conectaremos a la red y compraremos energía a un IPP o empresa de servicio público. Cuando no hay conexión a la red, se vuelve más complicado y es una compensación entre mantenerlo simple mediante la externalización de la planta de energía y el costo de hacerlo, pero la experiencia requerida para administrar una central de diésel, si la mina decide conservar la propiedad y las ope-



raciones, es relativamente sencilla y no es muy diferente de otras operaciones en una mina. Las energías renovables, por otro lado, es un proceso completamente diferente. La integración de un sistema híbrido es compleja y requiere un conjunto de habilidades diferente que actualmente no está disponible en las empresas”.

Solo recientemente los proveedores de energía de la industria comenzaron a proporcionar soluciones de sistemas híbridos. En Sudáfrica, la falta de experiencia para reparar sistemas de energía renovable ha sido un obstáculo importante para que las compañías mineras integren este tipo de energías.¹⁰⁵

También hay una falta de conocimientos en el sector cuando se trata de adquirir energía renovable. Las empresas mineras han tardado en adaptar sus metodologías de contratación, debido a la falta de comprensión de lo que requieren los IPP renovables. Por ejemplo, una cláusula de terminación de un solo lado ahuyentará a los IPP.* Como lo señaló un entrevistado:

“Las empresas mineras licitan contratos de IPP renovables o híbridos, como lo han hecho en el pasado, pero esto no funciona, ya que el procedimiento de adquisición debe adaptarse a las especificidades de las energías renovables. La estructuración adecuada del procedimiento de licitación para solicitar ofertas de los IPP ayudaría a simplificar la integración de la energía renovable, pero esto no es tan sencillo como la gente piensa. Los servicios públicos han tardado mucho tiempo en hacerlo bien y el eslabón más débil de la cadena de adquisiciones romperá un trato. En lugar de reinventar la rueda y pasar por el mismo proceso de aprendizaje doloroso por el que han pasado las empresas de servicios públicos, las compañías mineras deben consultar a los involucrados en la estructuración de ofertas de IPP exitosas”.

2.2.2. Logística

La logística de la adquisición de combustible pesado o diésel para emplazamientos mineros sin conexión a la red es una gran tarea y las empresas mineras se han vuelto buenas en esto. Este es particularmente el

caso en áreas remotas como en el Ártico. En la mina Diavik (*cuadro 18*), por ejemplo, la maquinaria pesada y los camiones solo pueden llegar al sitio a través de caminos de hielo durante algunas semanas en los meses de invierno. Uno de los beneficios asociados con la integración de energías renovables en dichos lugares es reducir la logística y los costos asociados con el transporte del combustible. Como se describe en el informe de sostenibilidad de Diavik, su parque eólico de 9,2 MW en 2014 produjo el 11% de la energía de la mina y reemplazó 5 millones de litros de diésel. Esto es equivalente a 37 camiones de combustible en las carreteras de hielo y parece ser todo un logro. Sin embargo, cuando este número se pone en perspectiva al consumo total de combustible en el sitio de la mina (no solo mirando el componente de energía, sino que también incluye otras actividades que consumen combustible, como la flota de camiones) esto es mínimo. Diavik consumió 64,7 millones de litros de diésel en 2014, lo que equivale a 489 camiones de combustible completamente cargados (*imagen 16*). Esto puede alterarse significativamente una vez que los sitios de la mina se electrifiquen (*consulte el cuadro 18*).

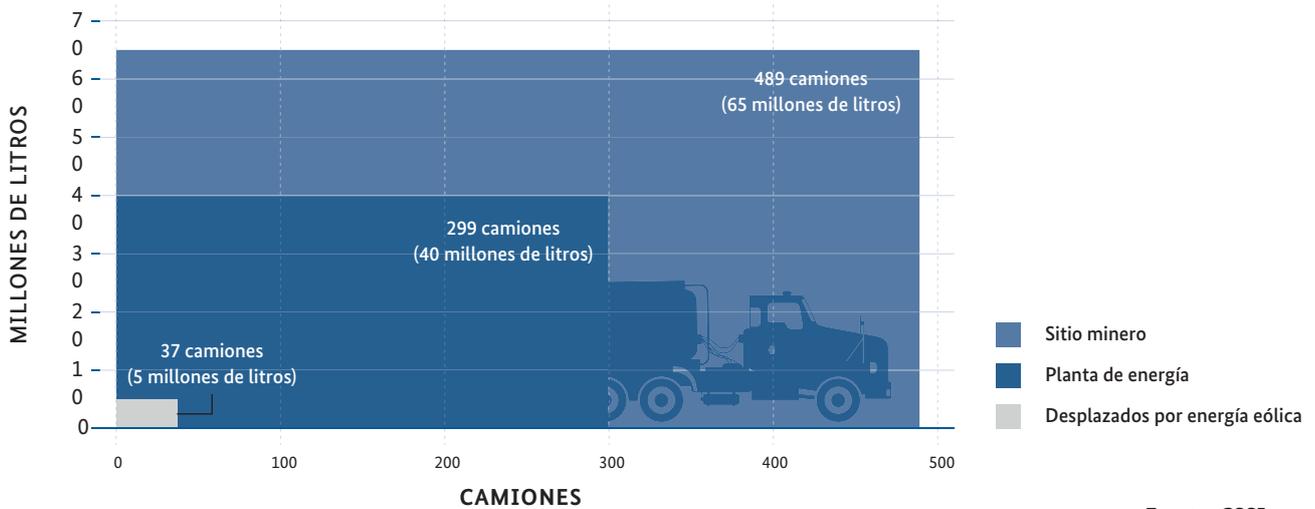
A partir del ejemplo de Diavik, queda claro que, desde una perspectiva logística, es probable que la integración de la energía renovable no reduzca la complejidad. Por el contrario, la logística de adquisición de combustible tendrá que continuar en el futuro previsible y el sistema de energía se volverá más complejo.** Además, la logística de construcción de la planta de energías renovables requerirá una planificación adicional y más personas en el sitio. Glencore, por ejemplo, ha tenido que evaluar cuidadosamente cómo llevar todos los componentes de un parque eólico a su emplazamiento minero de Raglan, situado en el permafrost, y cómo abordar el control y mantenimiento del parque eólico en condiciones muy difíciles donde el acceso a carreteras y telecomunicaciones es limitado.¹⁰⁶ Mientras que la mina de Raglan y la mina de Diavik son ejemplos extremos, debido a sus condiciones climáticas adversas, sí destacan algunas de las complejidades relacionadas con la integración de la energía renovable que van más allá del argumento del costo.

NOTA

* El Business Renewable Center produce manuales y guías para ayudar a las empresas a navegar por las especificidades de las ofertas de energía renovable: disponibles en: http://businessrenewables.org/primers-and-guides/#learn_more

** Una vez que los sitios de la mina estén electrificados, esto puede cambiar significativamente la restricción logística – consulte el *cuadro 26*

Imagen 16: Camiones de combustible en la mina Diavik en perspectiva (2014)



Fuente: CSSI

Participación de la comunidad

En los casos en que el sistema renovable o híbrido no solo suministre a la mina, sino que también se utilice para electrificar las comunidades circundantes, surgen complejidades adicionales. Si bien el costo marginal de la energía adicional para una comunidad pequeña es relativamente bajo, la logística se vuelve más compleja. Las preguntas que surgen incluyen la solvencia de la población local y si han de pagar por la energía. Un proveedor de energía renovable concluyó:

“El costo marginal de construir una planta de energía eólica o solar ligeramente más grande para proporcionar energía a la comunidad que rodea el sitio de la mina no es tan alto. Pero alinear un PPA con una mina y una población local es muy difícil. Además, en la mayoría de los casos, el suministro de energía a la población requiere procesos adicionales de aprobación gubernamental que pueden ser suspendidos si solo se proporciona energía a una mina. Estos son dos negocios completamente diferentes en términos de regulaciones, financiamiento y requisitos técnicos, como los perfiles de carga. En este momento, por lo tanto, propondríamos dos soluciones de energía diferentes. Si bien esto puede tener un costo ligeramente más alto, la logística de un proyecto de capacidad única y renovable para atender tanto a la mina como a la comunidad es actualmente demasiado difícil de manejar”.

Con un número creciente de proyectos y experiencia sobre cómo optimizar la integración de la energía renovable durante la construcción y operación, así como más estudios de casos de proyectos de energía renovable que electrifican a las comunidades circundantes de los proyectos mineros, se puede esperar que esta restricción sea menos problemática en el futuro.

2.2.3. Responsabilidad

Cuando hay actores separados responsables del diesel y los componentes renovables de un sistema de energía híbrido en una mina, esto podría generar problemas relacionados con la responsabilidad. Por ejemplo, en la mina Raglan (*cuadro 32*), el diesel es administrado por Glencore y el proyecto de energía eólica por un proveedor externo.¹¹³ En la mina Degrussa (*cuadro 28*) el sistema de generador diesel y de energía renovable se subcontratan a diferentes partes. Además de aumentar los costos de coordinación entre los diversos actores, tales acuerdos pueden llevar a señalar con el dedo cuando hay problemas. Para evitar tales resultados, las empresas mineras pueden buscar un único punto de responsabilidad mediante el cual el proveedor de servicios, para una solución de energía, subcontrata al proveedor de la otra solución de energía. Ciertos IPP también están desarrollando su pericia para proporcionar la solución híbrida completa que debería ayudar a evitar estos problemas de coordinación y responsabilidad.

“Hay varias compañías como Wartsila, Siemens y ABB que ofrecen sistemas integrados avanzados y los desarrolladores de proyectos también están adquiriendo cada vez más experiencia en la construcción y operación de éstos. Sin embargo, aún existe un mayor riesgo tecnológico asociado con los sistemas híbridos a medida que se implementan y surge la pregunta de quién asumirá este riesgo y compensará a la empresa minera cuando algo salga mal”.

Cuadro 18: Mina de diamantes Diavik

Ubicación:	Región Slave del Norte, territorios del noroeste, Canadá	
Propiedad de la mina:	Empresa conjunta (JV) entre Rio Tinto y Harry Winston Diamond Corp	
Estado de la red:	Sin conexión a la red	
Tamaño del proyecto eólico:	9,2 MW (suministrandó cerca del 11% de las necesidades energéticas anuales de Diavik)	
Operación del proyecto eólico:	2012	
Costo del proyecto eólico:	US\$ 33 millones	
Propietario del proyecto eólico:	Rio Tinto y Harry Winston Diamond Corp	
PPA:	N/A	
Ahorro de costos:	US\$ 5-6 millones al año	
Ahorros en diésel:	5 millones de litros anuales	
Ahorro de carbono:	12.000–14.000 toneladas (reducción de cerca del 6% en la huella de carbono de la mina)	

Contexto: los depósitos de diamantes en Diavik se descubrieron en 1994 y la producción en la mina comenzó en 2003.¹⁰⁷ El sitio, que se encuentra a 220 kilómetros al sur del círculo polar ártico, es notable por su lejanía, condiciones climáticas adversas y ecosistemas sensibles.¹⁰⁸ La mina es accesible a través de caminos de hielo durante un período de ocho semanas, cuando se entregan los principales equipos y maquinaria al sitio. Los trabajadores y los suministros acceden a la mina todo el año a través de una pista de aterrizaje en una isla cercana.

Proyecto eólico: Diavik comenzó un estudio de factibilidad de energía renovable de tres años al instalar una torre meteorológica en el sitio en 2007.¹⁰⁹ Luego se instalaron resultados positivos en las turbinas eólicas y el proyecto comenzó a funcionar en septiembre de 2012. Las turbinas ENERCON fueron diseñadas para operar a -40 grados centígrados, lo cual está por debajo del estándar de la industria.

Impacto: Además de los ahorros en costos y la reducción de emisiones de carbono, Diavik se convirtió en un campo de pruebas para la energía eólica en el área. Dominion, que posee una participación minoritaria en la mina Diavik, está considerando instalar aerogeneradores en su mina cercana de diamantes Ekati, que está programada para una expansión que extendería la vida útil de la mina hasta 2033. Una junta de revisión que representa a los residentes de las primeras naciones en el área también realizó un estudio que analiza el potencial eólico y solar.¹¹⁰ El estudio, publicado en febrero de 2017, señaló el éxito de Diavik y recomendó más estudios económicos y técnicos, e incluso la interconexión con el proyecto eólico de Diavik.¹¹¹

Componentes de la comunidad: Si bien la energía del proyecto eólico no se comparte con la comunidad local, Diavik donó la torre meteorológica y promulgó una asociación local para compartir los resultados de Investigación y Desarrollo. La iniciativa de I+D de US\$ 450.000 podría respaldar los esfuerzos para utilizar la energía eólica en la limpieza y recuperación del sitio de la mina Giant cerca de Yellowknife para evitar que los compuestos relacionados con arsénico contaminen el entorno circundante.¹¹² Además, se ha propuesto que los aerogeneradores sean donados cerca de los territorios del noroeste, una vez que la mina Diavik se cierre alrededor de 2023.

2.3. Financiación

2.3.1. Estructura de costos

El costo de capital inicial de una planta renovable es y seguirá siendo mayor en el futuro previsible que para los generadores adicionales de una planta de diésel. Cuando se considera un acuerdo de suministro de autogeneración (*acuerdo 1 en la Sección 1.3.1*), esto es problemático desde la perspectiva del flujo de efectivo, ya que retrasará la recuperación de la inversión inicial. Particularmente para los inversores con tasas de descuento más altas, tales gastos de capital iniciales son problemáticos. Como destacó uno de los entrevistados:

“Hay una gran aversión a los gastos de capital por parte de la industria minera. Mientras que los proyectos renovables pueden tener sentido al considerar una perspectiva a más largo plazo, dado el costo operativo insignificante en comparación con las plantas diésel, los accionistas no quieren ver retrasado el retorno de sus inversiones”.

La aversión a los gastos de capital también es problemática cuando se consideran las opciones de mayor penetración de energías renovables o suministro de electricidad a las comunidades circundantes. Si bien existen economías de escala asociadas con la construcción de proyectos solares¹⁴ y eólicos¹⁵ a una capacidad mayor (*imagen 17*), esto todavía se asocia con mayores costos de capital iniciales, lo que retrasará la recuperación de la inversión. Los costos de capital aumentarán aún más si los costos de distribución asociados con la electrificación de la comunidad son asumidos por la compañía minera.

2.3.2. Subcontratación

Una solución para reducir el costo de capital es externalizar el proyecto renovable a un IPP (*acuerdo de suministro 2 en la Sección 1.3.2*)*. Sin embargo, cuando se subcontrata la propiedad de un proyecto renovable a un IPP, la financiación se convierte en la principal restricción. La mayoría de los IPP renovables no tienen capital para financiar los gastos de capital iniciales asociados con un proyecto de energía renovable. Con capital insuficiente, los bancos no proporcionarán el préstamo para el proyecto renovable o cobrarán altas tasas de interés para compensar el riesgo de la inversión. Por lo tanto, el costo de capital para los IPP más pequeños es, a menudo, más alto que el costo de capital para una compañía minera con un balance general grande. Según lo explicado por uno de los entrevistados:

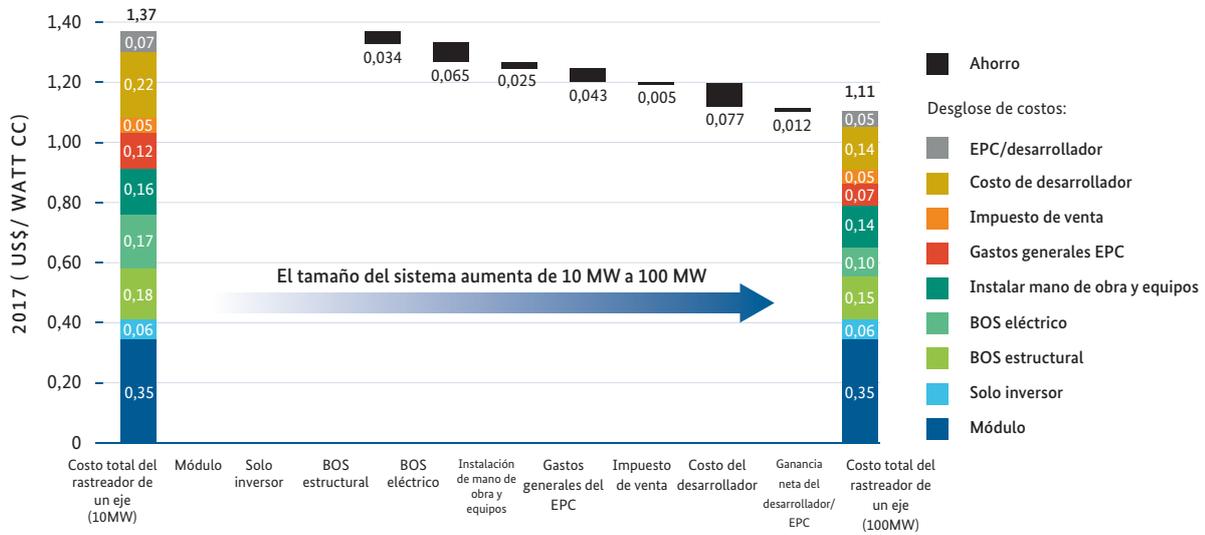
“Si bien las compañías mineras prefieren externalizar los proyectos de energía renovable y no poseer estos activos, esta estrategia tiene un costo mayor. En uno de nuestros sitios mineros, el costo de capital para el IPP fue del 7%, mientras que podríamos obtener un préstamo al 4%. Esto hace una gran diferencia en la economía del proyecto y en las tarifas de electricidad que deben cobrarse”.

2.3.3. Compromiso

Cuando la minera es el contratista, los prestamistas analizarán el perfil de riesgo de la compañía minera y la duración del PPA. El PPA debe ser lo suficientemente largo como para garantizar el retorno financiero del proyecto renovable. Un PPA corto significa que el precio de la electricidad que el IPP tendrá que cobrar a la empresa minera para que el proyecto sea viable, en la mayoría de los casos, no será competitivo en comparación con una central de energía a base de diésel. Los préstamos bancarios con un vencimiento corto harán que la economía del proyecto renovable sea aún menos competitiva, dada la naturaleza del costo de capital inicial.

La vida útil esperada de la mina se convierte en un determinante clave sobre si los proyectos renovables son competitivos, ya que esto determinará la duración del compromiso de la empresa minera. La *Tabla 4* da una indicación de los años requeridos para diferentes soluciones de energía.

Imagen 17: Economías de escala para plantas solares en los Estados Unidos



Fuente: Laboratorio Nacional de Energía Renovable.116¹¹⁶

Tabla 4: Vida útil de la mina: hacer que varias tecnologías sean viables

	Vida útil de la mina entre 3-7 años	Vida útil de la mina >10 años
Generadores diésel	✓	✓
Turbinas de gas	✓	✓
Fotovoltaica (PV)	✓	✓
Aerogeneradores	Poco probable	✓
Energía solar concentrada (CSP)	Poco probable	✓

Fuente: Manual de Arena¹¹⁷

NOTA

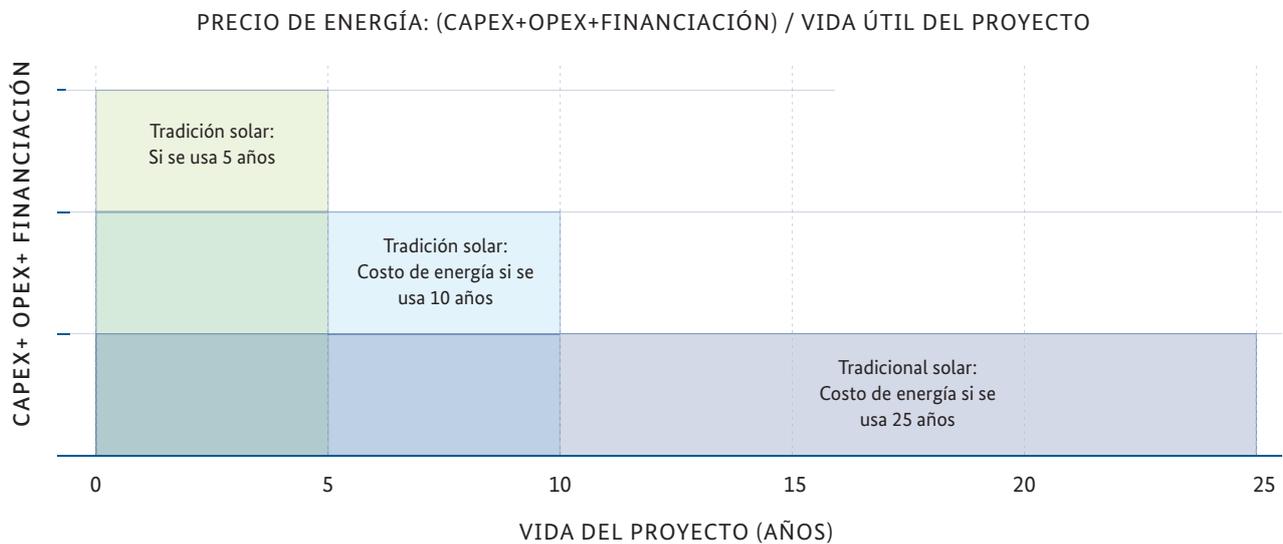
* Sin embargo, como se señaló en la [sección 1](#), la subcontratación de un IPP no ha sido muy común en el pasado para las minas sin conexión a la red

Si la vida útil de la mina está alineada con la vida útil de una planta solar/eólica, que está diseñada para unos 20–25 años¹¹⁸, es probable que el proyecto de energía renovable ofrezca oportunidades de ahorro de costos en comparación con las soluciones de energía con menos capital, como el diésel. Si la vida útil de la mina es más corta, se reduce el atractivo de las soluciones de energía renovable para las minas sin conexión a la red.

“En contraste con una inversión a escala de servicios públicos, donde hay un horizonte de 20 a 25 años, el período de contrato potencial de una mina se reduce anualmente, lo que puede aumentar el precio de la energía hasta en un 25%. En otras palabras, si solo se pudiera agregar un año al período de PPA, la electricidad renovable podría ser un 25% más barata”.¹¹⁹

Uno de los problemas identificados por los entrevistados en las minas sin conexión a la red existentes en Australia es que la vida útil restante de las minas en operación no es lo suficientemente larga como para que los IPP y los financiadores se sientan cómodos para invertir en proyectos de energía renovable. Goldman Sachs respaldó esto con un análisis reciente que determinó que la vida útil promedio de las minas australianas ha disminuido en 5,5 años entre 2012 y 2017. Las reservas* se extraen sin necesidad de ser repuestas. La *imagen 19* en la página siguiente muestra la variación de la vida útil de la mina según el producto, y la *imagen 20* muestra las minas que se incluyeron en la evaluación, lo que ilustra que el 40% de las minas tienen una vida útil inferior a 10 años.

Imagen 18: Simulaciones de precios de energía basadas en la vida útil del proyecto

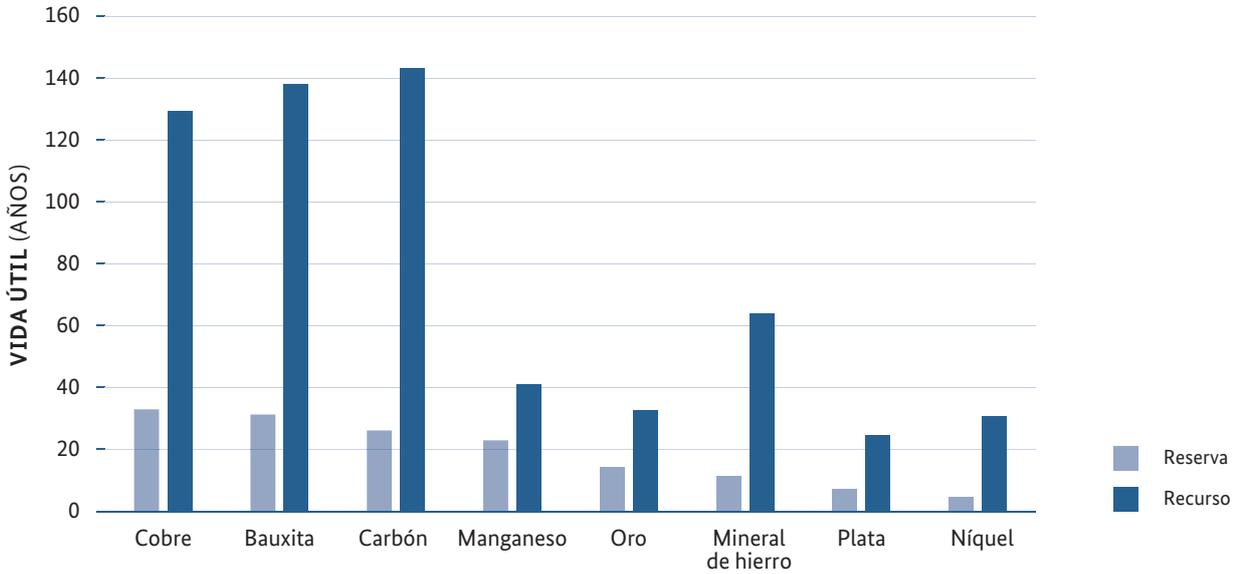


Fuente: Isla Power: PDAC Presentation, 2018¹²⁰

NOTA

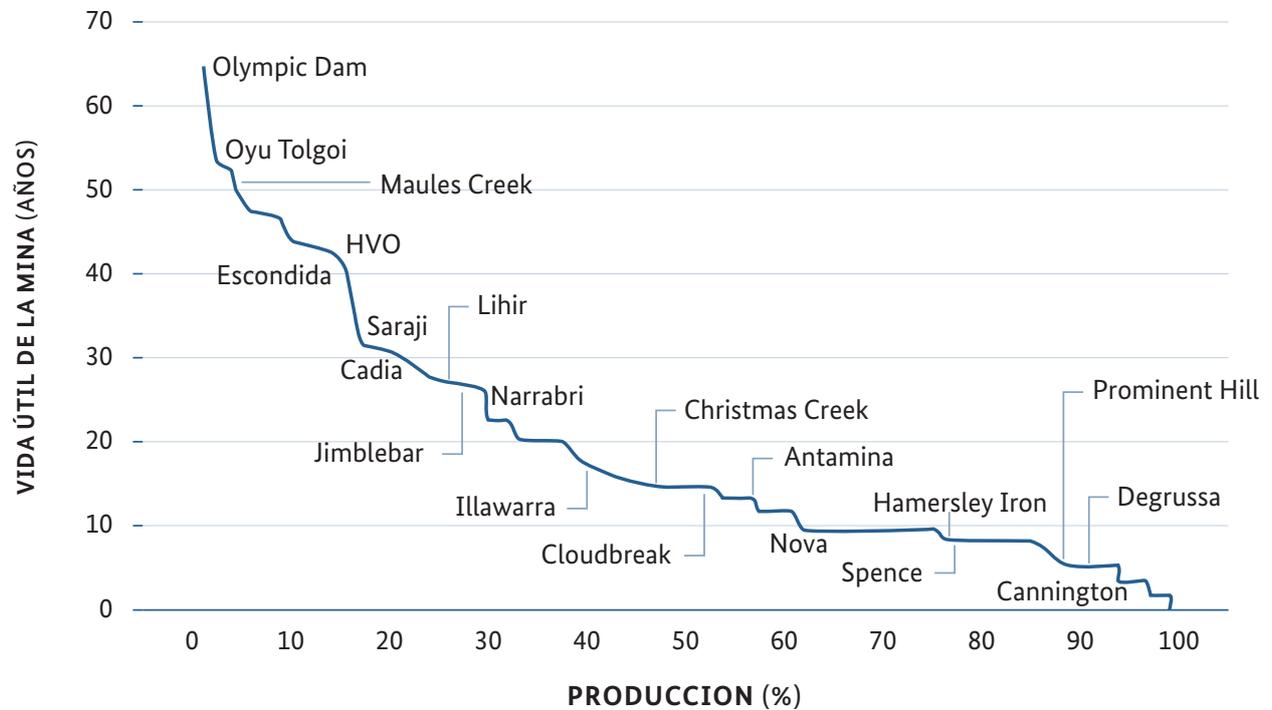
* Las reservas minerales son recursos que son económicamente factibles de extraer. Ciertas evaluaciones y condiciones deben cumplirse de acuerdo con los estándares predefinidos para que las empresas puedan volver a clasificar los recursos como reservas.

Imagen 19: Reservas promedio y recursos por producto



Fuente: Goldman Sachs¹²¹

Imagen 20: Vida útil de la mina de proyectos mineros seleccionados



Fuente: Goldman Sachs¹²²

Es importante tener en cuenta que estas estimaciones de la vida útil de la mina no necesariamente se materializan. La línea de tiempo cambia constantemente sobre la base de los desarrollos del mercado y las evaluaciones geológicas posteriores. Para minimizar los costos iniciales, las compañías mineras harán suficientes análisis de exploración y económicos para mostrar que hay reservas suficientes para hacer viable un proyecto y obtener financiamiento bancario, y luego continuarán las evaluaciones geológicas para extender la vida útil de la mina a partir de entonces. Esta incertidumbre en la reserva es un riesgo importante para los IPP y los financiadores que respaldan proyectos de energías renovables. Si bien este es un obstáculo que se destaca sistemáticamente en la literatura y ha sido mencionado por varios entrevistados, debe notarse que las minas Degussa (*cuadro 28*) y Cannington (*cuadro 33*) tienen una vida útil minera relativamente corta (*consulte la imagen 20*). Sin embargo, integraron las energías renovables en sus operaciones. Las tecnologías solares modulares y móviles también pueden ayudar a abordar los problemas relacionados con la longitud de los PPA (*consulte la Sección 3.1.5*).

Incluso con reservas suficientes para garantizar una larga vida útil de la mina, las compañías mineras se muestran renuentes a firmar un PPA a largo plazo. Esto reduce la flexibilidad y aumenta el costo de poner un proyecto en cuidado y mantenimiento en caso de que haya una caída significativa en el mercado como la que se experimentó después de finalizado el superciclo de materias primas en 2014. Como destacó uno de los entrevistados:

“Si bien la suspensión de actividades de una mina es una medida de último recurso y las compañías mineras solo darán este paso después de que se hayan agotado todas las demás medidas de reducción de costos, es una consideración estratégica que los ejecutivos de las empresas mineras deben tener en cuenta. Para abordar esto, se podría incluir una cláusula en un PPA que exima al proyecto minero de pagar por el suministro de energía eléctrica en el caso de un evento de suspensión de actividades. Sin embargo, esto será inaceptable para el IPP y los financiadores, ya que no están dispuestos a asumir el riesgo del mercado de materias primas”.

Los PPA a largo plazo también bloquean los compromisos de precios de la electricidad en un momento en que los mercados de energía están siendo interrumpidos por tecnologías renovables. Chile es un buen ejemplo de que los PPA a largo plazo han perjudicado las ganancias de la industria minera (*cuadro 19*). Como consecuencia de esta experiencia, la longitud del PPA con la que las compañías mineras están dispuestas a comprometerse está disminuyendo. Mientras que en Chile existe el mercado al contado en el que el proyecto de energía renovable puede seguir vendiéndose, los compromisos de PPA más cortos son particularmente problemáticos para los proyectos mineros sin conexión a la red donde no hay compradores alternativos.

Además de asegurar un PPA con una duración aceptable para los prestamistas/inversionistas, también se pueden requerir garantías de las empresas matrices. Sin embargo, las empresas matrices de IPP y las compañías mineras a menudo no están dispuestas a asumir este riesgo. Como lo resaltó un entrevistado:

“También hemos visto que los clientes comerciales e industriales no están dispuestos a ofrecer el apoyo de sus compañías matrices para el crédito por el contrato. Esto ha llevado a algunas discusiones interesantes sobre cuál es el nivel de crédito apropiado para el comprador. Esas son conversaciones difíciles porque no hay una ciencia para eso”.

Una de las razones por las cuales las compañías mineras pueden no estar dispuestas a firmar PPA a largo plazo y brindar garantías de sus empresas matrices es el riesgo de que el proveedor de energía quiebre. Esto fue calificado como el segundo riesgo más alto en una encuesta corporativa reciente.¹²³ La caída rápida de los precios en los últimos años ha provocado que los IPP tanto solares como eólicos hayan cerrado y haya una consolidación del mercado. SunEdison, de Estados Unidos, que una vez fue la mayor compañía de energía renovable del mundo, se declaró en bancarrota en 2016. Solo en Japón, 50 empresas de energía solar se declararon en bancarrota en la primera mitad de 2017.¹²⁴ En el sector eólico, muchos fabricantes líderes cerraron fábricas y reestructuraron sus negocios. Al mismo tiempo, hay nuevos participantes en este espacio que ya está repleto. Por ejemplo, las compañías de petróleo y gas con grandes recursos están invirtiendo cada vez más en energías renovables, lo que ejerce una mayor presión sobre los precios.¹²⁵

Cuadro 19: El sector minero de Chile en un mercado energético cambiante

Con pocos recursos de combustibles fósiles propios, Chile ha confiado en las importaciones para la generación de electricidad. Antes de 2004, el gas constituía alrededor del 37% de la combinación energética de Chile y Argentina era su principal proveedor. Argentina redujo las exportaciones debido a una crisis energética propia, lo que llevó a cortes de energía y aumentos masivos de precios en Chile. En su punto máximo en 2011, el precio pagado fue casi el doble del promedio global.¹²⁶ El alto costo de la electricidad y la incertidumbre sobre el futuro suministro de electricidad llevaron a las compañías mineras a buscar soluciones de energía para satisfacer sus necesidades. Codelco invirtió en sus propios proyectos de energía solar y eólica, y otras compañías firmaron PPA a largo plazo para ver la puesta en marcha de nuevos proyectos de energía. BHP Billiton, por ejemplo, licitó un contrato de energía a largo plazo para la construcción de la planta de gas Kelar de 517 MW para satisfacer las necesidades energéticas de su mina Escondida y otras operaciones en Chile.¹²⁷

Desde su momento máximo, los precios de la energía han bajado significativamente. Las empresas de energías renovables han rebajado las ofertas de los productores tradicionales en más del 70% en las licitaciones. Con algunas compañías mineras atrapadas en PPA firmados durante momentos con altos precios de la energía, donde pagaron más de \$100/MWh, buscaron renegociar estos acuerdos, dado que los nuevos proyectos renovables han ofrecido electricidad las 24 horas por precios tan bajos como \$38/MWh en la red pública de Chile.¹²⁸ Esta experiencia de precios cambiantes en el mercado eléctrico chileno ha llevado a las compañías mineras a ser cada vez más cuidadosas al firmar acuerdos a largo plazo. “Antes, las compañías mineras estaban preparadas para adquirir un compromiso de 15 a 20 años. Hoy en día, los PPA a menudo abarcan la mitad de ese tiempo y están ligados al mercado al contado, o incluyen cláusulas de renegociación según cómo se desarrolle el mercado”.¹²⁹



2.3.4. Soluciones sin conexión a la red para comunidades

Desde una perspectiva de desarrollo, un modelo por el cual las soluciones de energía renovable no solo abastecen el proyecto minero, sino que también electrifican a una comunidad cercana en un escenario sin conexión a la red, es particularmente atractivo. Varios representantes de IPP entrevistados estuvieron de acuerdo en que, si bien en teoría las DFI están bien situadas para ayudar a financiar un proyecto de este tipo, varios problemas se interponen en el camino. Un entrevistado destacó:

“Las DFI se centran en el financiamiento de proyectos renovables de tipo público a gran escala. Los proyectos de tamaño mediano, como los que se requieren para sitios mineros remotos, son menos atractivos, porque los costos de administración como porcentaje del préstamo son más altos. Además, no tienen soluciones de préstamo para proyectos de energía híbrida, ya que tienen el mandato de financiar energías limpias. Entonces, ¿un sistema híbrido requeriría dos préstamos diferentes a tasas diferentes? ¿O una central de diésel tendría que ser financiada por un banco comercial, dado que las DFI se están alejando cada vez más de los combustibles fósiles? El no tener una solución de financiamiento simple para sistemas híbridos hace que sea más complejo obtener financiamiento por parte de las DFI”.

Otro representante de IPP entrevistado que trabaja en África explicó:

“Los términos de financiamiento ofrecidos por las DFI son más atractivos que los de los bancos comerciales. Pero, según mi experiencia, los estudios y los estándares que requieren para participar son demasiado complicados y el proceso demora demasiado. Particularmente en el espacio de energía renovable, donde las tecnologías están cambiando rápidamente, no puedo permitirme dos años para obtener un acuerdo de préstamo con una DFI. Por lo tanto, prefiero financiar proyectos con bancos comerciales a un costo ligeramente más alto. Es necesario que se muevan más rápido para ayudar a electrificar a África”.

Si bien el proceso de aprobación de una DFI puede parecer engorroso y costoso para los IPP, este proceso tiene valor para reducir el riesgo social y ambiental de un proyecto. Por lo tanto, es una compensación entre obtener la aprobación del proyecto y construirlo rápidamente contra el riesgo de perder la licencia social para operar debido a consultas insuficientes y debida diligencia.*

Algunos entrevistados también mencionaron que, si el proyecto renovable está vinculado a la mina, la DFI realizará la debida diligencia y exigirá el cumplimiento de los estándares sociales y ambientales tanto de la mina como del IPP, lo que retrasará el proceso de negociación entre el IPP y la compañía minera.

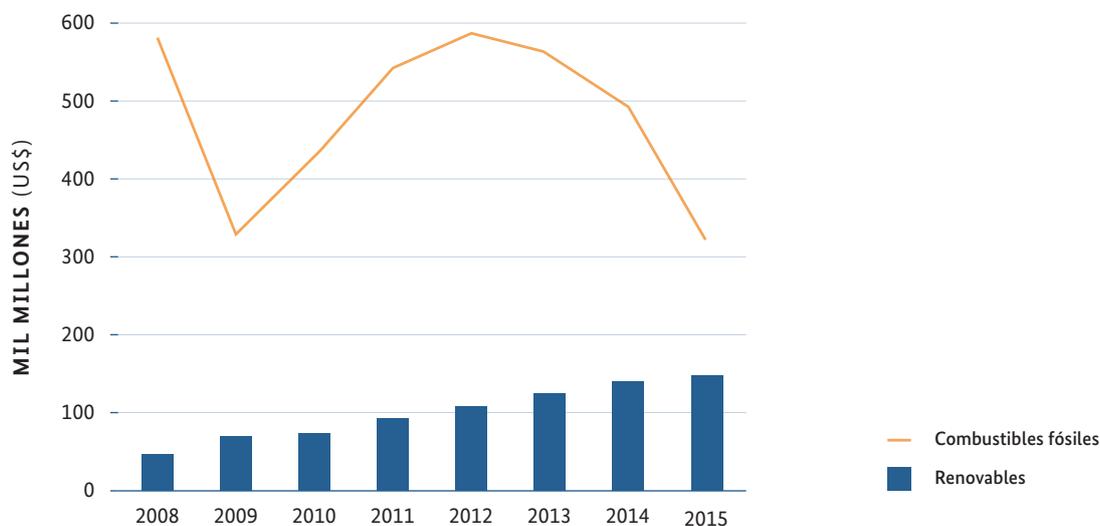
Es difícil ver cómo este modelo evoluciona sin regulaciones que exijan explícitamente la electrificación de las comunidades que viven cerca de los proyectos mineros (*consulte la Sección 2.4.3*) o la mayor participación de DFI en el financiamiento de proyectos renovables de mayor capacidad y mini-redes para servir a las comunidades.

2.4. Regulación

2.4.1. Subsidios a los combustibles fósiles

Los dos mayores obstáculos regulatorios para la integración de las energías renovables en las operaciones mineras son los incentivos a los combustibles fósiles y la falta de leyes energéticas que se hayan adaptado para respaldar las características de los proyectos de energía renovable.

La *imagen 21* muestra que, a nivel mundial, los subsidios para las energías renovables han aumentado y los subsidios para los combustibles fósiles han disminuido. Sin embargo, los subsidios a las energías renovables siguen siendo aproximadamente la mitad de los subsidios que reciben los combustibles fósiles y la tendencia a la baja del subsidio a los combustibles fósiles puede revertirse cuando los precios del carbón, el petróleo y el gas aumenten nuevamente. Aproximadamente el 40% de los subsidios a los combustibles fósiles están destinados a mantener los precios de la electricidad artificialmente bajos¹³⁰, lo que dificulta la competitividad de las fuentes de energía renovable.

Imagen 21: Niveles globales de subvenciones para energías renovablesFuente: FT¹³¹**NOTA**

* Para una revisión del impacto en los derechos humanos de 59 proyectos de energía renovable, consulte: <https://www.business-humanrights.org/en/renewable-energy-solar-bioenergy-geothermal-sectors/renewable-energy-briefing-2018>

para una revisión de los impactos ambientales de los proyectos de energía renovable consulte: <https://www.ucsus.org/clean-energy/renewable-energy/environmental-impacts#.W479hn4nbBI>

Además, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo, las empresas mineras a menudo están exentas del pago de impuestos sobre los combustibles utilizados para operaciones remotas (off road) y para la generación de energía (cuadro 20). En Sudáfrica, por ejemplo, las solicitudes de reembolso de diésel fueron los más altos para el sector de generación eléctrica, mientras que el sector minero ocupó el segundo lugar¹³². En Australia, el sector minero es el mayor receptor de créditos fiscales de combustible.¹³³ Los menores costos de combustible para la generación de energía hacen que la integración de energías renovables sea menos atractiva.

2.4.2. Falta de normativa específica sobre energías renovables

Las leyes y regulaciones, particularmente en los países de bajos ingresos,¹³⁴ aún no se han desarrollado para apoyar las características de los sistemas de energía renovable. “Las regulaciones y la gobernanza en el sector van constantemente por detrás de las innovaciones tecnológicas”.¹³⁵ La falta de regulaciones relevantes ha actuado como una barrera para que las empresas mineras integren energías renovables, particularmente en los casos en que los proyectos están conectados a la red. Dado que los requisitos de

regulación difieren, vale la pena distinguir entre el desarrollo de proyectos de energía renovable *in situ* y la adquisición de energía renovable de proyectos externos al sitio.

Las siguientes regulaciones son propicias para proyectos de energía renovable instalados en el contrato de concesión minera (en el sitio):¹³⁶

- **Capacidad de obtener suministro de terceros:** en numerosos casos, las empresas mineras preferirán la externalización de servicios de generación de energía. Por lo tanto, es propicio contar con regulaciones que permitan a las empresas contratar directamente con proveedores de electricidad que no sean de servicios públicos.
- **Compensación por vender el exceso de energía a la red:** tener la oportunidad de vender a la red, si existe una, reducirá el riesgo de que el proveedor de energía dependa únicamente del proyecto minero. Dicho acuerdo requiere regulaciones que permitan a un tercero suministrar a la red y obtener una remuneración a través de mecanismos de compensación, tales como una medición neta o un sistema de tarifas de alimentación.

- **Políticas de interconexión:** en los casos en que la empresa de servicios sea responsable de la conexión a la red, se requieren reglas claras y procesos transparentes sobre las condiciones de tiempo y acceso. Esto reducirá la incertidumbre para los desarrolladores al proporcionar energía a otros clientes aparte del proyecto minero.
- **Capacidad para vender a terceros:** cuando el proyecto de energía renovable no está conectado a la red y hay oportunidades para proporcionar energía a las comunidades circundantes, se requieren regulaciones para poder hacerlo a un precio determinado.
- **Propiedad de atributos renovables:** cuando el exceso de electricidad se vende en la red, debe existir claridad con respecto a quién posee y puede reclamar los beneficios asociados con los certificados de energía renovable.
- **Simplificación de la fase de permisos:** La aprobación de proyectos de energía renovable y proyectos mineros requiere permisos de diferentes autoridades. La zonificación de la minería y los proyectos renovables, así como las inspecciones, pueden racionalizarse y simplificarse para respaldar este proceso.
- **Tarifas verdes:** en los países donde el mercado de la electricidad está integrado verticalmente y no está liberalizado, las tarifas verdes de los servicios públicos pueden permitir a las empresas mineras contratar energía renovable a largo plazo a un precio acordado.
- **Transparencia de precios:** aumentar la transparencia de precios ayudará a las compañías mineras a comprender la diferencia de precios entre los PPA renovables y el mercado de electricidad tradicional.
- **Políticas de transmisión de acceso abierto con normas legales y técnicas prescritas:** permitirá a los proveedores de energía renovable impulsar las líneas de transmisión de servicios públicos sin sufrir tarifas de acceso discriminatorias
- **Riesgo de interrupción:** al establecer directrices y regulaciones transparentes con respecto al orden de envío y la prioridad, se pueden reducir los riesgos de interrupción. Algunos países han otorgado prioridad a las fuentes de energía renovables, lo que aumenta el atractivo para los inversores y desarrolladores.

Para las compras fuera de sitio a proveedores independientes de energía renovable, se deben considerar los siguientes aspectos para crear un entorno de negocios propicio para las empresas de energía renovable, además de todos los puntos anteriores (además de la simplificación de permisos):¹⁴³

- **Subvenciones al precio de la electricidad para clientes corporativos:** Los precios de la electricidad subsidiados para clientes corporativos pueden hacer que los nuevos proyectos de energía renovable por parte de terceros sean menos atractivos, a menos que los proyectos de energía renovable también se beneficien de los mismos subsidios.

Mientras que los países mineros y desarrollados como Australia, Canadá y Chile ya cuentan con un marco regulatorio más avanzado y políticas para respaldar el despliegue de energías renovables, otros países aún no cuentan con estos sistemas. Para las operaciones mineras sin conexión a la red en países en desarrollo, el PPA entre el IPP y la compañía minera puede dictar las reglas del juego y compensar un marco legal deficiente. Sin embargo, tan pronto como el proyecto de energía renovable se conecte a la red y/o esté diseñado para vender a terceros, como las comunidades aledañas al sitio de la mina, se debe establecer una legislación sobre energía renovable. La inclusión de regulaciones específicas sobre energía renovable es parte de reformas mayores en el mercado de la energía, que pueden enfrentar la oposición de actores políticos y privados que pueden verse afectados por tales reformas (*consulte la Sección 2.5*).

Cuadro 20: Exenciones fiscales al combustible

Australia: Australia introdujo un impuesto especial sobre el combustible como medio para financiar el desarrollo y la mejora de carreteras en la década de 1920, con un impuesto separado para el diésel, introducido en 1957.¹³⁷ Las tasas de consumo, que se indexan dos veces por año al índice de precios al consumidor, para el diésel fueron de US\$ 0,409 por litro en mayo de 2018.¹³⁸ Varias industrias, entre ellas la minería, la agricultura, la pesca, la silvicultura, la construcción y los generadores de energía comerciales, estacionarios y portátiles son elegibles para aprovechar los créditos fiscales de combustible que reducen el costo de los combustibles utilizados para maquinaria, equipos y vehículos pesados.¹³⁹ Estas industrias generalmente están exentas del impuesto, debido a su uso limitado de carreteras en ubicaciones remotas. Se espera que el gobierno australiano otorgue a los mineros créditos fiscales por combustible de AUS\$ 2.500 millones en 2018.¹⁴⁰

Sudáfrica: El Servicio de Impuestos de Sudáfrica (SARS) administra y cobra un impuesto sobre el combustible que se utiliza para financiar el fondo para accidentes de tránsito (RAF), una aseguradora respaldada por el estado que se creó en 1996 y cubre a todos los conductores de vehículos motorizados en el país por responsabilidad o daños incurridos por una colisión de tráfico.¹⁴¹ El impuesto sobre el combustible, que es establecido anualmente por el Tesoro Nacional, fue de 163 centavos por litro en 2017.

El sistema de devolución de diésel se estableció en 2000 y proporciona a los sectores de agricultura, silvicultura, pesca y minería una exención de hasta el 100% del impuesto sobre el combustible. El sistema está diseñado para aliviar la carga impositiva relacionada con las carreteras del RAF para los sectores que tienen un bajo uso de la carretera y para proteger la competitividad de las industrias locales. Los mineros han recibido una tasa de reembolso de aproximadamente el 40% del impuesto sobre el combustible desde 2005, recibiendo más de R 2 mil millones en reembolsos por concepto de diésel entre 2015 y 2016.¹⁴²

2.4.3. Falta de incentivos u obligaciones para electrificar en las comunidades cercanas

Como se mencionó antes, compartir la energía renovable con las comunidades sigue siendo un desafío desde el punto de vista técnico y financiero. Puede ser difícil resolver esto sin incentivos, compromisos o un requisito legal para hacerlo. Solo un contrato en el portal resourcecontracts.org, una base de datos disponible públicamente de 1613 documentos con-

tractuales del sector extractivo, incluye un requisito legal explícito para electrificar a las comunidades circundantes (*vea el cuadro 21*). Otros contratos mineros liberianos¹⁴⁴ y el contrato modelo de PNG¹⁴⁵ prevén la producción del exceso de energía para ser vendida al gobierno o a un tercero.

Cuadro 21: Liberia: Requisito contractual para diseñar exceso de capacidad para la comunidad

El contrato minero de Putu incluye la siguiente cláusula:

“La central de energía deberá diseñarse para generar una cantidad de electricidad superior a la energía eléctrica requerida por la Compañía para que las operaciones suministren a usuarios externos ubicados dentro de un radio de 10 km de la misma en un período de 7 días a la semana, 24 horas al día, de acuerdo con la demanda de los usuarios externos de vez en cuando. La Compañía puede cobrar a los usuarios residenciales tarifas razonables por su uso de energía en función de su capacidad de pago. La Compañía puede cobrar a las empresas tarifas comerciales razonables por su uso de energía. La Compañía proporcionará energía eléctrica gratuita a organizaciones sin fines de lucro y agencias gubernamentales”.¹⁴⁶

Además, la Sección 19.3(d) requiere que la planta de energía se diseñe y construya de una manera que permita que la expansión "en una base comercialmente viable tenga el doble de la capacidad de generación de electricidad requerida para las operaciones de servicio".

2.5. Intereses

2.5.1. Gobierno

Desde una perspectiva técnica, los cambios regulatorios necesarios para fomentar los proyectos de energía renovable parecen relativamente sencillos.

Existe una gran experiencia de las jurisdicciones que han implementado rondas de licitación y cambios regulatorios para respaldar las energías renovables de las que se puede aprender (por ejemplo, del Programa de Adquisiciones IPP de energía renovable bien diseñado en Sudáfrica (*cuadro 22*)).

Cuadro 22: Rondas de licitación de energías renovables de Sudáfrica

Contexto: el gobierno sudafricano dio a conocer el Programa de adquisiciones de productores independientes de energías renovables en Sudáfrica (REIPPPP) en 2012, después de que el presidente Zuma se comprometió a reducir las emisiones de CO₂ (Meier, 2015). El compromiso, que estaba condicionado al apoyo financiero y tecnológico internacional, catalizó al departamento de energía para incluir opciones de energía renovable por primera vez en su Plan de recursos integrados para el período 2010–2030.¹⁴⁷

Diseño e implementación del REIPPPP: el objetivo del REIPPPP fue abordar las debilidades del programa de Tarifa de Alimentación de Energía Renovable (REFIT) que se propuso en 2009, pero que nunca se implementó. El REIPPPP fue diseñado para fomentar la competencia que ejercería presión sobre los precios, un resultado que se excluye en un escenario de tarifa de alimentación en la que los precios son fijos y no reflejan necesariamente las opciones más actuales y rentables para los compradores.

La solicitud de documentos de Propuestas se diseñó en agosto de 2011 después de una conferencia inicial de postores potenciales. Se diseñó un proceso de evaluación de dos pasos, en el que los licitadores deben cumplir con los estándares mínimos ambientales, de terreno, comerciales/legales, de desarrollo económico, financieros y técnicos. El setenta por ciento de la evaluación del segundo paso se basó en los precios de la licitación, mientras que el 30% restante se enfocó en los puntajes relacionados con la creación de empleos, el contenido local, las adquisiciones preferenciales, y el desarrollo empresarial y socioeconómico.

En ese momento, el tamaño mínimo del proyecto se estableció en 1 MW con el tamaño máximo que varía según la tecnología. Los licitadores podían licitar por múltiples proyectos y diferentes tecnologías, cada una con un precio único. El adjudicatario recibiría un contrato de compra de energía en moneda local (PPA) de 20 años con Eskom.

Resultados de REIPPPP: en la primera ronda de licitación (noviembre 2011-2012) se ofrecieron 3.625 MW de capacidad con 2.128 MW de capacidad distribuida en 53 ofertas. Se aceptaron veintiocho ofertas que representan 1.416 MW de nueva capacidad y US\$ 6 mil millones en inversión total. Los bancos comerciales sudafricanos proporcionaron la mayor parte del financiamiento de la deuda. La segunda ronda de licitación (marzo de 2012–mayo de 2013) tuvo una suscripción excesiva, con 1.284 MW de capacidad y setenta y nueve ofertas que representan 3.255 MW. 51 ofertas calificadas, con precios más bajos en todas las tecnologías. Las siguientes rondas de licitación disminuyeron aún más en precio, como se muestra en la *imagen 22*.



Las siguientes lecciones se pueden aprender de la experiencia de Sudáfrica:

BENEFICIOS

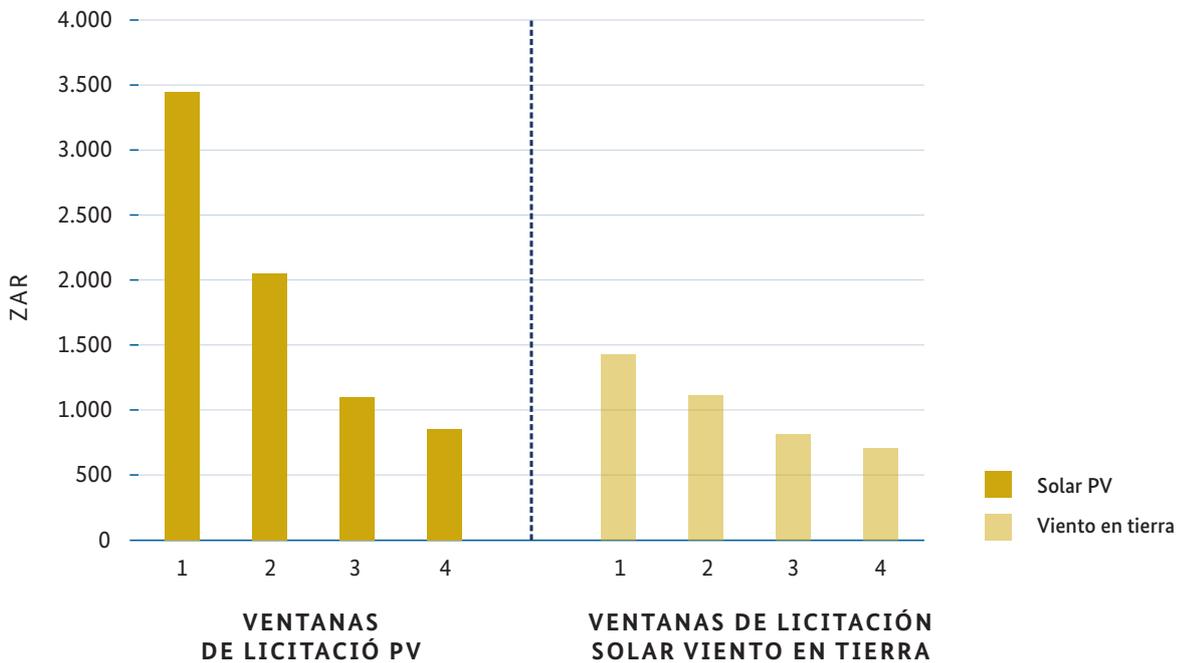
- La estructura competitiva del REIPPPP dio como resultado un precio más bajo de la capacidad de energía renovable.
- Hubo una respuesta sólida en un grupo diverso de oferentes, incluidas varias compañías internacionales.
- El gobierno y la empresa de servicios públicos aumentaron la rendición de cuentas, cumpliendo con los cronogramas, los requisitos del licitador y el diseño de la licitación. Se contrataron asesores externos para evaluar las ofertas.
- La flexibilidad del diseño del REIPPPP permitió una mejora continua basada en el compromiso entre los licitantes y las autoridades.
- Los objetivos de contenido local han estimulado la creación de empleos locales y la inclusión, con un 30% de participación representada por participantes negros.¹⁴⁸

DESAFÍOS

- Altos costos de transacción para los licitadores y las autoridades debido a la necesidad de asesores externos y la falta de capacidad institucional de ambas partes.
- La naturaleza competitiva del proceso puede haber resultado en precios poco realistas que, al ser tan bajos, hacen que los proyectos se vuelvan financieramente inviables.
- El éxito y la implementación del REIPPPP han resaltado las limitaciones de la infraestructura adecuada de transmisión y de la red.
- La falta de cooperación de Eskom, que se negó a firmar más PPA en virtud del REIPPPP de 2016 a 2018, citó costos y exceso de capacidad (consulte las motivaciones políticas para esta respuesta en el *cuadro 23*).
- Los IPP pequeños estaban particularmente limitados por los costos relativamente altos, asociados con las estimaciones de conexión a la red.



Imagen 22: Precio promedio por licitación



Fuente: Mangondo, 2017¹⁴⁹

Si bien en principio es relativamente sencillo, en la práctica, las reformas de energía renovable son difíciles de implementar. Esto se debe a que existen poderosos intereses privados y públicos que se van a perder con los cambios en las políticas. Esto no es nuevo. Las reformas energéticas que apuntan a desagrupar el sector energético para permitir que los productores externos (independientemente de su fuente de energía) compitan en la generación y distribución de energía han enfrentado la oposición de las empresas de servicio público que perderían el monopolio. Mientras que una empresa de servicio público integrada verticalmente hacía sentido en el pasado, debido a las altas barreras de entrada y las economías de escala que dan como resultado grandes sistemas centralizados de generación y distribución de energía que han ayudado a avanzar en la industrialización, las nuevas tecnologías y la generación competitiva de energía a pequeña escala significa que dichos sistemas de integración vertical están desactualizados. Tienden a elevar los precios de electricidad para los consumidores, debido al poder de monopolio o subsidios que, en última instancia, también tienen que ser pagados por el consumidor.

Otro factor que complica las reformas energéticas que favorecen las energías renovables son los poderosos intereses en el sector de los combustibles fósiles, que se espera que pierdan fuerza debido a la creciente captación de fuentes renovables. Esto abarca desde políticos que desean apelar a votos electorales que benefician o se han beneficiado de la cadena de valor de los combustibles fósiles,¹⁵⁰ hasta grupos del sector privado que presionan a los gobiernos y financian campañas de desinformación.¹⁵¹ Además, el sector de importación y venta de combustible diésel en los países en desarrollo a menudo está controlado por elites comerciales influyentes y bien conectadas. El caso de Sudáfrica ilustra que, a pesar de que el programa REIPPPP fue bien diseñado y recibió mucho interés, la implementación ha sido difícil, debido a la oposición de actores poderosos (cuadro 23).

Según lo destacado por uno de los entrevistados de IPP que ha trabajado extensamente en Sudáfrica:

"Sudáfrica es un estudio de caso fantástico sobre "qué hacer" y "qué no hacer". Las regulaciones y las rondas de licitación han sido bien diseñadas y han atraído una gran cantidad de interés de las empresas de energías renovables. El mercado es muy atractivo. Sin embargo, no hay voluntad política para hacer avanzar estos proyectos renovables, ya que hay obstáculos en cada paso del camino, por lo que varios IPP se han frustrado mucho".

Cuadro 23: La política económica en la política de energías renovables de Sudáfrica

La compañía eléctrica sudafricana Eskom está integrada verticalmente, ya que mantiene el control sobre la generación, transmisión y algo de distribución. En 1998, se presentó un marco de políticas que preveía la reestructuración de Eskom y la entrada de los IPP. Sin embargo, estas reformas fueron impulsadas por actores del sector privado y consultores internacionales sin tener suficiente respaldo político. Como resultado, no se desarrolló un marco regulatorio para implementar la política.

Con una crisis energética inminente causada por la creciente demanda e inversiones en generación de energía insuficientes, debido a la falta de recursos financieros de Eskom, el gobierno elevó las tarifas de electricidad y Eskom comenzó su programa de expansión de generación, invirtiendo en centrales eléctricas de carbón a gran escala. Pero estas inversiones llegaron demasiado tarde y provocaron apagones en todo el país en 2007-2008. Eskom utilizó la crisis energética para resaltar la importancia de que el gobierno mantuviese el control sobre el sector para garantizar la seguridad energética. A mediados de la década de 2000, se inició el programa de Tarifas de Alimentación de Energía Renovable (REFIT) para atender el creciente interés internacional de los proveedores de energía renovable de ingresar al mercado eléctrico sudafricano. Sin embargo, el programa "estuvo plagado de incoherencias políticas, incertidumbre y confusión, resultado de la continua resistencia de un régimen propietario que luchaba por mantener el control sobre la generación de energía".¹⁵²

Con la creciente frustración por el aumento de los precios de la electricidad, los cortes de energía y la falta de confianza en Eskom, se creó una nueva unidad independiente de Eskom y del Departamento de Energía para producir una plataforma de implementación de licitaciones competitivas. Se estableció el Programa de Adquisiciones de Productores Independientes de Energías Renovables (REIPPPP) para atraer IPP renovables y bajar los precios. Hubo un gran interés en las rondas de licitación del REIPPPP que dieron lugar a ofertas de precios competitivos. Sin embargo, los retrasos en la firma por parte de Eskom en los PPA con los IPP renovables generó inquietudes en los inversores y retrasos en los proyectos.¹⁵³

Para complicar aún más la dinámica de la política energética de Sudáfrica, se encuentra el firme compromiso del gobierno del presidente Zuma con la energía nuclear. Las estimaciones de costos sugieren que las soluciones de energía nuclear no son económicas en comparación con las soluciones de carbón y energía renovable. Ha habido denuncias de que los acuerdos se han negociado y firmado con la ayuda de sobornos a individuos en el Gobierno.¹⁵⁴

A pesar de los intereses arraigados y la oposición política al cambio, se implementaron las reformas energéticas en el pasado. En particular, se han producido como respuesta a las crisis energéticas, como parte de reformas económicas más amplias o como resultado de un cambio en el poder desde los gobiernos de "izquierda" a "derecha" o viceversa.¹⁵⁵

2.5.2. Sector privado

Dentro de los sectores de energía renovable y minería, debe destacarse que hay muchos incentivos e intereses diferentes en juego. Como señaló un entrevistado que solía trabajar para un IPP:

“Quizás la pregunta más importante que se debe hacer es quién ha impulsado el debate sobre la integración de las energías renovables en la minería. Han sido los desarrolladores y proveedores que intentan vender sus soluciones a las compañías mineras en lugar de las compañías mineras que las solicitan. Esta es la razón por la cual hemos estado discutiendo sobre las energías renovables en la minería desde hace algún tiempo, pero el consumo ha sido mucho menor de lo esperado. Durante los últimos cinco años he asistido a conferencias sobre este tema, donde se habla de la caída de los costos de las energías renovables y que estamos en la cúspide de un punto de inflexión donde las energías renovables en la minería se convertirán en la corriente principal. Pero la realidad es que todavía estamos hablando de algunos estudios de caso que discutimos hace 5 años, lo que sugiere que aún no se han incorporado. Mientras los IPP impulsan esta agenda y no son manejados por compañías mineras que demandan energías renovables, no veo un punto de inflexión”.

Los entrevistados ubicaron la aparente falta de compromiso con las energías renovables en la naturaleza conservadora del sector minero en su conjunto. A diferencia del sector de las TIC, por ejemplo, donde varias compañías han asumido compromisos más ambiciosos para obtener fuentes renovables (vea el cuadro 24), la administración dentro del sector minero tiende a ser de una generación anterior, una generación que no creció con las preocupaciones apremiantes sobre el cambio climático y más cauta con las nuevas tecnologías. Como lo destacó un entrevistado que solía trabajar en una mina en la prueba e integración de nuevas tecnologías:

“La forma en que se enseñó la ingeniería a la generación anterior y a la actual no podría ser más diferente. La generación pasada puede escuchar si un generador diésel funciona correctamente o no. La generación anterior no confía en un sistema informático en la misma medida en que lo hacen las generaciones más jóvenes, porque no crecieron con estas tecnologías. Esto también puede conducir a una aversión a los sistemas de energía híbrida tecnológicamente más avanzados que integran las energías renovables en los sitios de la mina sin conexión a la red. Siempre acudía a dos de los administradores de minas más jóvenes para probar nuevas tecnologías, ya que sabía que serían más receptivos que sus contrapartes mayores”.

La industria minera también está menos orientada hacia un pensamiento innovador y es más reacia a cambiar. Muchas empresas no quieren ser pioneras en las nuevas tecnologías y, más bien, desean seguir las una vez que se demuestra que algo tiene éxito. Esta actitud de "el primero en ser segundo" no solo se relaciona con las soluciones de energía renovable, sino también con otros tipos de tecnologías.¹⁶²

La inversión en innovación en el sector minero representa alrededor del 0,5% de los ingresos, en comparación con el 2-3% en la industria manufacturera y el 3-5% en la industria del petróleo y el gas.¹⁶³ El cuadro 25 destaca cómo el gobierno chileno ha propuesto abordar este "problema de iniciativa" con tecnologías para reducir la huella de carbono de la minería de cobre en el país.

Cuadro 24: Google y Apple apuntan a alcanzar un 100% en compras de energías renovables

El sector de las TIC produce actualmente el 2% de las emisiones globales de CO₂ y consume el 7% de la electricidad total, un porcentaje que se espera que crezca hasta el 13% para 2030. El principal motivo del rápido crecimiento del consumo de energía se debió principalmente a la expansión acelerada de los centros de datos, que requieren una potencia constante y confiable. Esta característica proporciona una comparación interesante con la minería, que también necesita acceso a la energía ininterrumpido las 24 horas.*

Las compañías de TIC tienen un promedio de 60% de energías renovables en su combinación de energía, el cual es el mayor porcentaje en todas las industrias. El sector está liderando las inversiones corporativas en nuevas tecnologías energéticas.¹⁵⁶ El impulso de las energías renovables en el sector se puede remontar a motivos económicos y preocupaciones ambientales. Las compañías de TIC han hecho uso de todos los modelos de suministro descritos en la Sección 1.3, incluida la inversión en plantas de energía renovable, la firma de PPA, la agrupación industrial, la compra de créditos de energía renovable y la contratación de productos de servicios públicos ecológicos. Además, las compañías de TIC han sido una fuerza líder en la alianza de compradores de energía renovable y RE100, que tienen como objetivo compartir experiencias de compra de energía renovable y crear presión de mercado impulsada por los usuarios.

Por ejemplo, en 2017, Google cumplió su objetivo de utilizar 100% de energía renovable en sus oficinas y 15 centros de datos ubicados en todo el mundo. Para lograr esto, Google se comprometió a comprar toda la producción de un parque eólico de 72 MW en el norte de Suecia a través de un PPA de 10 años. Esto permitió a OX2, el desarrollador, obtener financiamiento respaldado por la compañía de seguros Allianz.¹⁵⁷ Google apoya directa e indirectamente nueve proyectos adicionales de energía eólica, cuatro ubicados en los EE.UU. y los cinco restantes, en Suecia, y eso proporciona un total de 1,1 GW en energía eólica para la compañía (el equivalente al 35% de sus operaciones).¹⁵⁸ En abril de 2018, Apple también anunció que había logrado un 100% de electricidad renovable en sus instalaciones en 43 países.¹⁵⁹ En China, Apple construyó una planta de energía solar en el sitio que ha estado suministrando el 100% de los 40 MW que necesitan sus instalaciones, desde 2016. Adicionalmente, la compañía invirtió en tres mega proyectos solares en China que producen 200 MW de energía limpia.¹⁶⁰

Las razones que pueden explicar por qué el sector de las TIC es más ambicioso que el sector de la minería en el suministro de energías renovables en sus operaciones incluye:

1. El sector de las TIC siempre invertirá en un área conectada a la red, ya que ofrece más opciones de suministro de energía renovable que los sitios mineros sin conexión a la red.
2. El sector de las TIC está más cerca del consumidor que del sector minero y, por lo tanto, es más consciente de ser visto como una empresa progresista que combate el cambio climático.
3. Debido a sus características, es más fácil para una empresa de TIC alcanzar el 100% de las energías renovables que para una compañía minera y, por lo tanto, el incentivo para alcanzar este objetivo es mayor.
4. Las compañías de TIC más grandes han acumulado importantes recursos¹⁶¹ en los últimos años y están buscando oportunidades de inversión que les proporcionen rendimientos estables.
5. Las personas que trabajan en la industria de las TIC y sus líderes tienden a ser de una generación más joven, que está más consciente del cambio climático.

NOTA

- * Una de las diferencias más significativas de los dos sectores es que los centros de datos no están vinculados geográficamente y, por lo tanto, pueden construirse cerca de fuentes de energía de bajo costo.

La renuencia de las empresas mineras a ser vistas como que fracasan también puede explicar por qué la mayoría de los proyectos renovables existentes que se han integrado en sitios mineros sin conexión a la red son relativamente pequeños y tienen tasas de penetración bajas. La mayoría de los entrevistados sugirieron que una mayor penetración de energías renovables hubiera sido viable desde una perspectiva tecnológica y económica. Sin embargo, las compañías mineras se han acercado a las energías renovables comenzando con una prueba a pequeña escala antes de aumentar la dependencia. Esta puede no ser una forma eficiente de probar las energías renovables, dado que los problemas y las soluciones tecnológicas para tasas de penetración más altas son diferentes. Los contratistas también tienen un incentivo para diseñar sistemas muy conservadores a fin de garantizar que puedan cumplir con el sistema de energía garantizado.

Dentro de una empresa minera también hay diferentes intereses y conductores. Si bien la administración y el departamento de sostenibilidad pueden estar interesados en la integración de la energía renovable por razones de reputación y para reducir la huella de carbono de la empresa, un administrador de la mina que recibe un pago si cumple con su objetivo de producción, puede que no.

“El rol del gerente de la mina no debe ser subestimado, porque tiene más influencia en las decisiones de lo que los ejecutivos de la compañía quisieran admitir. Un gerente de mina no tiene una perspectiva a largo plazo. Particularmente, si se trata de un sitio minero remoto, él hará el trabajo por no más de 5 años antes de moverse a otro cargo. Su principal preocupación será operar la mina sin interrupciones. La posibilidad de contar con una tecnología con la que probablemente no esté familiarizado, integrarse en un componente clave de la mina que determina si puede garantizar la producción las 24 horas del día y 7 días a la semana no es particularmente atractiva. En los proyectos de Brownfield, existe la preocupación adicional acerca de la interrupción causada durante la construcción. Desde su perspectiva, tiene más sentido utilizar fuentes de energía tradicionales en las que él sabe que puede confiar basándose en la experiencia pasada, incluso si esto tiene un costo mayor, y para las minas sin conexión a la red, todo el mundo está pagando el precio del diésel, por lo que sus gastos de energía no serán necesariamente atípicos en comparación con sus colegas o competidores”.

Cuadro 25: Centro para la transición energética

Para promover la adopción de nuevas tecnologías por parte de la industria minera en Chile, el Gobierno ha propuesto establecer el centro para la Transición Energética (anteriormente denominado Instituto de Minería Solar). Esta asociación público-privada propone desarrollar laboratorios y tecnologías de prueba para aprovechar las ventajas competitivas de Chile y reducir la huella de carbono de la industria minera. Los flujos de investigación propuestos incluyen energía solar fotovoltaica y concentrada, tecnologías de almacenamiento y tecnologías de hidrógeno y combustible líquido que pueden servir para las actividades de transporte y procesamiento del sector minero.

El instituto está diseñado para trabajar en colaboración con el gobierno, el sector privado y la academia para fomentar un entorno de innovación aplicada y de alto nivel. El proyecto será licitado por CORFO y estará ubicado en la región de Antofagasta. Las regalías recibidas de la empresa minera de litio Soquimich, que fue adquirida por Almarle en 2015, contribuirán a la iniciativa con un mínimo de US\$ 12 millones por año. Este apoyo financiero fue parte del acuerdo alcanzado entre Rockwood y el Gobierno de Chile en 2017.¹⁶⁴ Se alienta a otras empresas a invertir también en esta nueva iniciativa.





© shutterstock

Mineral de hierro





Tendencias y factores impulsores

3.0

La creciente demanda de minerales y la disminución de las leyes de mineral requerirá más energía por tonelada de producción. Además, la automatización y electrificación de los camiones y otros procesos mineros reequilibrarán la demanda de energía de combustibles líquidos hacia la electricidad, como lo ejemplifica la mina Borden (*cuadro 26*).

Esta sección describe las tendencias previsibles y los factores impulsores que determinarán si las fuentes de energía eólica y solar desempeñarán una función más importante en el suministro de la creciente demanda del sector. Se han revisado las mismas categorías que en la sección de obstáculos. A saber: (1)

técnicos, revisando las proyecciones de precios para las tecnologías eólica, solar y de almacenamiento, así como las perspectivas para soluciones modulares y de cadena de bloques; (2) experiencia, para evaluar si y cómo los actores involucrados están aprendiendo de las iniciativas y proyectos existentes; (3) financiación, donde se están desarrollando nuevos productos bancarios que facilitan a los grandes consumidores la obtención de fuentes renovables; (4) regulación, que muestra la tendencia creciente de los gobiernos que apoyan las energías renovables en las legislaciones respectivas; y (5) intereses, para evaluar qué factores impulsores pueden fomentar una mayor integración de las energías renovables en la minería.

3.1. Técnica

3.1.1 Electrificación de minas

Como se destacó en la introducción, los proyectos de generación solar y eólica tienen el potencial de descarbonizar el componente eléctrico del consumo de energía. La electricidad ya se usa para sistemas de ventilación, bombeo de agua, trituración, molienda y otras operaciones de procesamiento. Con el aumento de la automatización y la electrificación de las minas, existe un potencial adicional para que los proyectos eólicos y solares descarbonicen la combinación final del consumo de energía del sector.¹⁶⁵ GoldCorp está desarrollando la primera “mina del futuro” completamente eléctrica de Canadá (cuadro 26).

NOTA

- * El Menor Costo de Energía (LCOE) de una tecnología dada es la relación entre los costos de por vida (incluidos los costos de instalación, los costos de financiamiento y los costos operativos) y la generación de electricidad de por vida; ambos se descuentan utilizando una tasa de descuento que refleja el costo promedio del capital.¹⁶⁸
- ** La rápida caída de los costos de las energías renovables ha hecho que los proyectos renovables que no eran atractivos hace unos años ahora lo sean. Por ejemplo, el proyecto de la planta solar Nova de Zenith Energy en Australia "pasó de tener un costo prohibitivo, incluso con apoyo gubernamental, a ser financiado sobre una base puramente comercial".¹⁶⁹

Cuadro 26: La mina Borden será la primera mina subterránea totalmente eléctrica en Canadá

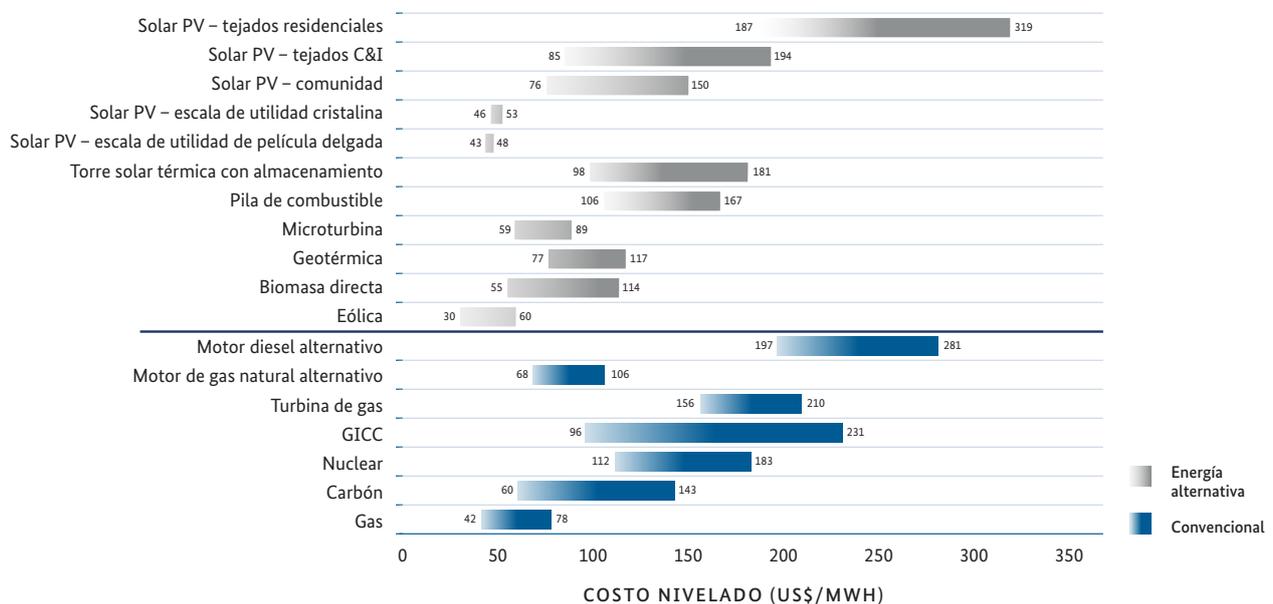
Ubicación:	Chapleau, Ontario, Canadá		
Propiedad de la mina:	GoldCorp		
Estado de la red:	Conectado a la red		
Proveedores de flota eléctrica:	MacLean, Sandvik y Medatech		
Ahorro de costos:	C\$ 9 millones al año		
Ahorro de combustible:	2.000.000 litros de diésel y 1.000.000 litros de propano al año		
Ahorro de energía por la necesidad reducida de ventilación:	33.000 MWh		
Ahorro de carbono:	7000 toneladas de CO ₂ e/año (70% reducción a la línea de base) ¹⁷⁰		
<p>Proyecto: se espera que la mina Borden comience la producción comercial en el segundo semestre de 2019 y que se convierta en la primera mina subterránea totalmente eléctrica de Canadá. El objetivo es reemplazar los equipos de diésel para perforación, voladura, atornillado y transporte con alternativas de batería. Para este propósito, GoldCorp ha contratado a MacLean y a Sandvik para que suministren la flota que funciona con baterías, incluido un camión de 40 toneladas métricas que funciona con baterías. Actualmente, el aumento de la exploración ya está utilizando vehículos eléctricos de estos dos proveedores, incluido un vehículo de servicio Caterpillar que ha sido readaptado por Medatech.</p>			
<p>Si bien se espera que el gasto de capital sea mayor que en una mina convencional, dado que los transportadores eléctricos son entre un 25% y un 30% más caros que una maquinaria convencional, también se espera que reduzca a la mitad el costo de la ventilación con gran consumo de energía, debido al uso de sistemas alimentados por batería.¹⁷¹ Además, se esperan ahorros de costos en diésel y en mantenimiento de la flota, ya que los camiones diésel generalmente tienen 1.000 piezas más que sus homólogos eléctricos.</p>			
<p>Para respaldar a GoldCorp como primera empresa que invierte en estas nuevas tecnologías de minería más limpias y más sostenibles, el Gobierno de Canadá le otorgó a la compañía una donación de US\$ 3,8 millones. La donación proviene de su fondo de inversión de US\$ 155 millones para proyectos de investigación, desarrollo y demostración de tecnología limpia en el sector de la energía, la minería y forestal, denominado Programa de Crecimiento Limpio de Canadá.¹⁷²</p>			

3.1.2. Caída de costos de las energías renovables

Los costos de la energía solar y eólica han disminuido drásticamente en los últimos años. En particular, los costos de instalación de la energía solar fotovoltaica se han reducido en un 70-80% en los últimos 8 años.¹⁶⁶ Este es el resultado de una mejora en los procesos de fabricación, su cambio desde países de alto costo (por ejemplo, Alemania, Japón) a países de menor costo (por ejemplo, China), el aumento de la eficiencia en la

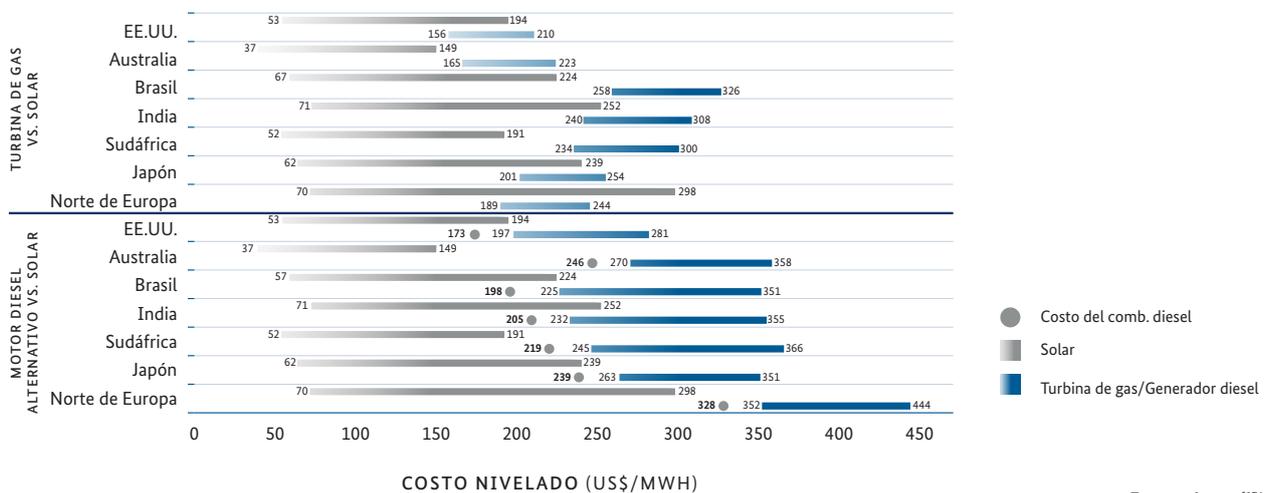
cadena de suministro, y una integración más generalizada de la energía eólica y solar debido a las políticas en Europa, China y California, lo que crea un mercado más grande para ella.¹⁶⁷ Con el menor costo de la electricidad,* las fuentes de energía solar y eólica ahora son muy competitivas en comparación con las fuentes basadas en combustibles fósiles, como se muestra en las siguientes imágenes.**

Imagen 23: Comparación de costo nivelado de energía (LCOE) no subsidiado



Fuente: Lazard¹⁷³

Imagen 24: LCOE de energía solar frente a gas y diésel en distintas geografías

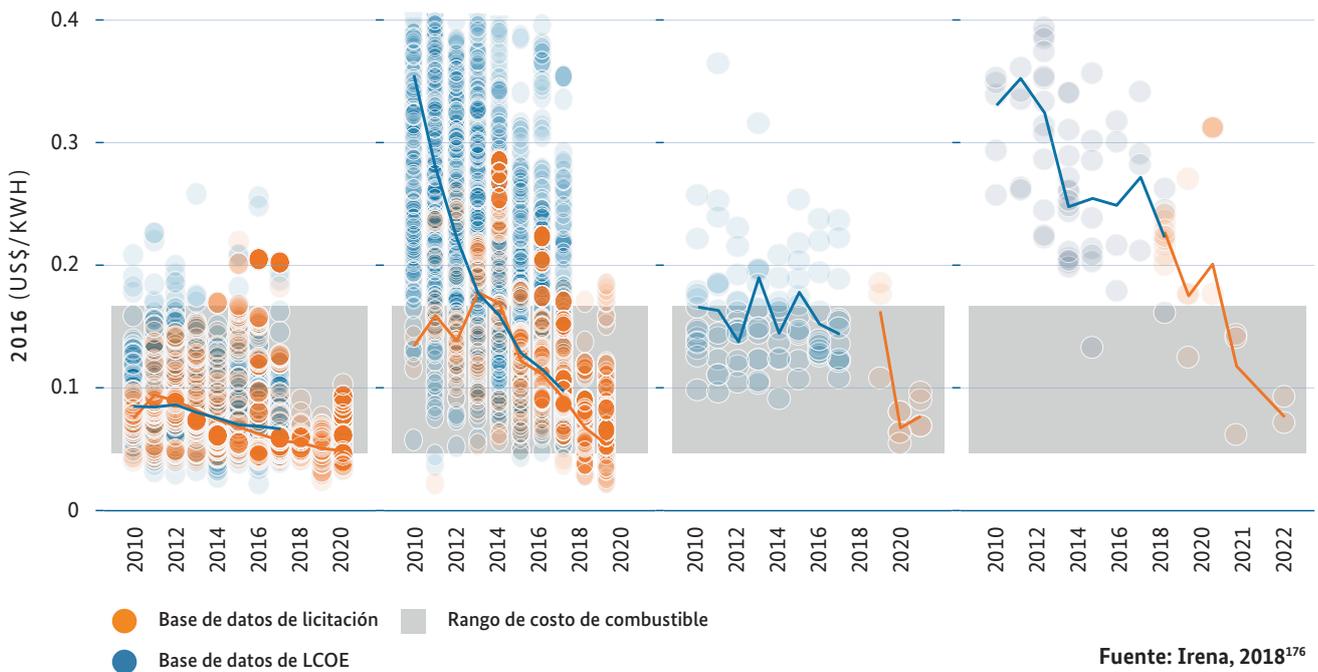


Fuente: Lazard¹⁷⁴

Se espera que esta tendencia de precios continúe. Los proyectos de energía eólica terrestre y solar fotovoltaica que alimentan la red serán más competitivos que las fuentes de energía basadas en fósiles sin incentivos ni subsidios. “Los mejores proyectos de energía eólica en tierra y solar fotovoltaica serán la entrega de electricidad por un equivalente en LCOE de US\$ 0,03/KWh, o menos, con una CSP y energía eólica mar adentro capaces de proporcionar electricidad de manera muy competitiva, en el rango de US\$0,06 a US\$ 0,10/KWh de 2020”.¹⁷⁵ La imagen 25 muestra estimaciones de costos nivelados basadas en los recientes resultados de las licitaciones.

La tendencia anterior muestra comparaciones de costos para proyectos conectados a la red. Para los proyectos mineros que dependen de generadores diésel para alimentar sus operaciones, el diferencial de precios es aún mayor. El *cuadro 27* proporciona una comparación de costos en el momento en que uno de los primeros sitios mineros integró fuentes de energía renovable en su combinación de generación de energía. Ya en 2013, cuando las energías renovables no eran tan competitivas en cuanto a costos, Cronimet logró demostrar el caso de negocios para integrar una planta de energía solar fotovoltaica de 1 MW en sus operaciones..

Imagen 25: LCOE para CSP, energía solar fotovoltaica, proyectos eólicos en tierra y mar adentro, 2010–2020



Fuente: Irena, 2018¹⁷⁶



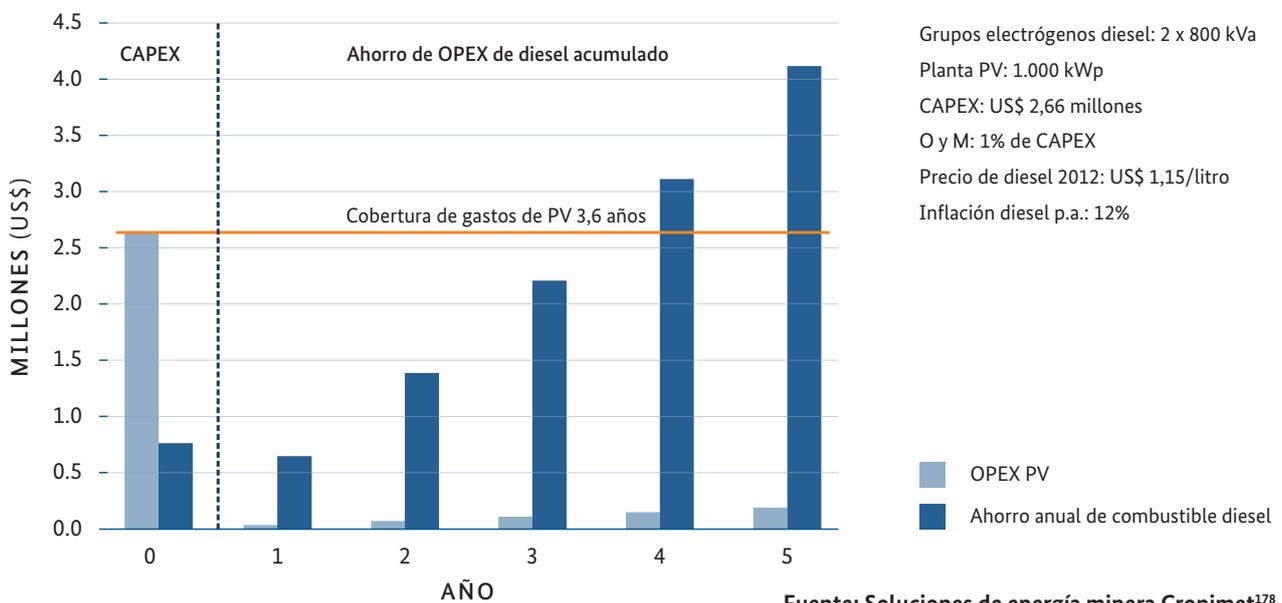
Cuadro 27: La mina de Thabazimbi de Cronimet¹⁷⁷

Ubicación:	Thabazimbi, Sudáfrica	
Propiedad de la mina:	Cronimet	
Estado de la red:	Sin conexión a la red	
Tamaño del proyecto solar:	1 MW	
Generación de proyecto solar:	1.800.000 kWh (30 % de las operaciones)	
Puesta en marcha del proyecto solar:	2012	
Costo del proyecto solar:	US\$ 2,66 millones	
Desarrollador del proyecto solar:	CRONIMET Power Solutions (empresa conjunta entre Cronimet y Solea Renewables)	
Ahorro de costos:	US\$ 500.000 al año	
Ahorros en diésel:	450,000 litros anuales	
Ahorro de carbono:	2.000 toneladas al año	
Otros componentes:	1,6 MW diésel (1,9 millones de litros/año, US\$ 2,18 millones/año)	

Contexto: la mina de cromo de Cronimet en Thabazimi, Sudáfrica, tiene un contrato de concesión por 30 años en un sitio con reservas probadas que ascienden a más de 17 millones de toneladas de mineral de cromo. Sin embargo, el sitio no tenía acceso a la red eléctrica sudafricana y tendría que utilizar generadores diésel para suministrar los 1,6 MW de energía que se necesitan las 24 horas del día.

Proyecto solar: al trabajar con el desarrollador solar Solea Renewables (ahora CRONIMET Power Solutions), Cronimet pudo construir un sistema híbrido solar-diésel que reduce el consumo de diésel en 450.000 litros al año a través de un acuerdo de compra de energía (PPA) firmado con la mina. Solea Renewables pudo ofrecer los servicios de ingeniería, adquisiciones y construcción (EPC), y servicios de operaciones y mantenimiento necesarios para mantener el proyecto durante toda la vida útil del PPA. En general, el proyecto tuvo un reembolso de 3,6 años y, a largo plazo, un valor neto actual de US\$ 2,3 millones (*imagen 26*). El financiamiento del proyecto provino de CRONIMET Energy, una unidad de negocios separada de la mina, lo que significa que los costos no estaban en el balance de la mina.

Imagen 26: Desglose de costos del sistema: Mina de Thabazimi en Sudáfrica



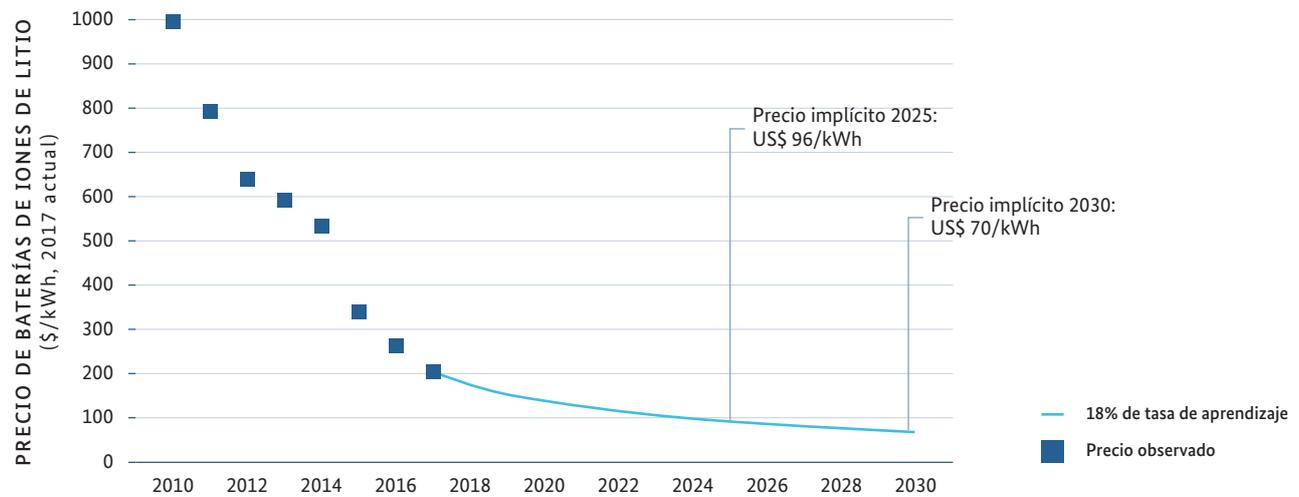
3.1.3. Caída de costos del almacenamiento de baterías

También se anticipa que los costos de las baterías de iones de litio seguirán disminuyendo rápidamente a medida que aumenta la producción. Como se muestra en la *imagen 27*, se estima que los precios bajarán de más de US\$ 200/kWh en 2017 a menos de US\$ 100/kWh para 2025. Este desarrollo puede abordar algunos de los problemas de intermitencia de la energía solar y eólica, y permitir mayores tasas de penetración de energías renovables en los sitios mineros sin conexión a la red, como se mencionó anteriormente.

La mina Degruessa de Sandfire Resources en Australia es un caso interesante, porque ya integró el almacenamiento de baterías en su proyecto de energía híbrida (*cuadro 28*). El sistema de baterías de 6 MW aborda la variabilidad solar al proporcionar control de frecuen-

cia y control de giro. La *imagen 28* muestra la interacción entre los generadores diésel (líneas roja y verde), la energía solar (línea naranja punteada) y el sistema de baterías (línea gris). El beneficio del sistema de baterías es que permite que los generadores diésel se apaguen en lugar de ponerlos en funcionamiento por debajo de la carga, lo que reduce la eficiencia. En el caso de que pase una nube, como se muestra alrededor de las nueve de la mañana, la batería reacciona rápidamente para proporcionar energía hasta que se vuelve a encender un generador diésel adicional (la línea verde muestra la capacidad). Con una mayor capacidad de almacenamiento a costos más bajos, el desarrollador modeló diferentes escenarios que muestran que la tasa de penetración de la energía solar podría incrementarse a un 82,9% con un perfil de potencia simulado, como se muestra en la *imagen 29*.

Imagen 27: Precio de baterías de iones de litio



Fuente: Bloomberg NEF¹⁷⁹



Imagen 28: Perfil energético de la mina Degrossa en un día de gran luminosidad (10,6MW de energía solar fotovoltaica, 6MW de almacenamiento)

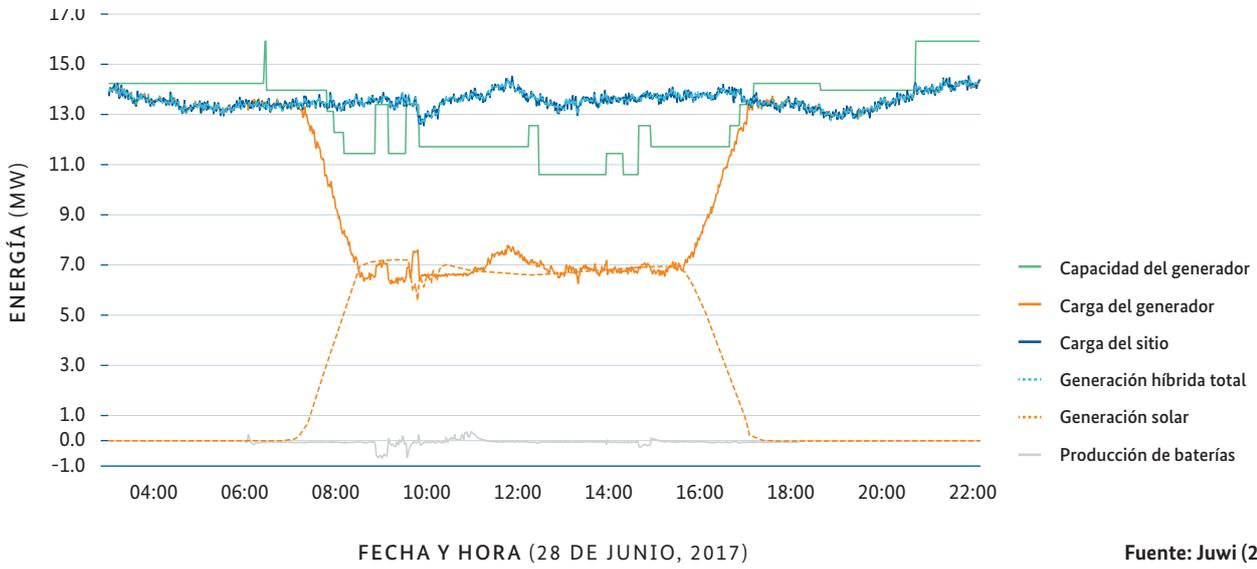
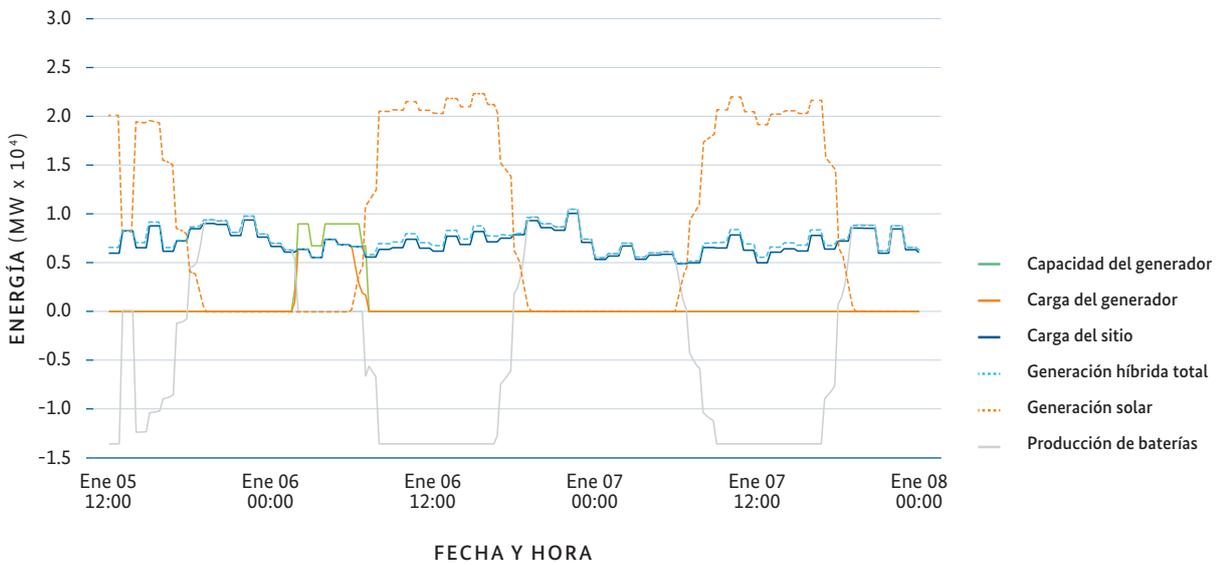


Imagen 29: Perfil energético de la mina sin conexión a la red en un día de gran luminosidad (40MW de energía fotovoltaica, 17MW de almacenamiento)



Cuadro 28: DeGrussa Solar

Ubicación:	Australia occidental (sitio remoto)	
Propiedad de la mina:	Sandfire Resources	
Mina:	Mina de oro/cobre DeGrussa	
Propietario del proyecto:	NEOEN, propietario-gerente del proyecto a largo plazo	
Desarrollador del proyecto:	Contratista EPC	
Capacidad del proyecto:	10,6 MW de energía solar integrada con el generador diésel de 19 MW existente y baterías avanzadas de iones de litio que pueden almacenar hasta 6 MW	
Costo total:	AUS\$ 40 millones	

Financiación: La Agencia de Energía Renovable Australiana (ARENA) otorgó una subvención recuperable de AU\$ 20,9 millones, la Corporación Financiera de Energía Limpia (CEFC) proporcionó una financiación de deuda de AU\$15 millones, NEOEN ha invertido capital en el proyecto.¹⁸²

La mina de cobre DeGrussa entró en operación en 2012 y está destinada a producir hasta 300.000 toneladas de cobre y oro de alto grado al año. Sandfire menciona su fuerte compromiso con la sostenibilidad detrás de su consideración de las opciones de energía solar para DeGrussa, que la compañía comenzó a perseguir en 2014. ARENA acordó apoyar el proyecto para demostrar la asequibilidad, confiabilidad y seguridad de las energías renovables para la industria minera nacional.

El proyecto de energía renovable entró en operación en 2016, después de menos de un año de construcción, lo que lo convierte en la instalación de almacenamiento y energía solar sin conexión a la red más grande del mundo en una mina. Antes del arranque y la puesta en marcha, la empresa EPC para el proyecto, Juwi, revisó y planificó todos los escenarios posibles con el equipo de administración de la mina y los propietarios de la planta de energía para reducir el riesgo de posibles problemas. Esto les permitió reaccionar rápida y eficientemente en caso de que surgieran circunstancias imprevistas, a fin de minimizar las interrupciones en la mina.¹⁸³

La compañía francesa NEOEN compró el proyecto a Juwi por una tarifa no revelada en 2015 y generó un PPA de cinco años y medio con energía de origen para vender los Certificados de Generación a gran escala del proyecto. Se espera que la instalación genere más de 20.000 LGC por año y la permanencia del PPA entre el origen y NEOEN refleja la vida útil esperada de la mina.¹⁸⁴

Beneficios: La instalación tiene el potencial de satisfacer el 90% de la demanda diurna de la mina y ahorra aproximadamente cinco millones de litros de diésel cada año, lo que resulta en una disminución anual de 12.000 toneladas de CO₂.¹⁸⁵ El proyecto es una cobertura natural contra la volatilidad en los tipos de cambio, costos de CO₂ y precios del diésel.¹⁸⁶ ARENA y Juwi han sido anfitriones de grupos turísticos de líderes de la industria minera en visitas al proyecto DeGrussa durante los últimos dos años. El proyecto obtuvo el premio al Proyecto del Año del Congreso Mundial de Energía y Minas de Toronto 2016.

3.1.4. Otras soluciones de almacenamiento

Además del almacenamiento de baterías, ha habido otros desarrollos recientes importantes en los mecanismos de almacenamiento alternativos. Las empresas mineras están invirtiendo particularmente en investigación y desarrollo en energía solar térmica, almacenamiento por bombeo e hidrógeno. Por lo tanto, este informe destaca el potencial de estas tres tecnologías a continuación.

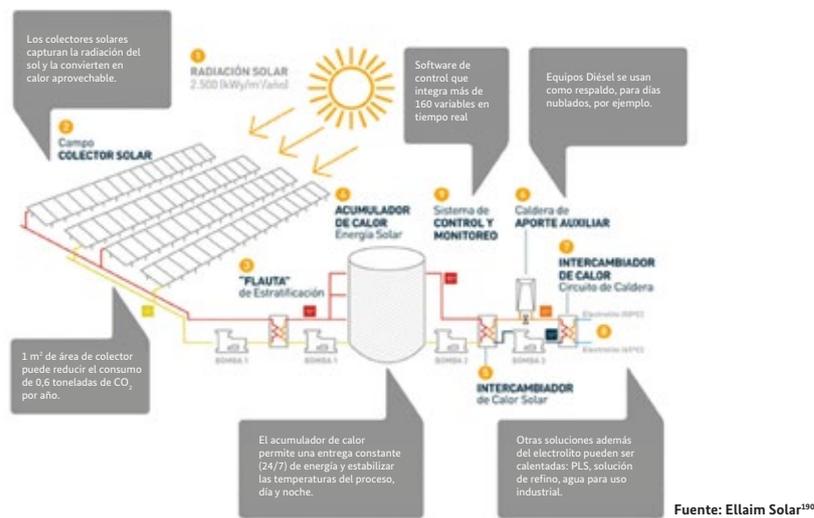
Cuadro 29: Gabriela Mistral – Chile¹⁸⁷

Ubicación:	Atacama, Chile
Propiedad de la mina:	Codelco
Estado de la red:	Conectado a la red
Tamaño del proyecto térmico:	34 MW
Producción del proyecto térmico:	80.000 MWh (cubre el 80% de la demanda energética)
Puesta en marcha del proyecto solar:	2012
Costo del proyecto solar:	US\$ 26 millones
Desarrollador del proyecto solar:	Energía Llaima – Sunmark
PPA:	10 años
Ahorros en diésel:	6,5 millones de litros anuales
Ahorro de carbono:	15.000 toneladas al año



La mina Gabriela Mistral de Codelco está ubicada en la región de Antofagasta. Por su instalación de electroobtención (EW) de alto consumo energético, otorgó una licitación al consorcio chileno-danés Energía Llaima y Sunmark, a quienes se les asignó la responsabilidad de construir, administrar y mantener la planta. Se firmó un acuerdo de PPA por 10 años y el área de terreno para la instalación del proyecto solar fue proporcionada por Codelco. El financiamiento del proyecto se estructuró a través del banco BCI.¹⁸⁸ El proyecto solar Pampa Elvira está compuesto por cerca de 300 paneles solares que cubren 44.000m² y generan 80.000 MWh al año. Cubre el 80% de las necesidades de electricidad de Gabriela Mistral, lo que equivale a 250.000 barriles de diésel que anteriormente tenían que ser transportados para abastecer las instalaciones de electroobtención.¹⁸⁹

Imagen 30: Sistema de energía solar térmica que abastece la mina Gabriela Mistral



Solar térmica

Las tecnologías térmicas solares se pueden dividir en tecnologías concentradas y no concentradas, ambas de interés para el sector minero. La primera se integró en la mina Gabriela Mistral en Chile (cuadro 29) y sirve para reemplazar los calefactores convencionales en su planta de electroobtención, lo que reduce el consumo de diésel. El calor obtenido del sistema de

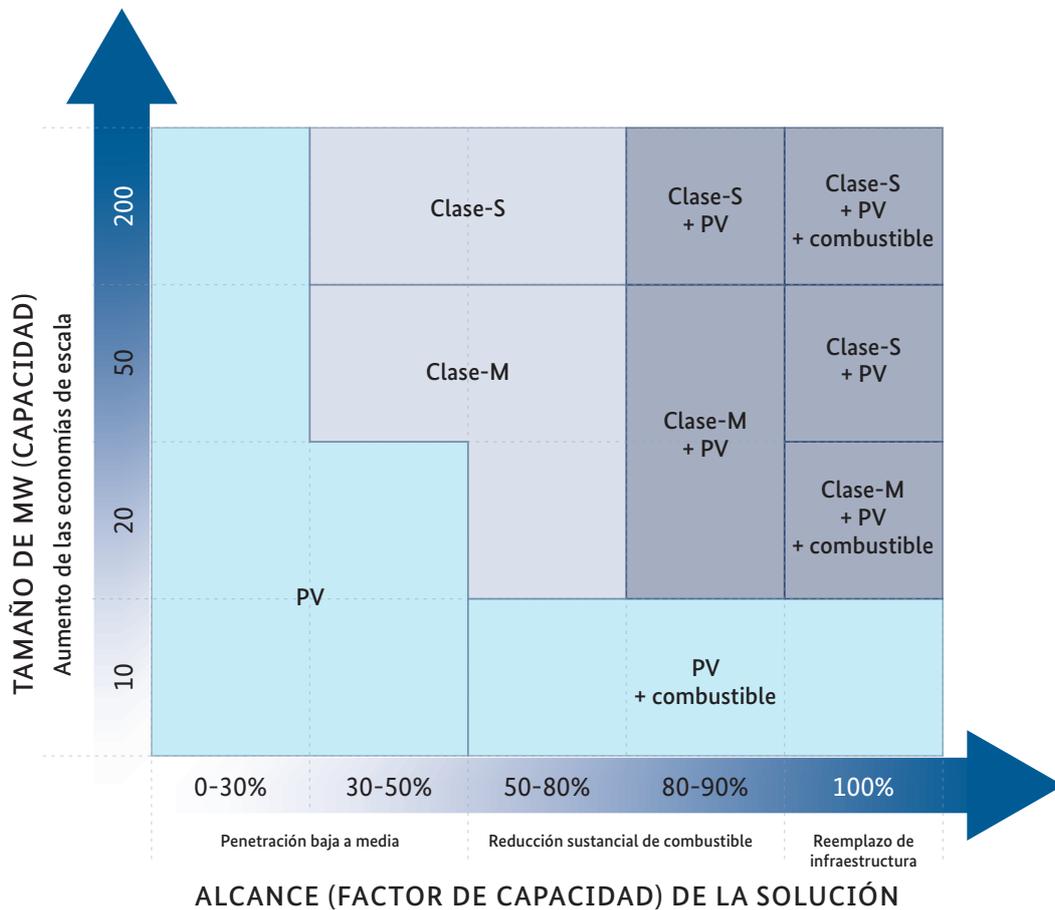
energía solar se transfiere a un tanque de almacenamiento de agua, que luego se bombea al intercambiador de calor de proceso. El tanque de almacenamiento permite que el sistema también funcione durante todas las horas del día. Los generadores de respaldo están preparados en caso de cobertura de nubes (consulte la imagen 30 para ver una ilustración del proceso).

Si bien se pueden alcanzar temperaturas de hasta 150°C con energía solar no concentrada, las temperaturas más altas requieren tecnologías de energía solar concentrada (CSP).¹⁹¹ La generación de electricidad con tecnologías solares concentradas está bien desarrollada y comercializada. En esencia, los rayos del sol son reflejados por los espejos en un receptor, que genera calor que puede ser almacenado o convertido en electricidad. Para el almacenamiento, se utilizan sales fundidas o combustibles que son adecuados para retener el calor.¹⁹²

Actualmente, se están construyendo varias plantas de CSP en regiones intensivas en minería de Chile y Australia para satisfacer la creciente demanda de energía del sector (cuadro 30). También existe el potencial para utilizar esta tecnología para fines de procesamiento metalúrgico, como la descomposición térmica solar de la alúmina, la calcinación de piedra caliza y la magnesia, y la producción de gas de síntesis solar para la reducción directa de óxidos metálicos.¹⁹³

La imagen 31 muestra el potencial de CSP con almacenamiento integrado de energía con sal fundida para aumentar la tasa de penetración de energía renovable en los sitios mineros, con la clase S y la clase M para plantas CSP de diferentes tamaños. Para lograr una tasa de penetración del 100% en un escenario sin conexión a la red, la mina aún requeriría generadores de respaldo basados en combustible.

Imagen 31: Soluciones energéticas para empresas mineras ofrecidas por Solar Reserve



Fuente: Solar Reserve¹⁹⁵

Cuadro 30: Cerro Dominador²⁹⁴

Desarrollador del proyecto solar:	EIG y Abengoa	
Estado de la red:	Conectado a la red	
Capacidad del proyecto solar:	100 MW	
Capacidad del proyecto térmico:	110 MW	
Generación de proyecto:	950 GWh al año	
Operación del proyecto solar:	Se espera para 2019	
Costo del proyecto solar:	US\$ 2,3 millones	
PPA:	15 años	
Ahorro de carbono:	873.000 toneladas de CO₂ anuales	
Operaciones adicionales:	17,5 horas de almacenamiento térmico en sal fundida	

La planta de energía de Cerro Dominador es una de las plantas de energía termosolar más grandes que se están construyendo en América Latina. Con una capacidad instalada total de 210 MW a un costo de US\$ 2,3 mil millones, produce energía a través de dos fuentes principales de energía: energía solar fotovoltaica (PV) y concentrada (CSP); un sistema tecnológico innovador único en la región y en el mundo, en general, debido a sus altos costos de instalación. La instalación cuenta con un almacenamiento térmico de 17,5 horas en sal fundida, que permitirá que la planta funcione las 24 horas del día.

Para su construcción, el Gobierno de Chile, a través de la Comisión Nacional de Energía (CNE), lanzó en 2015 un proceso de adquisición de US\$ 1.000 millones basado en un PPA de 15 años que requiere una capacidad instalada total de 110 MW y una producción mínima de 950 GWh por año. La concesión fue inicialmente otorgada al contratista español Abengoa. Para su financiamiento, el Gobierno de Chile, a través del Ministerio de Energía y la Agencia de Desarrollo Económico de Chile (CORFO), otorgó una subvención de US\$ 20 millones y una concesión gratuita de tierras para la planta, además de un paquete de préstamos de aproximadamente US\$ 500 millones de varios bancos de desarrollo, a saber, el IADB (Banco Interamericano de Desarrollo), el Fondo de Tecnología Limpia, el banco de desarrollo alemán KfW, la Unión Europea y el Fondo Canadiense.

Debido al éxito de la oferta inicial, así como las perspectivas energéticas positivas de la región, Abengoa solicitó permiso para ampliar la capacidad de la central eléctrica a 100 MW adicionales a través de un proyecto de energía fotovoltaica de 392.000 paneles solares, distribuidos en 300 hectáreas. La expansión de US\$ 1,3 mil millones fue aprobada por el gobierno a fines de 2015.

En 2016, EIG compró el 55% de las acciones del proyecto a un costo de US\$ 1,3 mil millones. Gracias a esta adquisición, fue posible atraer fondos adicionales del sector privado, sumando US\$ 638 millones de BBVA, Deutsche Bank, Intesa, Natixis, Santander y Société Générale.

Se espera que el CSP comience a operar en 2019, mientras que la planta fotovoltaica ha estado operando desde 2017 a una capacidad de 62 MW. Una vez que la planta esté en pleno funcionamiento, ayudará a reducir las emisiones de Chile en 873.000 toneladas de CO₂ y suministrará energía limpia a 492.000 hogares.

Uno de los mayores impulsores de este proyecto fue la creciente demanda de energía del sector minero, que fue el mayor consumidor en el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) en 2015.

Almacenamiento por bombeo

Si bien la tecnología de almacenamiento por bombeo no es nueva, se está revisando para abordar el problema de la intermitencia de la generación de las energías renovables. Para que el almacenamiento por bombeo funcione, se necesitan dos depósitos de agua a diferentes niveles de altura que están conectados por una tubería. Cuando se está generando energía por fuentes intermitentes, un generador bombea agua al depósito más alto. Cuando no hay sol ni viento, el agua se libera desde el reservorio más alto y la energía se genera como en una represa hidroeléctrica normal. Los EE.UU. tienen más de 20 GW de capacidad de almacenamiento por bombeo,¹⁹⁶ lo que lo convierte en el componente de almacenamiento de energía más grande del país.¹⁹⁷ Actualmente se están llevando a cabo discusiones sobre si Hoover Dam en Nevada podría convertirse en la “batería” más grande del mundo para ayudar a abordar la inestabilidad resultante de la mayor integración de la energía renovable en la red.¹⁹⁸

También se está investigando cómo integrar las energías renovables en las redes hidroeléctricas para ayudar a abordar la vulnerabilidad de la generación eléctrica con las condiciones hidrológicas cambiantes derivadas de los impactos del cambio climático.¹⁹⁹ Esto puede presentar una oportunidad para que los países ricos en recursos cuenten con una red de energía* con base hidroeléctrica, a la que se puedan conectar las minas. Hay varios ejemplos en los que las empresas mineras han invertido para ampliar la capacidad de la hidroelectricidad y la infraestructura de transmisión cuando el costo de hacerlo es menor que el acuerdo de autogeneración.²⁰¹ Cuando son relevantes y viables, las empresas mineras podrían contribuir a la integración de energía renovable en tales sistemas para reducir riesgos hidrológicos y garantizar su demanda de energía.

Los sitios mineros abandonados también son adecuados para sistemas de almacenamiento por bombeo. Se están realizando estudios para llenar las minas subterráneas con agua y bombearla a los embalses en la superficie.²⁰² El proyecto de energía de almacenamiento por bombeo más avanzado que utiliza dos minas a cielo abierto proviene de Australia (*cuadro 31*).

Hidrógeno

La tecnología del hidrógeno tiene el potencial de sustituir los combustibles líquidos en la maquinaria minera y de ser utilizada como almacenamiento de energía. En combinación con fuentes de energía renovables, el primer paso consiste en convertir la electricidad en hidrógeno a través de la electrólisis. El hidrógeno puede utilizarse para suministrar camiones y sistemas de generación de energía, o almacenarse en tanques para su uso posterior. La ventaja de los sistemas de hidrógeno sobre los camiones que funcionan con baterías es que no requiere largos ciclos de carga, las flotas existentes podrían adaptarse más fácilmente a los sistemas dobles de hidrógeno/diésel, y que el hidrógeno es más adecuado para camiones grandes y pesados. En Chile, CORFO unió fuerzas con una gama de actores del sector privado en el sector minero para desarrollar sistemas de energía solar-hidrógeno e hibridar la flota de camiones mineros.²⁰³ La mina de Raglan proporciona un ejemplo de cómo se puede usar el hidrógeno con fines de almacenamiento (*cuadro 32*). Impala Platinum Holdings Limited también ha invertido en tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible para impulsar sus operaciones en Sudáfrica.²⁰⁴

NOTA

* En África, por ejemplo, las mayores capacidades de generación hidroeléctrica instaladas se encuentran en: Etiopía (2.552 MW), República Democrática del Congo (2.495 MW), Zambia (2.272 MW), Sudáfrica (2.251 MW, almacenamiento por bombeo 1.580 MW), Sudán (2.250 MW), Mozambique (2.187 MW), Nigeria (2.040 MW) y Ghana (1.584 MW).²⁰⁰

Cuadro 31: Proyecto hidroeléctrico de almacenamiento por bombeo Kidston²⁰⁵

Ubicación:	Extremo norte de Queensland
Capacidad del proyecto:	250 MW, 2000 MWh
Duración de la generación:	8 horas
Tiempo de arranque:	<30 segundos



Genex Power está proponiendo el proyecto Kidston y consta de dos fases. La primera fase es una granja solar de 50 MW, que se completó y está suministrando energía renovable a la red. La segunda fase prevé una planta solar de 270 MW con un sistema de almacenamiento por bombeo de 250 MW, la primera de su tipo en Australia. El estudio de factibilidad se completó con éxito y Genex Power espera obtener acuerdos de compra y alcanzar el cierre financiero para fines de 2018. ARENA otorgó una subvención de AUS\$ 4 millones para el estudio de factibilidad técnica y también proporcionará una subvención a la segunda etapa del proyecto, que se estima que costará alrededor de AUS\$ 740 millones.²⁰⁶

El sistema de almacenamiento por bombeo utilizará dos pozos de una antigua mina de oro que fue una de las más grandes de Australia durante más de 100 años. Barrick cerró la mina y la puso bajo cuidado y mantenimiento en 2001. Los dos pozos se llenaron de agua y gran parte de la infraestructura de la mina todavía está instalada, incluida la conexión de transmisión a la red. Además, el terreno plano de la instalación de relaves que se había rehabilitado es adecuado para la instalación solar y no requiere desmonte del terreno.²⁰⁷ Estas características del sitio contribuyeron al éxito del estudio de factibilidad.



Cuadro 32: Mina Ranglan de Glencore

Ubicación:	Cape Smith Belt, Nunavik, Quebec
Propiedad de la mina:	Glencore
Estado de la red:	Conectado a la red
Tamaño del proyecto eólico:	3 MW
Puesta en marcha del proyecto eólico:	2014
Costo del proyecto eólico:	C\$ 22 millones
Desarrollador del proyecto eólico:	TUGLIQ
Ahorros en diésel:	2,4 millones de litros



Contexto: la mina Raglan es un gran complejo minero subterráneo de níquel y cobre ubicado en la región ártica de Canadá. Comenzó su producción en 1997 y todavía tiene reservas por al menos otro cuarto de siglo.

Proyecto energético: En 2014, Tugliq, un proveedor de soluciones energéticas llave en mano, se asoció con la mina Raglan para instalar y operar un sistema de energía eólica/de hidrógeno de C\$ 22 millones. El proyecto es innovador ya que está piloteando tecnologías de almacenamiento y un sistema de control avanzado en condiciones árticas. Esta región sin conexión a la red ha sido impulsada por la generación a partir de diésel con una industria que paga entre C\$ 0,25 y C\$ 0,60/kWh.

En la mina Raglan, la energía representa entre el 13% y el 18% de los costos operativos de la mina.²⁰⁸

El proyecto primero instaló un aerogenerador de 3 MW con un sistema de almacenamiento de tres niveles. A lo largo de los 20 años de vida útil del aerogenerador, el proyecto apunta a lograr un ahorro de aproximadamente C\$41 millones en combustible, operación y mantenimiento en comparación con la solución únicamente con diésel.²⁰⁹

La arquitectura de almacenamiento de tres niveles se compone de un volante de almacenamiento de tránsito rápido para filtrar grandes variaciones de energía eólica en períodos cortos, un almacenamiento de batería de litio a corto plazo para poner en marcha generadores diésel o pilas de combustible para respaldo de transición, y un almacenamiento de pilas de combustible de hidrógeno para minimizar la pérdida de energía eólica durante períodos más prolongados y capturar energía que, de lo contrario, se perdería.²¹⁰

Esta arquitectura minimiza el desgaste de los generadores diésel de respaldo y las reservas giratorias de diésel. Además, captura los residuos del viento que se producen durante condiciones de viento excesivo, cuando el viento es mayor que la carga.²¹¹ En el futuro, la solución de almacenamiento de hidrógeno puede permitir el uso de hidrógeno para la flota de camiones, lo que ahorraría diésel adicional.²¹²

Se está instalando una segunda turbina eólica de 3 MW con el objetivo final de construir un parque eólico de 9 MW–12 MW.²¹³ Su sistema de almacenamiento solo se basará en una batería de litio. El objetivo es alcanzar un 15–20% de penetración de energías renovables.

El proyecto es un benefactor de subvenciones del gobierno federal y provincial de Canadá, incluidas las subvenciones que fomentan los esfuerzos de investigación y desarrollo para las energías renovables en los sitios mineros.²¹⁴ Tiene como objetivo transferir el conocimiento de esta investigación a las comunidades y los gobiernos locales para asegurar un despliegue más rápido de la energía eólica en el ártico.²¹⁵

3.1.5. Energía solar modular

Como se destaca en la parte 2 sobre los obstáculos, una de las principales dificultades para la integración de la energía renovable en la minería es el compromiso de tiempo limitado por el que las compañías mineras están preparadas para firmar un PPA. Además, satisfacer las necesidades de la fase de exploración requiere una solución de energía móvil, ya que la fase es relativamente corta y no hay garantía de encontrar una cantidad suficiente de depósitos minerales valiosos para justificar el establecimiento de soluciones de energía costosas.²¹⁶ En este contexto, el creciente desarrollo de soluciones de energía solar y eólica semi-portátiles y flexibles es atractivo para el sector minero. La duración del PPA se puede acortar y los sistemas se pueden volver a implementar si el PPA no se renueva. Las energías renovables modulares también muestran beneficios ambientales que las hacen rentables porque "se necesitan menos recursos, se debe transportar menos material a los sitios remotos y, al dismantelar los sistemas, el impacto también se minimiza".²¹⁷ SunShifT ha liderado el mercado solar modular (*cuadro 33*)*

NOTA

- * Un obstáculo que sigue existiendo a medida que las tecnologías solares continúan desarrollándose rápidamente es que las empresas pueden preferir invertir en nuevas tecnologías en lugar de invertir en un sistema de energía solar reubicado más antiguo y menos eficiente.



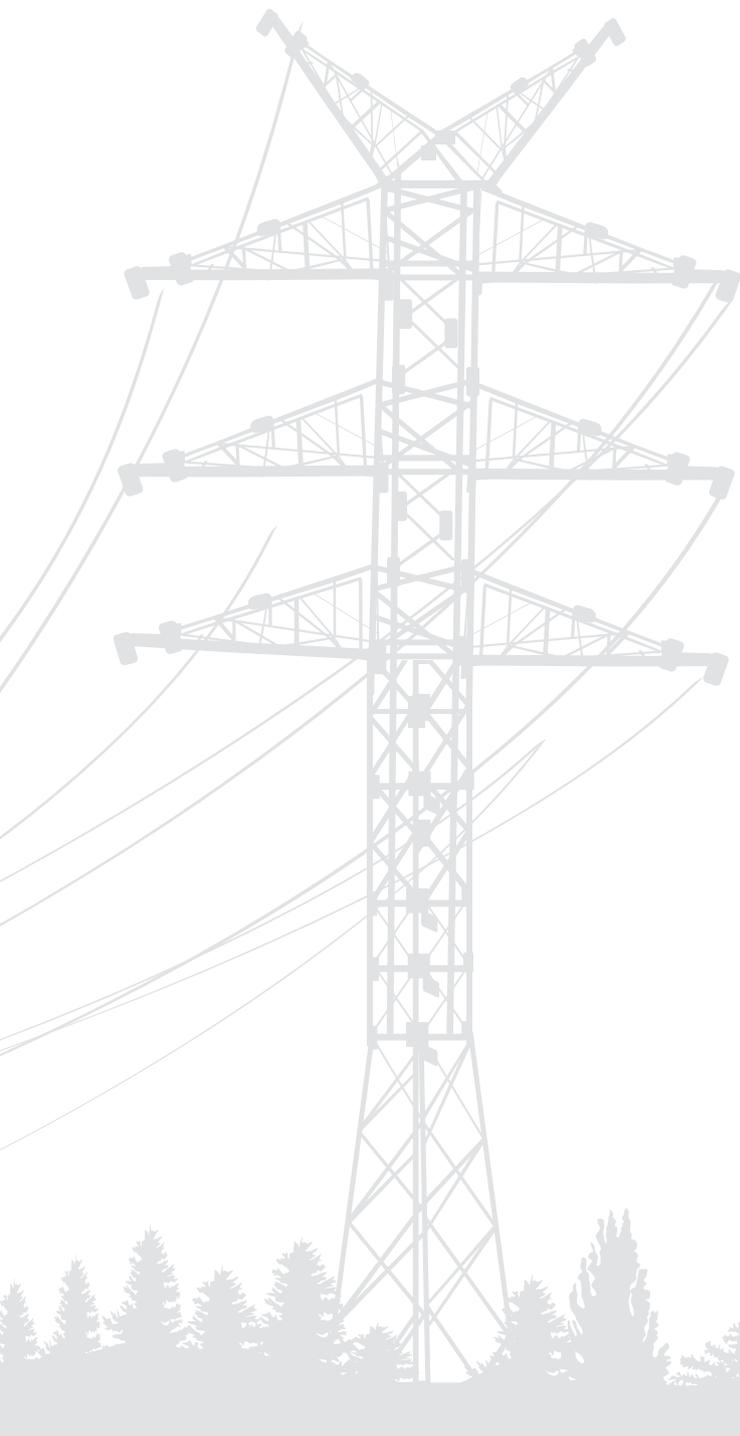
3.1.6. Blockchain – Cadena de bloques

La tecnología de *blockchain* ayuda a rastrear la información al proporcionar transacciones con un código único que es rastreable. Esto tiene el potencial de aumentar la transparencia y hacer que el comercio sea más fácil y más seguro. Dentro del sector energético, la cadena de bloques permite a los usuarios rastrear quién produce y quién consume electricidad, siempre que se utilicen medidores inteligentes, los llamados "oráculos". Esto puede ser particularmente útil para acelerar los sistemas de energía descentralizados, ya que facilitará el seguimiento de los pagos a productores y consumidores, o la administración de activos digitales.

Si bien esta tecnología tiene beneficios limitados en el modelo de autogeneración sin conexión a la red, podría desempeñar una función en la proliferación de PPA virtuales con conexión a la red, ya que será más fácil y más transparente para rastrear las fuentes y los pagos. En el caso de que la energía también se venda a las comunidades cercanas a través de una micro-red, los miembros de la comunidad con componentes de almacenamiento y generación a pequeña escala (por ejemplo, vehículos eléctricos) también podrían potencialmente vender energía al proyecto minero durante tiempos de bajo consumo, creando así nuevos mercados y permitiendo nuevas formas de suministro de electricidad.

Otro uso potencial de la cadena de bloques, relacionado con las empresas mineras, es su aplicación para trazar minerales "verdes" (*consulte la Sección 3.1.6*).

A medida que la tecnología de cadena de bloques madura, se necesita más investigación para comprender su potencial para resolver los problemas tratados en este informe.



Cuadro 33: Solución solar modular de SunShifT

SunShifT es una tecnología de generación de energía solar prefabricada, modular y móvil, diseñada para abordar los desafíos de la minería sin conexión a la red. El concepto fue concebido originalmente en 2013 por la empresa de ingeniería, adquisiciones y construcción global Laing O'Rourke, con sede en el Reino Unido. El concepto fue presentado a la Agencia de energía renovable australiana (ARENA) en marzo de 2014, que otorgó una subvención de US\$ 410.000 para financiar el estudio de factibilidad inicial de una central híbrida solar-diesel.²¹⁸ ARENA proporcionó fondos adicionales durante las etapas de prueba y piloteo.²¹⁹

Después de una exitosa etapa de piloteo, ARENA comprometió AUS\$ 2,1 millones, respaldando una implementación de prueba de un bloque de 1 MW de SunShifT en la región de Hunter de Nueva Gales del Sur en abril de 2017. Para desarrollar las soluciones híbridas modulares, varios socios trabajaron juntos, entre ellos el fabricante fotovoltaico SunPower Corp., con sede en EE. UU., la empresa de tecnología industrial sueco-suiza ABB y la subsidiaria de Laing O'Rourke, Select Plant, que administra más de 200 generadores diésel en Australia.

Integración minera: SunShifT está trabajando con New Century Resources para implementar un proyecto solar de 120 kW para la mina a cielo abierto de la empresa, Century, y el sitio de procesamiento en el noroeste de Queensland. El acuerdo de precio de la energía se ha mantenido por debajo de los AUS\$ 120/MWh con un PPA flexible.²²⁰ Este costo representa un ahorro significativo en comparación con los AUS\$ 400/MWh que la mina paga por la energía generada por diésel.²²¹

En asociación con South32, SunShifT planea desarrollar una instalación de 3 MW en la mina de zinc, plomo y plata de Cannington en Queensland. El exceso de energía del proyecto solar, que principalmente proporcionará energía al pueblo y al aeropuerto, suministrará al área de procesamiento y las operaciones de la mina.²²² La instalación en Cannington marca el primer proyecto minero de energía solar sin conexión a la red que se integra con una central eléctrica de gas y será el proyecto solar redesplegable más grande del mundo. Reducirá de 4.000 a 6.000 toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero por año.²²³

Beneficios:

1. SunShifT ha reducido el riesgo de activos "varados" asociado con las instalaciones solares permanentes al ser propietario de los paneles y poder reubicarlos en caso de que una operación minera deje de funcionar.
2. Al poder volver a desplegar los paneles solares, SunShifT puede reducir la duración del PPA, lo que hace que la energía solar sea competitiva con los generadores diésel para las operaciones mineras que no pueden o no quieren comprometerse con PPA más largos. Los PPA tienen un mandato mínimo de cuatro años para ayudar a asegurar el financiamiento del proyecto, pero los contratos contienen una cláusula de rescisión que permite a los proyectos mineros terminar el PPA en circunstancias especiales (por ejemplo, si se agotan las reservas).²²⁴
3. Los paneles prediseñados y prefabricados eléctricamente de SunShifT ofrecen reducciones significativas en el tiempo y los costos de desarrollo. Particularmente en entornos de alto costo de mano de obra como Australia, esto ofrece un sistema más económico y de menor costo en comparación con las instalaciones permanentes.
4. Las soluciones de SunShifT, ofrecidas en módulos de 2 kW que se construyen en bloques de 1 MW, se pueden integrar fácilmente con generadores diésel y almacenamiento de energía. Esto proporciona flexibilidad y opciones de integración de energía renovable incrementales a las empresas mineras.²²⁵

Cuadro 34: ARENA

ARENA fue establecida por el gobierno federal australiano en julio de 2012 con el objetivo de apoyar la comercialización de soluciones innovadoras de energía renovable y aumentar su posición competitiva y su despliegue en todo el país. ARENA busca respaldar proyectos que requieren una combinación de financiamiento de fuentes comerciales y no comerciales.²²⁷ El objetivo de la agencia es ayudar a superar las barreras desde el desarrollo en etapa temprana hasta el despliegue comercial. A través del apoyo a la investigación, el desarrollo y los proyectos piloto, ARENA proporciona asistencia que ayuda a eliminar riesgos de tecnologías emergentes e innovadoras.²²⁸ Para lograr estos objetivos, la agencia brinda:

- Financiamiento, en forma de subvenciones, a proyectos innovadores y en fase de prueba, tecnologías y empresas emergentes que tienen dificultades para acceder al capital.
- Apoyo en investigación y desarrollo.
- Conocimiento e intercambio de información sobre tecnologías y prácticas recomendadas.
- Asesoramiento al gobierno y sensibilización pública sobre las energías renovables.

Inicialmente, a la agencia se le asignaron 2.500 millones de dólares australianos hasta 2022. También heredó alrededor de 1.000 millones de dólares australianos cuando asumió la responsabilidad del Centro Australiano de Energía Renovable. A pesar de su exposición a los cambiantes regímenes políticos,²²⁹ ARENA ha supervisado 320 proyectos con más de AUS\$ 3,5 mil millones en inversiones en los últimos seis años.²³⁰

El apoyo de ARENA para proyectos de energía renovable que alimentan minas incluye:

- La entrega de AUS\$ 11,3 millones en fondos para la instalación fotovoltaica de 6,7 MW de First Solar en la mina de bauxita Weipa, de Río Tinto, en Queensland en 2014.^{231, 232}
- La entrega de una subvención recuperable de AUS\$ 2,1 millones en 2017 para exhibir una instalación de tecnología de 1 MW de SunShifT, la compañía que es pionera en módulos solares portátiles homónimos (consulte el caso de estudio de SunShifT).
- La entrega de AUS\$ 20,9 millones en subvenciones recuperables para un proyecto solar de 10,6 MW y 6 MW de almacenamiento de energía en la mina de cobre DeGrussa de Sandfire Resources (consulte el estudio de caso de DeGrussa).^{233, 234}
- La creación de una guía, que se publicará en 2018, que explora las prácticas recomendadas para desarrollar proyectos renovables en los sitios mineros, desde la evaluación del sitio y la recopilación de datos, hasta la negociación del acuerdo de compra de energía y el logro del cierre financiero.

Cuadro 35: El modelo A-B-C²³⁷

El modelo a (ancla) – b (negocio) – c (comunidad) prevé que un cliente grande, confiable y solvente garantice la compra de electricidad para que un proyecto de energía sea viable para un IPP. Estos pueden incluir proyectos en los sectores de minería, turismo, agricultura y telecomunicaciones. Por ejemplo, hay un estimado de 150.000 torres móviles en África que, a menudo, están ubicadas en áreas sin conexión a la red y que requieren acceso eléctrico. A través de este cliente principal, se vuelve viable para el IPP construir la central de energía con una mayor capacidad y también abastecer a las empresas y comunidades circundantes, mejorando así la productividad y el desarrollo local. El IPP se beneficia de la apertura de nuevos segmentos de mercado y la reducción del riesgo a través de una carga de anclaje del sector. El cliente ancla se beneficia de menores costos de energía y el potencial para respaldar su licencia social para operar en la región. GIZ ha realizado proyectos piloto de esta naturaleza en el este de África y ha ayudado a estructurar asociaciones financieras. La Corporación de Inversión Alemana (DGG) puede respaldar estos proyectos a través de financiamiento, particularmente si utilizan fuentes de energía renovable.

3.2. Experiencia

3.2.1 Sector privado

Un número creciente de compañías mineras están integrando energías renovables en sus operaciones mineras y están adquiriendo experiencia y conocimientos. Los IPP también están mejorando su conocimiento sobre las especificidades del sector minero que deben considerar al ofrecer soluciones de energía renovable. Estas experiencias, especialmente cuando comienzan a generar beneficios comerciales para las compañías mineras, impulsarán aún más la integración de energías renovable en los sitios mineros y desempeñarán un papel clave en el aumento de las tasas de penetración de estas energías.

3.2.2. Gobiernos y ONG

Las agencias gubernamentales y las organizaciones sin fines de lucro están trabajando para aumentar la confianza de los inversores y las empresas mineras en las energías renovables. Estas organizaciones comparten experiencias entre empresas y proporcionan contribuciones financieras para proyectos de investigación y desarrollo, y proyectos piloto. Por parte del gobierno, particularmente ARENA en Australia, se ha impulsado la integración de la energía renovable en el sector minero (cuadro 34).

El Rocky Mountain Institute (RMI) ha estado apoyando la integración de energías renovables en los sitios mineros a través de su programa Sunshine for Mines. Es responsable de respaldar y publicar los resultados de uno de los proyectos de integración renovable anteriores en la mina Thabazimbi de Cronimet (cuadro 27). El RMI continúa desarrollando herramientas e información para respaldar la adopción de energías renovables por parte de la industria minera, trabajando directamente con las empresas mineras y los IPP, ayudando con los estu-

dios de detección de energías renovables, optimizando los estudios de factibilidad y el compromiso con el mercado.²²⁶

3.2.3. Donantes

Los donantes también han acumulado experiencia ayudando a los gobiernos a diseñar políticas habilitadoras y adquirir energías renovables. La imagen 32 destaca algunos de los mecanismos que los donantes pueden usar para desbloquear aún más las energías renovables.²³⁵

Los proyectos de los donantes para apoyar los proyectos de energía renovable son abundantes. GIZ, por ejemplo, ha sido un socio del Gobierno de Chile desde hace mucho tiempo en el respaldo de sus políticas de energía renovable con los proyectos de financiamiento del Banco Alemán de Desarrollo (KfW) que hoy suministran a proyectos mineros (consulte el cuadro 37). Además, GIZ ha apoyado proyectos de electrificación rural en países en desarrollo que tienen como objetivo aprovechar a los consumidores ancla para electrificar a las empresas y comunidades circundantes (consulte el cuadro 35).

Otro ejemplo es el proyecto Scaling Solar del Grupo del Banco Mundial (cuadro 36), que se ha configurado para ayudar a los gobiernos a reducir los programas de adquisición de energía para los IPP solares. Ha tenido éxito en atraer a los mejores desarrolladores a precios competitivos en jurisdicciones que se consideran riesgosas. Además de apoyar la reforma legal que estimulará las inversiones en energías renovables, el aprendizaje cruzado de estos programas también puede ayudar a las empresas mineras a eliminar riesgos en proyectos de energía renovable.

Imagen 32: Políticas, herramientas e instrumentos que reducen barreras y mitigan riesgos



Cuadro 36: Scaling Solar

Scaling Solar es un programa desarrollado en 2015 por el grupo del Banco Mundial y administrado por la Corporación Financiera Internacional (IFC). El objetivo principal del programa es crear proyectos de energía solar rentables en mercados emergentes, particularmente en África.

A pesar de las muchas oportunidades que existen en los mercados emergentes para el desarrollo de proyectos de energía solar (estimaciones de 1,2 GW solo en los países de Zambia, Senegal, Etiopía y Madagascar), la iniciativa Scaling Solar (SSI) ha identificado una serie de desafíos que deben superarse para aprovechar con éxito las oportunidades de energía renovable en las economías en desarrollo. Entre los desafíos más destacados identificados por el programa se incluyen (1) la capacidad institucional limitada para administrar una concesión de energía renovable; (2) la falta de financiamiento para proyectos de gran escala; (3) la falta de competencia en el mercado energético; (4) los altos costos de transacción; y (5) la percepción de alto riesgo.²³⁸

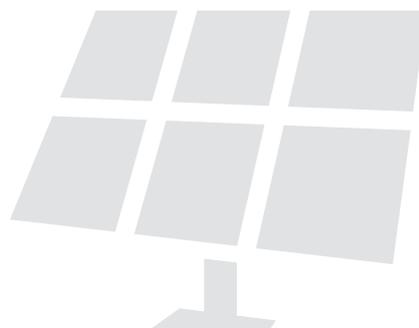
Para superar estos desafíos, la iniciativa Scaling Solar es una "ventanilla única" donde los gobiernos pueden obtener asesoramiento sobre las negociaciones con empresas de energías renovables, ayudar con la gestión de los procesos de licitación para garantizar una participación activa y amplia que garantice el mejor resultado posible y servir como intermediario para eliminar riesgos de los proyectos.²³⁹

El programa está diseñado para funcionar dentro de dos años después de que un país solicite asistencia y se le otorgue apoyo. Para este propósito, el proceso se divide en tres fases con cinco pasos fundamentales. Durante la primera fase (ocho meses), la IFC apoyará al gobierno anfitrión en la administración del proceso de adquisición, incluidos los preparativos técnicos y legales, así como los estudios de factibilidad; trabajará en la preparación y lanzamiento de la oferta, y ayudará a asignar el ganador. Durante la segunda fase (seis meses), el programa apoyará al postor ganador y al gobierno con la gestión financiera del proyecto, como ayudar en la finalización del contrato, las cuestiones de seguros y la transferencia del préstamo. Durante la fase final (10 meses), el adjudicatario es el encargado de llevar a cabo la construcción y las operaciones de la planta solar.²⁴⁰

Una de las experiencias más positivas del programa ha sido en Zambia, que fue el primer país donde se ejecutó un proyecto Scaling Solar. Tras la crisis energética de 2015, el programa atrajo a 48 empresas. De estas, 11 empresas precalificaron para desarrollar el proyecto fotovoltaico solar a escala de utilidad de 2x50 MW iniciales en la primera ronda, de un objetivo total de 600 MW.²⁴¹

Neoen/First Solar fue el adjudicatario. Para desarrollar el proyecto de US\$ 40 millones, la IFC, IFC-Canadá y la Corporación para Inversiones Privadas en el Extranjero acordaron tres préstamos preferentes.²⁴² Gracias a esta asociación, fue posible construir una instalación de 47,5 MW que proporcionará energía limpia y estable a un precio fijo para los próximos 25 años de US\$ 0,015/kWh, el precio más bajo registrado en el África Subsahariana en ese momento.²⁴³ Además, debido al éxito de este proyecto, se lanzó un segundo proceso de licitación en Zambia para una planta adicional de 180 MW.

Desde que la primera planta en Zambia tuvo su fecha de finalización en septiembre de 2018, el impacto del proyecto aún está por verse y también ha sido un tema de escrutinio. Varios inversores han señalado que el bajo precio de venta de la energía puede ser un desincentivo importante para futuras inversiones en otros proyectos.



3.3. Financiación

3.3.1. PPA corporativos

La financiación para IPP renovables sigue siendo la mayor restricción, especialmente en los países en desarrollo donde el régimen regulatorio aún no está adaptado a las energías renovables y donde los riesgos percibidos son mayores.²⁴⁴ Sin embargo, hay tendencias positivas cuando se analizan los desarrollos de los PPA corporativos. El sector bancario está aprendiendo a reunir soluciones de financiamiento para respaldar los PPA renovables. Se ha desarrollado una amplia gama de formularios de PPA para adaptarse a diferentes especificidades y riesgos del proyecto. Esto ha llevado a un aumento en el volumen de PPA corporativos en los últimos años (*imagen 33*).

Además, se han desarrollado “plataformas de coincidencia” para facilitar a los vendedores de energía renovable encontrar compradores (*Tabla 5*). Estas plataformas también podrían impulsar la estandarización de PPA y, por lo tanto, la velocidad de las transacciones.²⁴⁵

3.3.2. Seguro

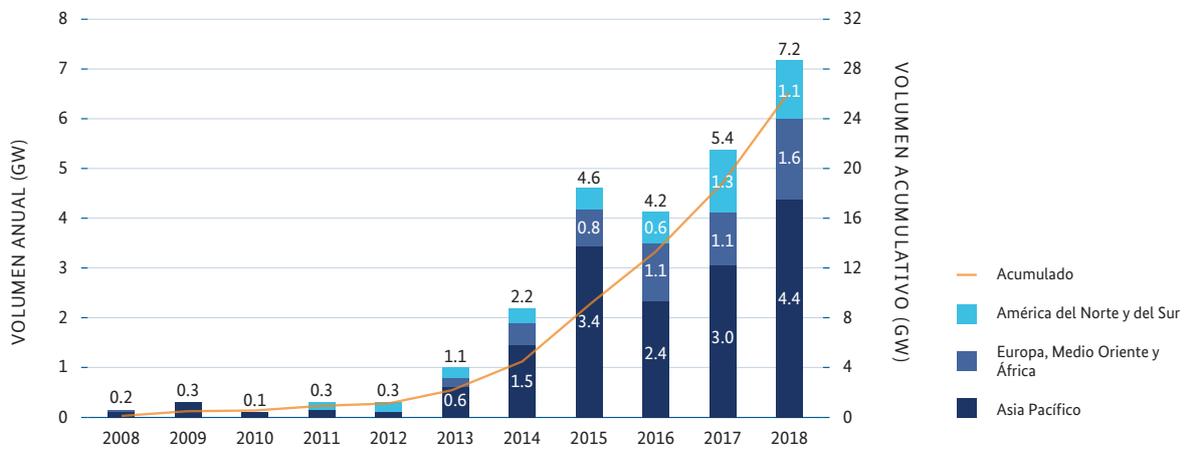
Los productos de aseguramiento han surgido para ayudar a proteger a los compradores corporativos contra eventos imprevistos. Se han identificado más de 80 riesgos que las compañías de seguros han desarrollado para apoyar proyectos de energía renovable.²⁴⁶

El acceso al capital se percibe como el riesgo más alto en proyectos de energías renovables y los seguros son la herramienta más utilizada para transferir este riesgo a terceros.²⁴⁷ Por ejemplo, el parque eólico de 105 MW en Maevaara, Suecia, estaba cubierto por Allianz, que proporcionó los préstamos para que OX2 construyera el parque eólico y se hizo cargo de la propiedad del proyecto una vez finalizado. Se firmó un PPA de 10 años entre Allianz y Google, que era el responsable corporativo (*consulte el cuadro 24*).²⁴⁸

Munich Re ha desarrollado productos de aseguramiento para el segundo mayor riesgo asociado con nuevos proyectos de proyectos de energía renovable, es decir, para la protección contra fallas técnicas en proyectos de energía renovable en tierra, así como seguros específicos para el rendimiento operativo solar y la eficiencia energética. Estos productos ofrecen una compensación de 5 años en caso de rendimiento insuficiente o déficit, fallas de tecnología, y responsabilidades de terceros.²⁵¹ FM Global Insurance se ha especializado en mitigar las externalidades negativas, que se perciben como el tercer riesgo más alto asociado con los proyectos de energía renovable.²⁵²



Imagen 33: PPA corporativo



Fuente: Bloomberg NEF²⁴⁹

Tabla 5: Plataformas coincidentes

	Proyectos conectados a la red
Plataforma Re-Source	Lanzada en 2017 por SolarPower Europe, WindEurope, RE100 y WBCSD, la plataforma Re-Source es una alianza europea de partes interesadas que representan a compradores y proveedores de energía limpia para el abastecimiento corporativo de energía renovable. Esta plataforma reúne recursos y coordina actividades para promover un mejor marco para el abastecimiento corporativo de energía renovable a nivel nacional y de la Unión Europea.
Alianza de Compradores de Energías Renovables (REBA)	Es administrada por el Fondo Mundial para la Naturaleza, el Instituto de Recursos Mundiales, el Rocky Mountain Institute y Business for Social Responsibility, que trabaja con clientes, proveedores y responsables de la formulación de políticas para identificar las barreras para comprar energía limpia y renovable y, luego, desarrollar soluciones que satisfagan la demanda voluntaria en rápido crecimiento.
Energy Web Foundation	Fundado por el Rocky Mountain Institute y Grid Singularity, este grupo no está enfocado directamente en los PPA corporativos, pero representa la forma en que la tecnología de Blockchain puede crear innovaciones en el comercio de energía que respaldarán nuevos modelos para reunir a generadores y usuarios.
Empresa Cooperativa de Consumo de Electricidad Verde (GECCO)	Lanzada en junio de 2017, esta colaboración entre desarrolladores y compradores corporativos en China proporciona una plataforma de intercambio para facilitar el comercio de nuevos certificados de electricidad verde (GEC) y para fomentar la inversión en nuevos proyectos de energía renovable.
Red New Energy Opportunities (NEO)	Creada por Schneider Electric, esta plataforma en línea de colaboración conecta a compradores corporativos con proyectos viables, desarrolladores y proveedores de tecnología, así como a afiliados, tales como inversionistas y bufetes de abogados.
Powerbloks	Edison Energy ofrece Powerbloks a sus clientes corporativos, un PPA a corto plazo (10 años) ejecutado en incrementos de 10 MW como alternativa. Su objetivo es proporcionar accesibilidad a empresas medianas y grandes con menores requisitos de carga.
PowerX	Este es un distribuidor en Sudáfrica que compra energía renovable a productores de energía independientes y la vende directamente a compradores corporativos. Actúa como un conducto entre el comprador y el vendedor, asumiendo y administrando activamente los riesgos que no pueden asumir o mitigándolos él mismo, facilitando así los acuerdos de PPA corporativos que, de otro modo, no serían viables.

Fuente: WBCSD²⁵⁰

3.3.3. Instituciones financieras para el desarrollo

Las DFI pueden cumplir una función en la eliminación de riesgos del financiamiento de energía renovable al ofrecer “plazos más prolongados, deuda asequible, acceso gubernamental, diferentes perfiles de riesgo y estructuras de financiamiento cada vez más flexibles, incluido el tipo de deuda mezzanine”.²⁵³ Esto las convierte en actores clave en el apoyo al despliegue de energía renovable, particularmente en países en desarrollo donde el riesgo percibido es mayor. Para proyectos renovables conectados a la red, las DFI han financiado varias centrales eléctricas de gran escala

vinculadas a proyectos mineros. Por ejemplo, en el norte de Chile, donde la industria minera es el principal comprador de energía, que representa el 33% del consumo total de energía,²⁵⁴ DFI han financiado varios proyectos: La central eléctrica de 100 MW de Amanecer Solar CAP fue cofinanciada por IFC (*cuadro 37*). El Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Alemán de Desarrollo KfW y la Unión Europea ayudaron a financiar la planta de energía solar concentrada (CSP) de 110 MW en Cerro Dominador, que es propiedad de Antofagasta Minerals (*cuadro 30*).

Cuadro 37: Amanecer Solar CAP

Ubicación:	Comuna de Copiapó, Atacama, Chile	
Compañía minera:	Grupo CAP S.A.	
Desarrollador del proyecto solar:	SunEdison Chile*	
Principales fuentes de financiación:	En 2013, SunEdison logró un acuerdo de financiación de deuda sin recurso de US \$ 212,5 millones con IFC y la Corporación para Inversiones Privadas en el Extranjero (OPIC). El banco holandés Rabobank también estuvo involucrado.	
Estado de la red:	Conectado a la red	
Capacidad del proyecto solar:	94 MW (suministro del 15% de la demanda energética del grupo)	
Generación de proyecto solar:	2270 GWh al año	
Operación del proyecto solar:	2014 (fecha de terminación)	
Costo del proyecto solar:	US\$ 241 millones	
Vida útil del proyecto solar:	25 años	
Ahorros en diésel:	71 millones de litros de diésel anuales	
Ahorro de carbono:	135.000 toneladas de CO ₂ anuales	

Contexto: Compañía de Acero del Pacífico (CAP) S.A. es el mayor grupo minero siderúrgico de Chile. Está compuesto por tres subsidiarias principales: CAP Minería (minería de mineral de hierro), CAP Acero y Novacero (producción de acero), a través de la cual producen el 99% del acero que se exporta y abastecen el 97% de la demanda local.²⁵⁶ Además, son también uno de los mayores poseedores de infraestructura portuaria del país, con un total de seis puertos distribuidos a lo largo de la costa de Chile.²⁵⁷

Proyecto solar: la demanda de energía de CAP es de 1.800 GW/h al año.²⁵⁸ Sobre esta base y dado que sus acuerdos de compra de energía originales en la región de Atacama expirarían en 2015, la compañía comenzó en 2012 la búsqueda de nuevas fuentes de energía para abastecer sus operaciones. CAP contrató los servicios de ASSET Chile para ubicar nuevas fuentes de energía dentro de la red de la región central (SIC), que se caracteriza por la falta de proyectos energéticos generales y una infraestructura de transmisión limitada. Con el apoyo de ASSET, CAP estableció una sociedad con la planta de energía termoeléctrica Guacolda, ubicada en la provincia de Huasco, así como con SunEdison, para construir una planta de energía fotovoltaica de 100 MW. Estos dos proyectos garantizarían 218 MW de suministro de energía a un precio estable. Se construyó una línea de transición de 9 Km para conectar la red norte de 220 kV Cardones-Cerro Negro a la red de transmisión principal de SIC.²⁵⁹

A través de la asociación con SunEdison Chile, que se aseguró a través de un PPA de 20 años para construir y operar la planta, el proyecto pudo acceder a un acuerdo de financiamiento de US \$ 212,5 millones con IFC y la Corporación para Inversiones Privadas en el Extranjero (OPIC),²⁶⁰ aportando US\$ 65 millones y US\$ 147,5 millones respectivamente. El apoyo de la OPIC y la IFC fue fundamental, ya que brindó seguridad a los inversionistas en los proyectos, y las bajas tasas de interés de los préstamos permitieron que el precio de la energía fuera competitivo.²⁶¹

La planta ayudará a cubrir el 90% de la necesidad energética de la mina Cerro Negro Norte de CAP, un proyecto de US\$ 1.200 millones que aumentará la producción de hierro en 4 millones de toneladas. Además, la producción se gestionará con 100% de agua de mar a través de una planta de desalinización en el lugar.²⁶² En palabras del vicepresidente de la IFC para África Subsahariana, América Latina y el Caribe: “Este proyecto demuestra que, con los patrocinadores adecuados, el entorno doméstico y los financieros, el financiamiento de la deuda se ha convertido en una opción viable para las plantas solares comerciales. El apoyo de la IFC es una continuación de nuestra estrategia para promover soluciones de energías renovables comercialmente competitivas en Chile y en la región en general”.²⁶³

NOTA

* Mientras que la empresa estadounidense SunEdison se declaró en quiebra en los Estados Unidos y vendió muchos de los activos chilenos a la compañía eléctrica Colbún, por el momento todavía está operando este pro-

yecto. Sin embargo, existe un arbitraje entre CAP y SunEdison tras una acusación de CAP de que los paneles son de baja calidad.²⁵⁵

Como resultado de que los inversionistas públicos y privados se familiaricen más con los proyectos de energía renovable y el número creciente de mecanismos de mitigación de riesgos disponibles, el costo de capital para los proyectos renovables ha disminuido para las minas conectadas a la red: las tasas de capital están ahora en el rango de 5–10%, donde solían estar en el rango de 10–15%.²⁶⁴ Según ARENA, la misma evolución está ocurriendo para las minas sin conexión a la red, pero a una tasa menor.

Este desarrollo podría atraer aún más a los inversores institucionales, como los fondos de pensiones, los fondos soberanos y los gestores de activos privados internacionales, al campo de las energías renovables. Si bien su contribución a la inversión total en energías renovables es limitada (menos del 1% a partir de 2016)*, existe la expectativa de que esta contribución aumentará a medida que un número creciente de ellos se desprenda de los combustibles fósiles, liberando capital a largo plazo.²⁶⁷ BNP Paribas, por ejemplo, anuncia que ya no hará negocios con compañías cuya actividad comercial principal esté relacionada con los combustibles fósiles y aumentará su financiamiento total para proyectos de energía renovable a 15.000 millones de euros hasta 2020.²⁶⁸

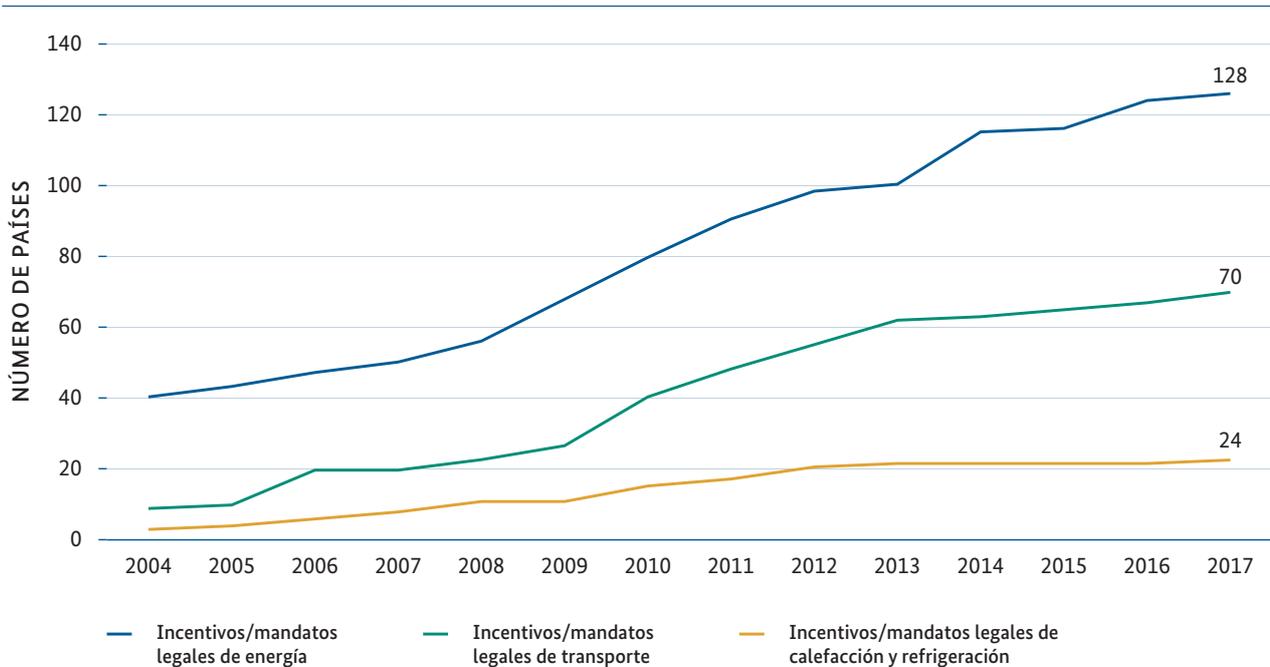
3.4. Regulación

3.4.1. Políticas de energías renovables

La *imagen 34* destaca que los gobiernos de todo el mundo están implementando cada vez más regulaciones para respaldar el despliegue de energía renovable. Mientras que, en 2007, solo 50 países tenían regulaciones e incentivos para este tipo de energía, esto aumentó a 128 países en 2017. Además, más de 150 países tenían objetivos relacionados con la energía renovable a nivel nacional.²⁶⁹

Además de los objetivos y regulaciones, los gobiernos también han implementado incentivos financieros y fiscales que hacen que las energías renovables sean más atractivas. La *imagen 35* muestra que un número creciente de países ha utilizado los créditos de inversión, las exenciones fiscales y las inversiones públicas.

Imagen 34: Número de países con políticas regulatorias de energías renovables



Fuente: REN21²⁷¹

NOTA

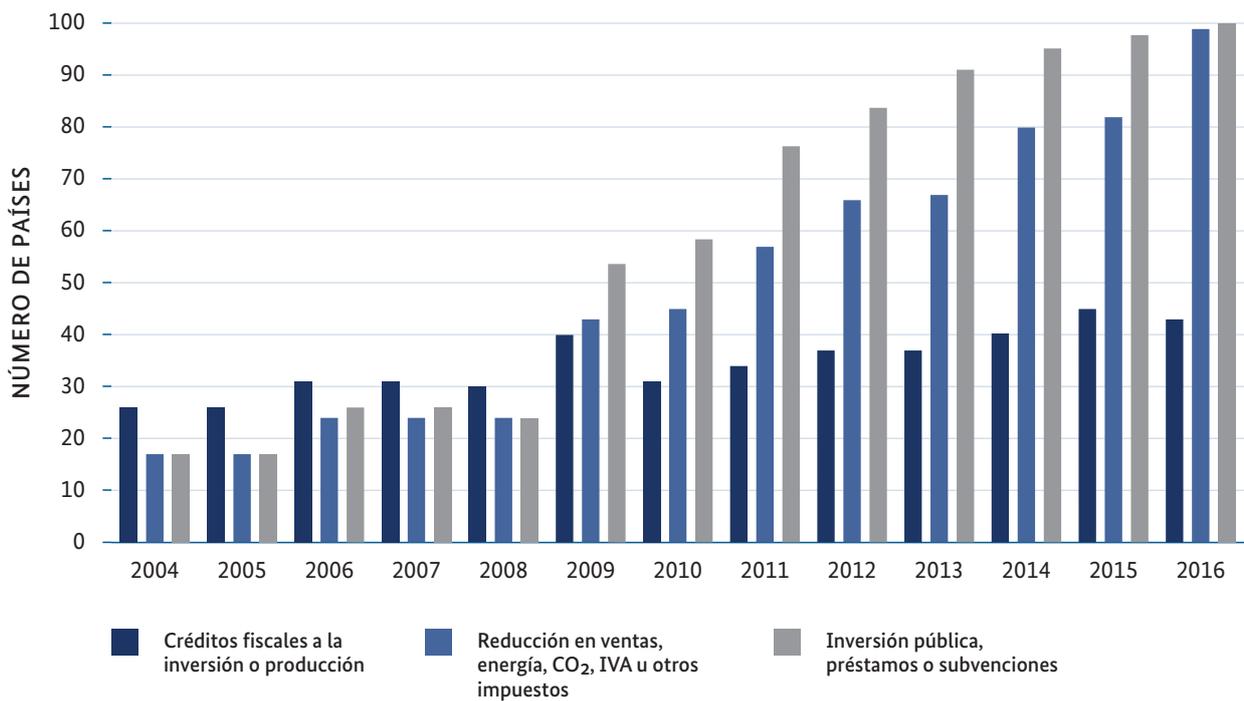
* Consulte el *Anexo 1* para ver el panorama global de IRENA para la financiación de energías renovables en 2015–2016.²⁶⁶

3.4.2. Iniciativas de fijación de precios del carbono

En los últimos 10 años, el número de jurisdicciones que han implementado iniciativas de fijación de precios del carbono ha aumentado rápidamente, alcanzando 40 jurisdicciones nacionales y 25 subnacionales en 2017. En consecuencia, la cantidad de emisiones cubiertas

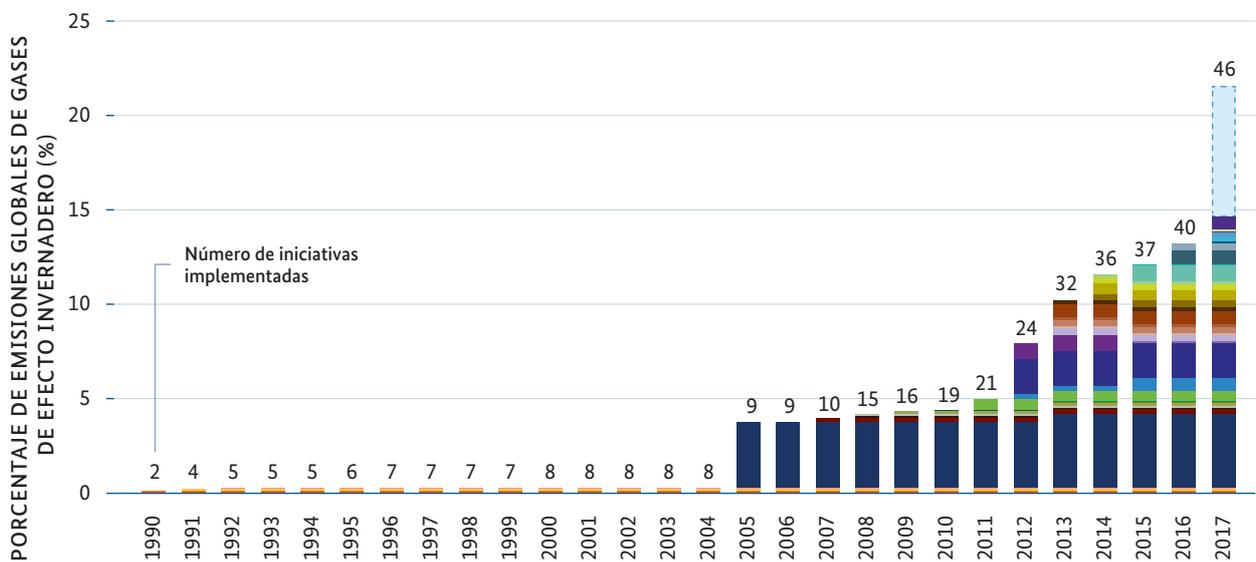
por la fijación de precios del carbono se ha multiplicado por cuatro en la última década.²⁷⁰ Tales iniciativas internalizarán las externalidades de emisiones negativas de los combustibles fósiles y fortalecerán aún más el asunto económico de las energías renovables.

Imagen 35: Tendencias en la adopción de incentivos financieros y fiscales



Fuente: IRENA 2018²⁷²

Imagen 36: Número y porcentaje de emisiones cubiertas por iniciativas de fijación de precios del carbono



Fuente: Banco Mundial²⁷³

3.5. Intereses

3.5.1. Accionistas

Los accionistas e inversionistas institucionales están cada vez más preocupados por los riesgos del cambio climático en su cartera. En los EE. UU., el cambio climático encabezó nuevamente la lista de resoluciones de los accionistas en 2018, lo que representa el 20% de las resoluciones ambientales, sociales y de sostenibilidad. Entre ellas, 15 resoluciones tenían como objetivo aumentar la integración de las energías renovables y establecer objetivos de eficiencia energética (consulte la imagen 37). Se pueden observar tendencias similares en otros países donde hay empresas mineras. En el Reino Unido, la coalición "Aiming for A" propuso resoluciones sobre el cambio climático en las reuniones anuales de Anglo American, Rio Tinto y Glencore, que se aprobaron con más del 96% de los votos.²⁷⁴ En Australia también hay un mayor interés por parte de los inversionistas en temas relacionados con el clima.²⁷⁵

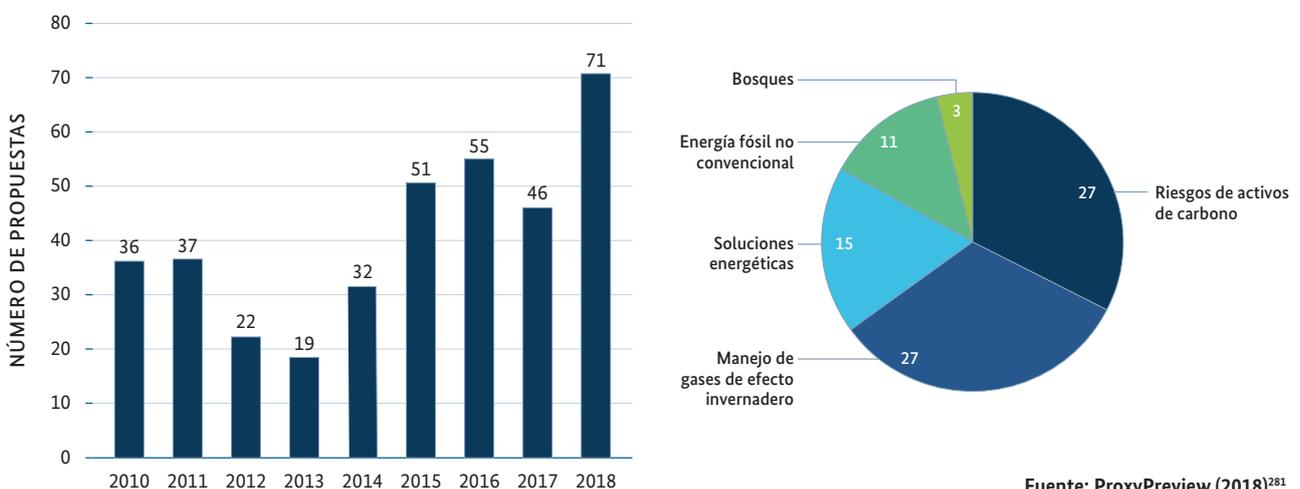
La formación y las recomendaciones del Grupo de trabajo sobre divulgaciones financieras relacionadas con el clima (TCFD) y los esfuerzos de la Junta de Estándares de Contabilidad para la Sostenibilidad (SASB) han destacado las revelaciones relacionadas con el clima de las empresas públicas.

El TCFD lanzó un centro de conocimiento en colaboración con la Junta de Estándares de Divulgación Climática, una "plataforma de igual a igual con información, herramientas y recursos relevantes para ayudar

a las organizaciones a implementar las recomendaciones del TCFD". Varias empresas mineras, incluidas Barrick Gold, BHP, Glencore y Vale, son signatarias de las recomendaciones.²⁷⁶ En comparación con otros sectores de la industria, como el cemento, el acero y los productos químicos, la mayoría de las emisiones de la industria minera se deben al suministro de electricidad. La integración de energías renovables es una oportunidad para abordar de manera significativa las solicitudes de los accionistas.²⁷⁷ Establecer las metas de intensidad de carbono a largo plazo y de emisiones de gases de efecto invernadero en general, así como la integración de tecnologías con bajas emisiones de carbono, son preguntas explícitas en la guía "Expectativas de los inversionistas de las empresas mineras", elaborada por inversores institucionales preocupados por el cambio climático.²⁷⁸

Para ayudar a los inversionistas a comprender qué objetivos empresariales cumplen con el acuerdo de París, se lanzó la iniciativa de Metas Basadas en la Ciencia,²⁷⁹ que alienta a las empresas a establecer objetivos ambiciosos de reducción de emisiones que mantendrían el aumento de la temperatura global por debajo de 2 grados. En la fecha de redacción, 498 empresas estaban participando en la iniciativa y 151 tenían sus objetivos basados en la ciencia aprobados. En el sector de la minería y los metales, solo Hindustan Zinc Limited y Mahindra Sanyo Special Steel habían aprobado sus objetivos.²⁸⁰

Imagen 37: Resoluciones del cambio climático en los Estados Unidos



Fuente: ProxyPreview (2018)²⁸¹

3.5.2. Consumidores y futuros colaboradores

Los consumidores están presionando cada vez más a los proveedores para garantizar una cadena de valor responsable. Dichas solicitudes también afectan cada vez más al sector minero. El ejemplo reciente más notable proviene de la cadena de valor del cobalto, que se ha visto atravesada por el trabajo infantil y las violaciones de los derechos humanos en la República Democrática del Congo. También aumenta el interés y el informe sobre las emisiones de carbono en la cadena de valor (emisiones de alcance 2, que capturan las emisiones indirectas de la generación de energía comprada, y las emisiones de alcance 3, que capturan todas las demás emisiones ascendentes y descendentes) y las empresas están presionando a los proveedores para reducir las emisiones. Apple, por ejemplo, está ayudando a los proveedores a cambiar a energía renovable y tiene 23 proveedores que se han comprometido a obtener fuentes de energía renovable al 100% para suministrarles.²⁸² Apple también se está asociando con Rio Tinto y Alcoa para desarrollar aluminio sin carbono.²⁸³ En la industria automotriz, BMW estableció un objetivo para su cadena de suministro para reducir su consumo de recursos por vehículo producido en un 45% para 2020.²⁸⁴

Al ser uno de los mayores emisores en la cadena de valor de estos productos de consumo, el sector minero se verá afectado por estas tendencias. Particularmente en el sector de fabricación de automóviles, donde aproximadamente dos tercios del contenido total de carbono del automóvil durante su ciclo de vida pasará del uso del automóvil con un motor de combustión interna a la producción de un automóvil con un motor eléctrico. Al prever esta tendencia, Codelco y BMW han anunciado la Iniciativa de Cobre Responsable, cuyo objetivo es lograr un estándar ecológico y social más alto en la industria del cobre²⁸⁵, similar a la norma establecida en el sector del aluminio (*consulte el cuadro 38*).

Otro factor que impulsa el aumento de la demanda de minerales bajos en carbono es el sector de la contratación pública. El parlamento europeo aprobó una revisión de la directiva de contratación pública en 2014.²⁸⁶ Ésta prevé la integración de los costos del ciclo de vida, como el uso de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto significa que, a pesar de los altos costos de capital iniciales, los insumos de construcción y las soluciones de transporte público "más verdes" podrían disfrutar de una ventaja competitiva. Varios países de la OCDE han seguido este enfoque y han adoptado iniciativas similares. Ya que la contratación pública representa aproximadamente el 12% del PIB en los países de la OCDE²⁸⁷, este desarrollo podría crear un mercado importante para los minerales bajos en emisiones que alimentan el sector de la construcción y el transporte.

La integración de las energías renovables en los proyectos mineros será un motor clave para reducir las emisiones de carbono en la cadena de suministro. Aún está por verse si dichos productos distinguibles pueden alcanzar una prima de precio, pero la evolución de la contratación pública de los países de la OCDE y la experiencia reciente del sector del aluminio (*consulte el cuadro 38*) sugieren que los consumidores están dispuestos a pagar más por los problemas sociales y ambientales que les preocupan.

Además de los consumidores, las empresas mineras que están orientadas hacia el futuro pueden atraer a trabajadores más jóvenes. Según la opinión de un vicepresidente de ABB: "La minería necesita una revolución para evitar problemas de retención o de empleo. Trabajar con tecnologías de la edad de piedra no es atractivo para los técnicos o ingenieros que acaban de egresar".²⁸⁸ Además, las generaciones más jóvenes están más conscientes y preocupadas de las consecuencias del cambio climático. Para continuar atrayendo a los mejores talentos, las compañías mineras deben tomar en cuenta esta tendencia.

Cuadro 38: Precio premium para aluminio "verde"²⁸⁹

La conversión de bauxita en aluminio es un proceso que consume mucha energía. Las fundiciones que obtienen electricidad de la energía hidroeléctrica están promoviendo su huella ambiental con emisiones que son seis veces más bajas que el aluminio producido con energía a partir del carbón. Rio Tinto y Alcoa están vendiendo aluminio "RenewAl" y "Ecoloum" que garantizan un máximo de 4 y 2,5 toneladas de CO₂ respectivamente en su proceso de producción. Esto está muy por debajo del promedio de 11 toneladas de la industria. Además de ofrecer un producto de aluminio con bajo contenido de carbono, Hydro* también lanzó un producto con un contenido de reciclado post-consumo garantizado de un mínimo de 75 por ciento.²⁹⁰ Las compañías están comercializando estos productos con un precio premium para sus clientes.

3.5.3. Comunidades afectadas

La licencia social para operar ha estado cada vez más en riesgo en muchas jurisdicciones ricas en minería durante y después del auge de las materias primas en los años 2000. En particular, en los países latinoamericanos que tienen una larga historia minera, ha habido numerosos conflictos en torno a proyectos mineros que han detenido proyectos y han tenido costos significativos para el sector.²⁹¹ Esto se puede remontar a una serie de problemas que incluyen más proyectos mineros y más grandes, debido a la mayor demanda y la disminución de las leyes de mineral, la mayor competencia por los recursos hídricos, una mayor conciencia de las externalidades ambientales y el empoderamiento de las redes sociales que se oponen a la minería. Esta tendencia se suma a las crecientes aspiraciones de automatización del sector, que conducirán a una caída en el empleo y las adquisiciones locales, lo que intensificará las preguntas de las comunidades afectadas sobre lo que se espera que obtengan de los proyectos mineros en su área local.²⁹²

Para volver a equilibrar la propuesta de "valor compartido" de los proyectos mineros y ayudar a satisfacer las expectativas de la comunidad, la integración de la energía renovable puede ayudar de dos maneras. En primer lugar, las plantas de energía renovable son menos contaminantes que las plantas de energía basadas en combustibles fósiles y, por lo tanto, reducen las externalidades negativas de las personas que viven alrededor del sitio minero. Además de la reduc-

ción de la contaminación del aire y el ruido de la central eléctrica, se pueden reducir los impactos adversos del transporte de combustible, como el aumento del tráfico y los accidentes. En segundo lugar, el acuerdo por el cual una mina sin conexión a la red electrifica a las comunidades circundantes a través de una mini red local impulsada por un proyecto renovable (Acuerdo de venta 3 en la *Sección 1.4.3*) contribuiría significativamente al desarrollo de la región.

De hecho, los sistemas descentralizados de energía renovable han demostrado ser una solución rentable para abordar la pobreza energética en las zonas rurales. En algunas áreas rurales remotas de África, se ha estimado que el costo promedio de energía puede ascender a US\$ 6/kWh.

Con los sistemas de mini-redes solares/de batería esto podría reducirse a US\$ 1,30/kWh.²⁹³ En Nigeria, que ha subsidiado el diésel, el LCOE de la energía solar fotovoltaica es significativamente menor que para los generadores diésel descentralizados. En la República Democrática del Congo, se evaluó que entre el 45% y el 85% de la población recibiría un mejor servicio mediante mini-redes de energía renovable que ampliando la red central.²⁹⁴ En Myanmar, los costos de energía de los hogares que están conectados a la red son casi el doble que los de aquellos que están conectados a proyectos piloto de mini-redes solares (US\$ 819 vs. US\$ 357 por hogar).

NOTA

- * Hydro también se comprometió a tener una huella de carbono neutra para el 2020.

3.5.4. Estándares y esquemas de certificación

Como respuesta a la creciente presión de las partes interesadas, en los últimos años, el sector minero ha visto un número creciente de estándares que prevén que las empresas mineras hagan más para enfrentar el cambio climático. Por ejemplo, los miembros del Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM) se han comprometido a ser parte de la solución para enfrentar el cambio climático.²⁹⁵ Para ser parte del ICMM, las compañías mineras deben cumplir con sus 10 principios de sostenibilidad, uno de los cuales se trata del desempeño ambiental (principio 6).²⁹⁶ Este principio podría fortalecerse al resaltar explícitamente el papel de la integración de la energía renovable en la gestión de las emisiones. La iniciativa Hacia una Minería Sostenible (TSM) de la Asociación Minera de Canadá lo ha hecho mediante el desarrollo del Protocolo de Gestión de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Uso de Energía, cuyo objetivo es proporcionar orientación a sus miembros sobre cómo evaluar su uso de energía y la gestión de emisiones de gases de efecto invernadero frente a los indicadores de TSM. Se incluyen tres indicadores de rendimiento, a saber, sistemas de gestión, sistemas de informes y objetivos de rendimiento, y afirma que la compra o la inversión en energía renovable es fundamental para el logro de los objetivos.

Los esquemas de certificación también tienen una función cada vez más importante. Por ejemplo, la *Aluminum Stewardship Initiative* (ASI) busca "permitir que la industria del aluminio [en todas las etapas, desde la extracción de bauxita hasta la semifabricación y refinación] demuestre su responsabilidad y proporcione una garantía de rendimiento independiente y creíble" y, al hacerlo, ayudar a la industria a "reforzar y promover la confianza de los consumidores y partes interesadas en los productos del aluminio". La ASI lanzó sus estándares en 2017. El estándar número 5 de ASI promueve la reducción de las emisiones de CO₂ y la compra de energía renovable en el sistema de gestión de la fundición para lograrlo. De manera similar, la Iniciativa para el Aseguramiento de la Minería Responsable (IRMA), una iniciativa de miembros de múltiples partes interesadas que busca certificar sitios mineros individuales en función de si

alcanzan altos estándares sociales y ambientales, ha incluido un capítulo sobre las emisiones de gases de efecto invernadero. Para recibir la certificación, la compañía operadora deberá tener una política de gases de efecto invernadero con objetivos y planes corporativos específicos para minas, cuantificar las emisiones de acuerdo con los estándares establecidos y divulgar públicamente los resultados de las emisiones corporativas y de la mina. La norma también está considerando requerir la inclusión de objetivos basados en la ciencia como parte del requisito cuando se comience a certificar minas en 2019.²⁹⁷ Cumplir con objetivos más ambiciosos de reducción de gases de efecto invernadero requerirá que las empresas mineras adopten las energías renovables más de forma amplia.



© shutterstock

Granja eólica en
el Desierto de Atacama, Chile





Conclusiones y recomendaciones

4.0

El impulso y las tendencias a largo plazo apuntan a que las energías renovables desempeñarán una función más importante en el sector minero en el futuro. Hay muchos acuerdos de suministro diferentes a través de los cuales las compañías mineras pueden aumentar las energías renovables en su combinación energética. Si bien todavía existen obstáculos técnicos y comerciales, estos se están abordando activamente. El progreso tecnológico es rápido y los precios de las soluciones de almacenamiento y ener-

gía renovable bajan rápidamente, lo que las hace más competitivas que las fuentes de energía tradicionales. Los productos de financiamiento y seguros se están adaptando para cumplir con las especificidades del sector minero. Además, el aumento de la experiencia de las empresas mineras, los IPP, los financiadores, los gobiernos y los donantes debería ayudar al sector a adoptar un enfoque más ambicioso para la integración de la energía renovable en las operaciones mineras con mayores tasas de penetración.

La pregunta se trata entonces sobre la velocidad a la que las jurisdicciones ricas en minería y las empresas mineras adoptarán tecnologías de energía renovable. La agenda 2030 y el acuerdo de París han creado un impulso para aumentar la velocidad de la transición energética de una economía mundial basada en combustibles fósiles a una basada en energías renovables. A medida que se intensifican los impactos adversos del cambio climático, aumentan los gastos de adaptación al clima y los precios de las tecnologías renovables continúan bajando, es probable que este impulso crezca con la presión de las diversas partes interesadas. Este desarrollo presenta una oportunidad para que las compañías mineras con miras al futuro acumulen experiencia en la integración de energía renovable.

A medida que avanza la integración de la energía renovable en el sector minero, existe la oportunidad de aprovechar las inversiones para aumentar la electrificación en escenarios rurales sin conexión a la red. La falta de acceso a la electricidad es una de las mayores barreras para el desarrollo económico rural. Los gobiernos, las empresas mineras y las agencias donantes tienen interés en desarrollar mecanismos de financiamiento, operativos y comerciales que puedan hacer viable dicho acuerdo. Para las empresas mineras, este acuerdo puede ayudar a reequilibrar el paradigma de valor compartido y proporcionar beneficios comunitarios posteriores al cierre de las minas.

Además de potenciar los proyectos mineros, también existe un gran potencial para que los terrenos mineros se utilicen en proyectos de energía renovable que se instalarían después del cierre. El acceso a la tierra es uno de los mayores obstáculos para los proyectos renovables. Si los sitios mineros rehabilitados están ubicados cerca de la red y cuentan con infraestructura existente, esto puede reducir los costos del proyecto. Además, los pits mineros pueden potencialmente desempeñar una función importante en el tratamiento de problemas de variabilidad e intermitencia cuando las redes de energía son alimentadas cada vez más por las fuentes de energía solar y eólica, al proporcionar soluciones de almacenamiento por bombeo. Para aumentar la velocidad de integración de la energía renovable en la minería, se proponen las siguientes recomendaciones para cada grupo de interés:

4.1. Gobiernos

Permitir que los IPP ingresen al mercado de la energía: las empresas de servicios públicos tradicionales integrados verticalmente no están bien situados para desarrollar y ofrecer soluciones de energía renovable disruptivas. Las reformas energéticas deben permitir que los IPP ingresen al mercado y firmen PPA corporativos con entidades privadas como las minas. Para apoyar aún más las energías renovables, los países podrían buscar desarrollar regulaciones de IPP y establecer un mecanismo normativo independiente que pueda regular las tarifas y los cargos de acceso a las redes de transmisión a precios no discriminatorios. Donde sea factible, la separación de los componentes de generación, transmisión y distribución ayudaría a los IPP a ingresar al mercado.

Ofrecer programas de compras corporativas ecológicas: además de permitir que los IPP ingresen al mercado de las energías renovables, las empresas de servicios públicos podrían considerar desarrollar productos ecológicos y opciones de tarifas ecológicas que reflejen la fuente de energía.

Requerir estudios de viabilidad de fuentes de energía renovable: los países ricos en recursos minerales podrían requerir que los nuevos proyectos de minería incluyan opciones de fuentes renovables como parte de sus estudios de factibilidad. La integración de las energías renovables también podría ser un factor a incluir en los procesos de licitación competitivos para la adjudicación de concesiones mineras.

Negociar los requisitos contractuales para la electrificación: el gobierno podría considerar aprovechar las inversiones en energía renovable en áreas mineras sin conexión a la red para servir también a las comunidades aledañas. Los donantes, las empresas mineras y los IPP pueden ayudar al gobierno a desarrollar mecanismos que describan quién es responsable de las operaciones, el mantenimiento, los pagos de electricidad y los planes de sucesión después del cierre de la mina. Dichos acuerdos podrían apoyarse a través de incentivos fiscales, préstamos preferenciales y/o donaciones de capital.

Diseñar regulaciones de cierre que permitan la continuación de proyectos de energía renovable después del cierre de la mina: los requisitos posteriores al cierre de la mina a menudo estipulan el desmantelamiento de toda la infraestructura relacionada con la mina. Los gobiernos deben adaptar estas regulaciones para permitir la continuación de la planta de energía renovable donde sea posible. La propiedad y las operaciones podrían transferirse al gobierno o a la comunidad una vez que el gasto de capital se haya amortizado y el proyecto minero cese las operaciones.

Establecer objetivos de emisiones de carbono: en los países ricos en recursos donde el sector minero contribuye en gran medida a las emisiones de gases de efecto invernadero, el Gobierno podría incluir objetivos específicos del sector y desarrollar planes sobre cómo reducir las emisiones. Las metas deben estar alineadas con los compromisos del gobierno en virtud de las contribuciones determinadas a nivel nacional.

Adoptar iniciativas de fijación de precios del carbono: las emisiones de gases de efecto invernadero son una externalidad negativa que, en muchos países, no tiene un precio adecuado. Al establecer un impuesto al carbono o un sistema de comercio de carbono, los gobiernos pueden ayudar a internalizar estos costos en los sistemas de energía basados en combustibles fósiles, aumentando así el atractivo de las energías renovables.

Eliminar los subsidios a los combustibles fósiles: los subsidios a los combustibles fósiles y las exenciones/ créditos fiscales para proyectos de generación de electricidad hacen que la integración de la energía renovable sea menos atractiva y demore su despliegue.

Incentivar la investigación y el desarrollo, y recomendar a los pioneros en implementar las energías renovables: muchos de los estudios de caso de integración innovadora de energías renovables a lo largo de este informe se han realizado en Australia, Canadá y Chile. Esto no es una coincidencia, ya que estos tres países han puesto en marcha mecanismos de incentivos gubernamentales para recompensar a los pioneros.

Hacer seguimiento de los atributos renovables: los EAC independientes y transparentes incentivan a las compañías mineras a integrar las energías renovables para que cumplan con las cuotas cuando exista dicho mecanismo, y puedan probar el abastecimiento de fuentes renovables en mercados voluntarios.

Adoptar prácticas ecológicas en la contratación pública: los gobiernos pueden desempeñar una función importante en incentivar la descarbonización de la cadena de suministro de la construcción y el transporte a través de sus programas de contratación pública.



4.2. Compañías mineras

Liderazgo y objetivos ambiciosos: se requiere el liderazgo para ser pioneros y probar las nuevas tecnologías. El sector de TI ha mostrado un fuerte liderazgo en la integración de la energía renovable al asumir compromisos con objetivos ambiciosos. Si bien hay ejemplos de proyectos que integran soluciones de energía renovable, el sector minero en general se está quedando atrás. Las empresas mineras no deben rehuir el establecimiento de objetivos ambiciosos de reducción de emisiones de carbono y de adopción de energía renovable que estén en línea con los ODS y el acuerdo de París. Existen múltiples iniciativas, prácticas recomendadas y estándares que se han desarrollado para apoyar a las empresas mineras en este camino.

Alentar a las asociaciones mineras a integrar las ambiciones de la energía renovable en sus estándares: revisar y priorizar las soluciones de energía renovable que podrían, por ejemplo, integrarse en el Principio 6 del ICMM: “Promover la mejora continua en el desempeño ambiental”.

Capacitar al personal en energías renovables: el conocimiento actualizado de la administración y el personal sobre las soluciones de energía renovable es necesario para considerar estas opciones. El sector avanza muy aceleradamente con tecnologías que cambian y costos que disminuyen rápidamente. Por lo tanto, es importante ofrecer cursos continuos que contengan la información más reciente.

Alinear los incentivos: si bien el nivel directivo de una empresa minera puede estar interesado en aumentar las energías renovables en la combinación energética general de la empresa, es poco probable que esto se materialice sin alinear los incentivos en el nivel operativo. Para que las operaciones valoren la eficiencia energética y las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero, los indicadores clave de rendimiento deben diseñarse e integrarse en los contratos del personal operativo. Además, un gerente suficientemente experimentado debería estar a cargo y ser responsable de la coordinación del suministro de energía y la gestión de emisiones.

Revisar los procesos mineros para optimizar el uso de energías renovables: el diseño actual de las minas está optimizado para operar flotas de camiones y sistemas de energía basados en combustibles fósiles tradicionales. En los proyectos mineros en etapa greenfield existe la oportunidad de rediseñar los sitios para atender mejor las características de las energías renovables. Los proyectos de expansión pueden revisar sus procesos para evaluar dónde se puede mejorar la eficiencia energética y cómo se puede implementar el cambio de carga.

Comprobar la competitividad de las energías renovables: los precios de las soluciones de energía renovable y almacenamiento continúan disminuyendo a un ritmo acelerado. Los proyectos que no eran competitivos hace algunos años, hoy pueden ser soluciones rentables. Por lo tanto, vale la pena reevaluar con frecuencia las opciones de integración de energía renovable.

Adaptar las prácticas de adquisición para atender mejor las soluciones de energía renovable: las empresas mineras tienen experiencia en la obtención de fuentes de energía a base de combustibles fósiles. Las prácticas deben adaptarse para tener en cuenta los requisitos de los IPP renovables.

Adoptar un enfoque holístico a largo plazo al diseñar soluciones energéticas: uno de los mayores beneficios potenciales que los proyectos mineros sin conexión a la red pueden aportar para estimular el desarrollo rural es el acceso a la electricidad. Las mini-redes con base de energía renovable tienen el potencial de electrificar regiones rurales. Las compañías mineras deben considerar cómo trabajar con los gobiernos y los donantes para aprovechar las inversiones en energía renovable para proporcionar energía a las comunidades aledañas.

Desarrollar productos premium con bajas emisiones: las empresas que venden productos de consumo están cada vez más interesadas en reducir la huella de carbono de su cadena de suministro. Al desarrollar líneas de productos que emiten menos emisiones de gases de efecto invernadero, las compañías mineras pueden atender dicha demanda y pueden cobrar una prima.

4.3. Productores de energía independientes

Satisfacer mejor las necesidades de la compañía

minera: mientras que las compañías mineras deben adaptar sus prácticas de adquisición para satisfacer mejor las necesidades de los IPP, los IPP también deben tratar de satisfacer mejor los requisitos de las compañías mineras. Por ejemplo, la logística de la construcción debe tratar de minimizar posibles interrupciones y retrasos en los procesos mineros.

Abordar los problemas de coordinación y responsabilidad:

en una solución de planta de energía híbrida donde hay operadores separados para el diésel y los componentes de energía renovable, es necesario establecer mecanismos claros de coordinación y responsabilidad para garantizar la eficiencia y evitar “señalar con el dedo” en caso de interrupciones en el suministro eléctrico.

Desarrollar soluciones híbridas: para maximizar la eficiencia y evitar problemas de responsabilidad, los IPP podrían desarrollar y ofrecer soluciones de energía híbrida diésel/renovable completamente integradas.

Aceptar el apoyo de las DFI y los estándares

ambientales, sociales y de gobernanza: mientras que asegurar el financiamiento de las DFI puede ser más engorroso debido a los altos estándares, su apoyo técnico y financiero puede ser fundamental para desarrollar proyectos. Este es particularmente el caso en los países en desarrollo con un mayor riesgo percibido. Además, los altos estándares para los proyectos de energía renovable son clave para garantizar la sostenibilidad del proyecto y el mantenimiento de la licencia social para operar.

4.4. Donantes

Aumentar la financiación climática: los países desarrollados se están quedando atrás en los compromisos de financiación climática asumidos en el Acuerdo de París. Con su “capital paciente” y sus productos de mitigación de riesgos, las DFI son promotores importantes que pueden catalizar fondos adicionales de otros actores, como los inversionistas institucionales.

Ventanilla única para la integración de energía renovable en proyectos mineros: al igual que el proyecto de Scaling Solar para gobiernos, puede valer la pena crear un programa que brinde apoyo técnico y financiero a los actores corporativos que buscan integrar la energía renovable en sus operaciones.

Aumentar la financiación para soluciones de energía renovable de tamaño medio: las DFI priorizan las inversiones en energía renovable a gran escala. Los proyectos de energía renovable de tamaño medio a menudo no son compatibles, debido a los costos administrativos relativamente altos. Sin embargo, esta es la escala del proyecto que requieren las minas sin conexión a la red para integrar las energías renovables en su matriz de energía.

Enfoque en la financiación y la implementación del acuerdo de electrificación comunitaria sin conexión a la red: los donantes deben poner un enfoque particular en cómo aprovechar las inversiones en energía renovable en proyectos mineros sin conexión a la red para electrificar también a las comunidades aledañas. Si bien existe un incentivo comercial para integrar las energías renovables para impulsar las operaciones mineras, los costos adicionales y las complejidades asociadas con el suministro a las comunidades aledañas hacen que las compañías mineras desconfíen de este acuerdo de venta de ener-

gía. Aquí es donde los donantes podrían hacer una contribución importante.

Desarrollar la instancia para la agrupación de la demanda energética: aunque las compañías mineras desconfían de la agrupación de su demanda de energía, debido a la naturaleza competitiva de la industria y los diferentes plazos en que operan los proyectos, en algunas circunstancias puede haber oportunidades para hacerlo con otras industrias en la zona. Esto podría crear economías de escala, haciendo viables los proyectos renovables a gran escala que, a su vez, podrían atraer financiamiento.

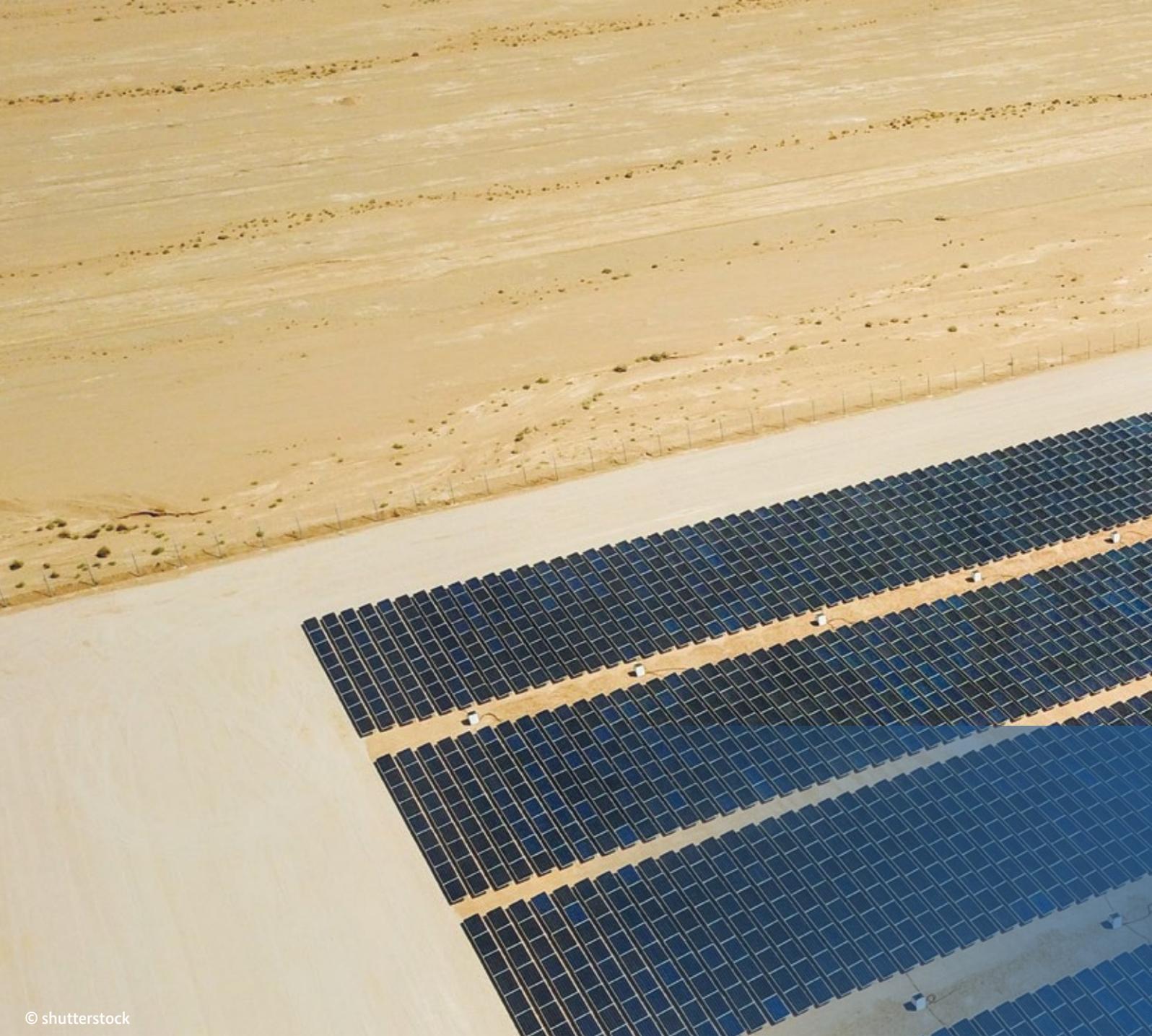
Agilizar las actividades: mientras que la debida diligencia es importante, y mantener la responsabilidad de las empresas por implementar estándares más altos es una función clave de las agencias donantes, el sector de la energía renovable está acelerado, las tecnologías cambian rápidamente y los costos disminuyen. Los donantes deben tratar de adaptar sus procesos para asegurarse de que pueden desempeñar un papel importante en este entorno dinámico.

Colaboración dentro y entre las partes interesadas: para identificar sinergias entre los sectores de la minería y las energías renovables que no necesariamente han trabajado en conjunto, es importante que los departamentos respectivos dentro de las instituciones donantes se coordinen y cooperen. Las instituciones de asistencia técnica y de financiamiento de las agencias donantes bilaterales y multilaterales también deben coordinarse estrechamente para llevar los proyectos desde su concepción hasta su implementación. Los donantes también pueden desempeñar un papel clave para ayudar a coordinar a los interesados públicos y privados en los países donde surgen estas oportunidades.



Trabajar políticamente para ayudar a impulsar reformas energéticas que apoyen la integración de energías renovables en países en desarrollo ricos en recursos: las reformas energéticas tienen una carga política. Por lo tanto, es importante que los donantes entiendan la dinámica política y los intereses en juego, y que adapten el asesoramiento sobre políticas en consecuencia.





© shutterstock

Planta de energía solar,
Sudáfrica.





Investigación futura

5.0

Este informe proporciona una visión general de los esfuerzos existentes y los estudios de casos de integración de energía eólica y solar en los sitios mineros. Durante la revisión de la literatura y las consultas, surgieron muchas ideas interesantes de investigación que merecerían atención adicional. Estas incluyen:

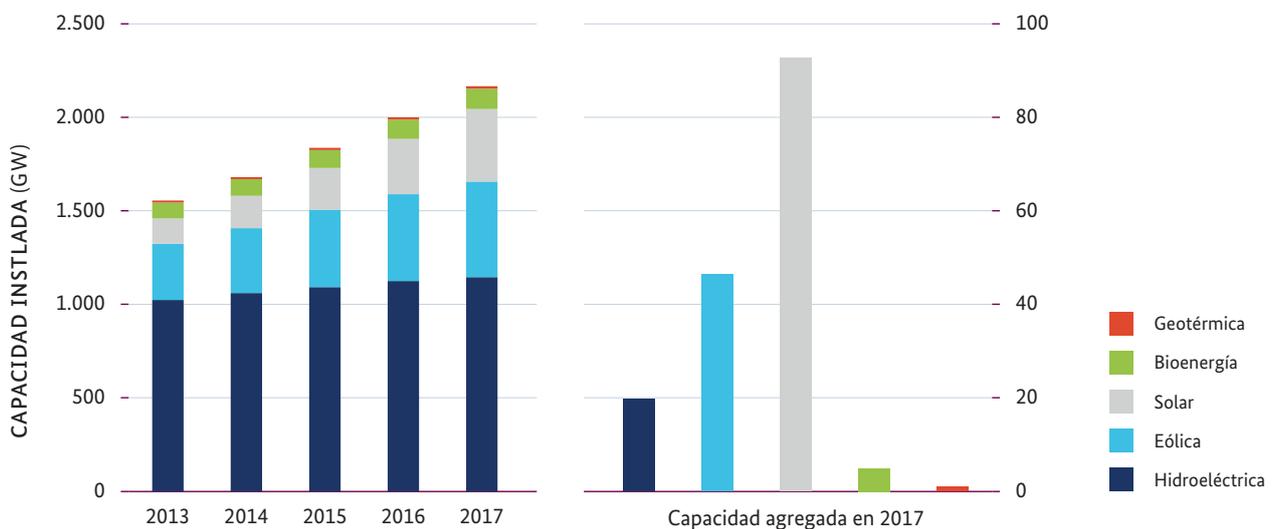
- 1) **Revisar otras tecnologías de energía renovable y evaluar qué tecnologías son particularmente prometedoras a lo largo de la cadena de valor minera:** este informe se centra principalmente en las tecnologías eólica y solar, con ejemplos que se centran en el componente minero de la cadena de valor. Una extensión valiosa del informe podría revisar tecnologías adicionales como la energía hidroeléctrica, geotérmica y biomasa, y centrarse en la hibridación de varias opciones de energía renovable para lograr mayores tasas de penetración. Además, valdría la pena evaluar qué tecnologías de energía renovable son más adecuadas para las actividades posteriores, como el procesamiento y la fundición.
- 2) **Evaluar hasta qué punto los países en desarrollo mineros, ricos en potencial hidroeléctrico, podrían facilitar y beneficiarse de una mayor penetración de las energías solar y eólica:** este informe se enfoca en el caso de negocios de integración eólica y solar para proyectos mineros sin conexión a la red que dependen de sistemas de generación basados en diésel, o conectados a redes eléctricas caras y poco confiables. Si bien el informe aborda el hecho de que los proyectos de energía solar y eólica pueden ayudar a resolver la inestabilidad de las redes hidroeléctricas con las represas hidroeléctricas existentes que funcionan como baterías, una mayor investigación podría centrarse en la medida en que los países en desarrollo ricos en recursos cuentan con un costo relativamente bajo. La red hidroeléctrica podría beneficiarse de la integración de proyectos eólicos y solares vinculados al sector minero.
- 3) **Evaluar el diseño de una operación minera basada en perfiles de generación de suministro de energía renovable:** los proyectos mineros a gran escala están diseñados para operar a una capacidad establecida las 24 horas del día y los 365 días del año. El sistema de energía debe diseñarse teniendo en cuenta esta característica. Sería interesante comparar el diseño y los costos/beneficios asociados de este enfoque tradicional con uno en el que la mina está diseñada alrededor de los perfiles de generación de varias fuentes de energía renovable y sistemas híbridos que dependen 100% de las fuentes renovables.
- 4) **Explorar las posibilidades del acuerdo de electrificación de las comunidades circundantes en escenarios sin conexión a la red:** este acuerdo tiene el potencial de estimular el desarrollo rural en los sitios mineros sin conexión a la red, pero también presenta muchas complejidades con la participación de varios actores. Hacer una revisión de los estudios de caso existentes donde se ha intentado este acuerdo ayudaría a comprender mejor los obstáculos y cómo se pueden resolver. Encontrar un proyecto en el que este acuerdo esté en fase piloto y documentado podría proporcionar más orientación para aprovechar la demanda de energía de las inversiones mineras para aumentar la electrificación rural.
- 5) **Desarrollar directrices y materiales de capacitación para ayudar a integrar la energía renovable:** es notable que los estudios de caso revisados sobre la integración de la energía renovable en sitios mineros son muy diferentes y específicos según el contexto. Las directrices y los módulos de capacitación que describen el proceso de toma de decisiones con respecto a la integración de la energía renovable podrían ayudar al despliegue de energías renovables vinculadas a proyectos mineros. Dicha guía/capacitación debe incluir componentes específicos dirigidos a los diferentes grupos de partes interesadas.

6) **Evaluar el potencial de las energías renovables para minas artesanales y a pequeña escala:** el enfoque de este informe estuvo en las operaciones mineras a gran escala. Si bien las minas artesanales y a pequeña escala requieren significativamente menos energía, a menudo utilizan sistemas por bombeo y maquinaria de procesamiento a base de diésel; Se necesita energía, especialmente por los minerales que se venden por sus características físicas y no por su contenido de metal. Esto incluye, por ejemplo, piedra arenisca, granito, pizarra, mármol y piedras semipreciosas.²⁹⁸ Su bajo consumo de

energía puede ser compatible con los sistemas de energía renovable a pequeña escala. Sin embargo, los permisos mineros a menudo son demasiado cortos para hacer viables las inversiones en energía renovable.²⁹⁹ Por lo tanto, las soluciones de energía renovable tendrían que ir de la mano con iniciativas del gobierno y los donantes para crear un sistema de arrendamiento o proporcionar soluciones de financiamiento. Esto podría ser parte de proyectos que buscan formalizar a los mineros artesanales y de pequeña escala, y mejorar sus prácticas de sostenibilidad.

ANEXO 1: Panorámica del escenario mundial de las energías renovables

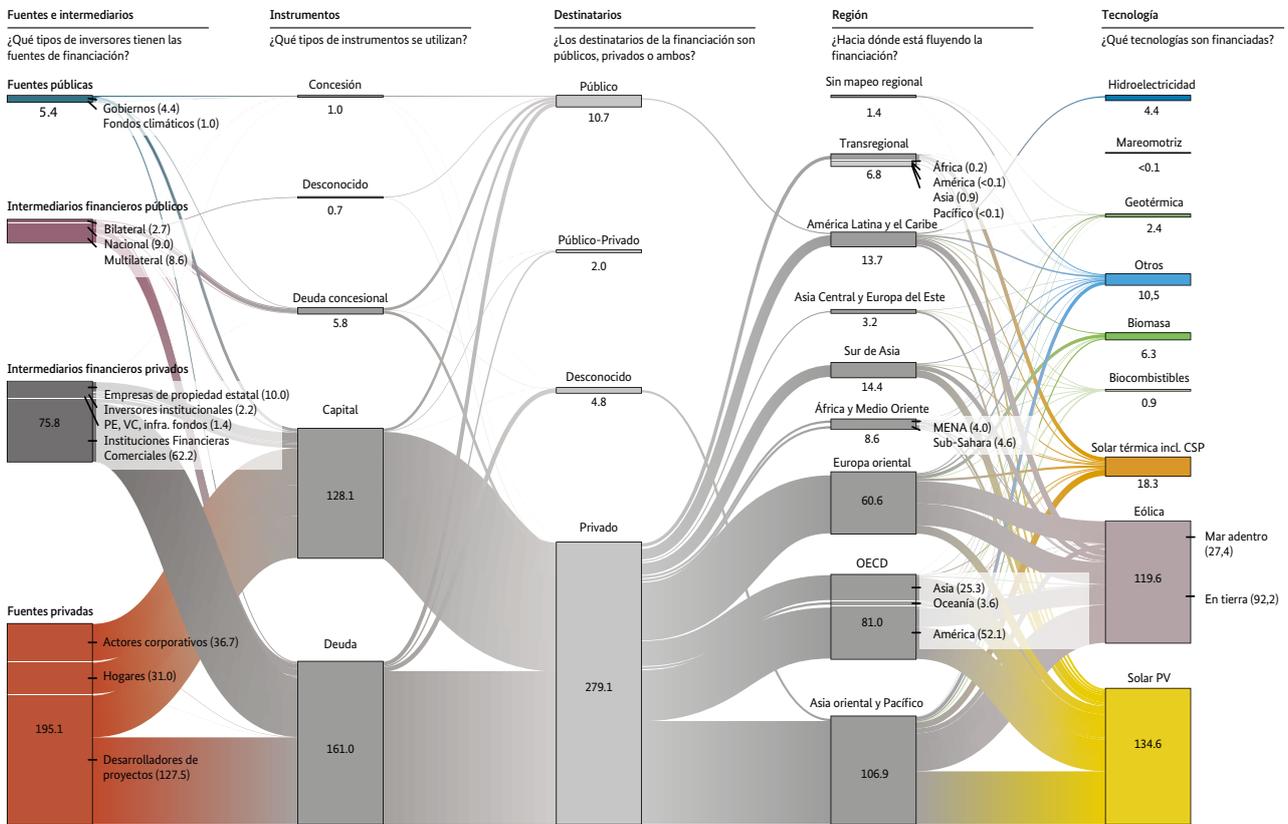
Imagen 38: Capacidad instalada y crecimiento



Fuente: IRENA³⁰⁰

ANEXO 1: Panorámica del escenario mundial de las energías renovables

Imagen 39: Panorama global de la financiación de energías renovables 2015/2016



Fuente: IRENA³⁰¹

El diagrama muestra los flujos financieros globales de energía renovable a lo largo del ciclo de vida de la inversión en 2015 y 2016, teniendo en cuenta la gama completa de fuentes, instrumentos, regiones y tecnologías, así como las distinciones entre las fuentes de financiamiento públicas y privadas. Los valores son promedios de los datos de dos años, en miles de millones de dólares.



ANEXO 2: Criterios de evaluación para la integración de energías renovables en proyectos mineros

Tabla 6: Evaluación de criterios para la integración de energías renovables en proyectos de minería

	Proyectos no conectados a la red	Proyectos conectados a la red
Economía	Costo de inversión	El costo de inversión incluye todos los costos relacionados con la planificación, compra e instalación de la fuente de electricidad.
	Costos de operación y mantenimiento	Los costos de operación implican los salarios de los empleados y los productos y servicios para la operación del sistema. Los costos de mantenimiento aseguran que el sistema esté en condiciones de operación, con el fin de prolongar la vida útil del sistema y evitar fallas que resulten en tiempo de inactividad.
	Costo de combustible/electricidad	Este criterio representa el dinero gastado para producir un kWh. En el caso de los generadores diésel, es el costo del diésel. En lo que respecta a la conexión a la red, es la tarifa promedio en kWh.
	Predicción de costos de combustible	Este criterio proporciona una predicción del precio del combustible en 5 años, consumido por la fuente de electricidad para producir electricidad.
	Predicción de costos iniciales de inversión	Este criterio proporciona una estimación de cómo se desarrollará el costo de la inversión inicial en 1 año. Si la tecnología es relativamente nueva, se pueden esperar posibles caídas en los precios.
	Costo nivelado de electricidad	Este criterio mide el costo por kWh, incluidos todos los costos incurridos por la inversión inicial hasta el final de la vida útil prevista, que se pone en relación con la salida proyectada de kWh en el mismo intervalo de tiempo. Se incluye: depreciación, intereses, préstamo, inversión inicial, costos de operación y mantenimiento, aumento en operación y mantenimiento, valor en estado de pausa, tasa de descuento; kWh inicial, degradación del sistema, tasa de impuesto, cambio de costos de combustible, número de años.
	Valor presente neto	Este es un método financiero para definir el valor presente total de una serie de entradas y salidas anuales de efectivo durante la vida útil del activo. Los flujos de efectivo se descuentan al flujo presente y se suman. La cantidad actual final se compara con el costo de inversión inicial
Tecnología	Seguridad	La seguridad se relaciona con el grado de seguridad de los empleados que trabajan en el sitio.
	Periodo de implementación	El período de implementación es la cantidad de tiempo necesario para realizar el proyecto.
	Confiabilidad	La confiabilidad se define como la capacidad de un sistema para funcionar como se diseñó y planificó.
	Suministro 24/7	La mayoría de las operaciones mineras necesitan un suministro de electricidad diurno y nocturno (24 horas).
	Madurez	La madurez se refiere a la etapa de desarrollo de la tecnología. Las etapas van desde "solo probado en laboratorios" hasta "cerca de alcanzar los límites teóricos de eficiencia".
	Nivel de servicio	El nivel de servicio mide la disponibilidad de expertos y piezas de repuesto para reparar equipos dañados.
Entorno	Emisiones de GHG	Esto representa la medida de la emisión de un gas incoloro, inodoro e insípido, que se emite principalmente a través de la combustión del carbón, petróleo y gas.
	Contaminación del aire local	Se refiere a la liberación de sustancias y partículas peligrosas en el aire que dañan el medio ambiente circundante y los seres humanos expuestos
	Ruido	El ruido es el sonido creado por la máquina que interrumpe la vida cotidiana humana y animal.
	Requisitos de tierra	Este criterio representa la cantidad de tierra que la fuente de electricidad requiere para producir una cierta capacidad.
Social	Creación de empleo	La creación de empleo significa la cantidad de personas empleadas durante el ciclo de vida de un sistema de energía.
	Imagen corporativa	La imagen corporativa representa el posible impacto de la fuente de electricidad en la identidad corporativa en la mente de diversos públicos, como clientes, inversionistas y empleados.
	Efecto en la comunidad	Este criterio se refiere al posible impacto en los residentes de los sectores aledaños después de la decisión de cerrar la mina. La comunidad podría además utilizar la fuente de electricidad.

Fuente: Votteler (2016)³⁰²



Referencias

1. Paolo Natali y Kevin Haley, "Breve descripción: Hacia una minería sostenible," (Julio de 2017), disponible en: https://d231jw5ce53gcq.cloudfront.net/wp-content/uploads/2017/07/RMI_Insight_Brief_Toward_Sustainable_Mining_2017.pdf
2. Benjamin McLellan et al., "Las emisiones y el papel de las energías renovables: impulsores, proyectos y proyecciones potenciales" en Lodhia, S. (ed.) en *Minería y Desarrollo Sostenible* (Londres: Routledge, 2018).
3. Benjamin McLellan et al., "Las emisiones y el papel de las energías renovables: impulsores, proyectos y proyecciones potenciales" en Lodhia, S. (ed.) (2018 op cit). en *Minería y Desarrollo Sostenible* (Londres: Routledge, 2018).
4. Agencia Internacional de Energía, balances mundiales de energía, disponibles en <https://www.iea.org/statistics/balances/> (última visita 11 de nov. de 2018).
5. Grupo del Banco Mundial y Ecofys "Carbon Pricing Watch 2017," (2017), disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/26565/9781464811296.pdf?sequence=4&isallowed=y> (2017).
6. Red de Soluciones de Desarrollo Sostenible, "Mapping mining to the sustainable development goals: An Atlas", Libro Blanco (julio de 2016).
7. IPCC, "Summary for policymakers - Global warming of 1.5 degrees celsius", aceptado por la sesión de IPCC el 6 de octubre de 2018, disponible en http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf (6 de octubre de 2018).
8. Arrobas, Daniele La Porta; Hund, Kirsten Lori, et al., "The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future (English)," Grupo del Banco Mundial, Documento de trabajo n° 117581 (Junio de 2017).
9. Energy and Mines Renewables in Mining Rankings and Awards – hoja de datos 2016, disponible en: <https://energyandmines.com/wp-content/uploads/2016/09/rankingsandawards.pdf> (última visita 11 de nov. de 2018).
10. Ernst & Young, "Mining: The Growing Role of Renewable", disponible en [https://www.ey.com/Publication/vwlUassets/eY_-_mining_the_growing_role_of_renewable_energy/\\$file/eY-mining-the-growing-role-of-renewable-energy.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwlUassets/eY_-_mining_the_growing_role_of_renewable_energy/$file/eY-mining-the-growing-role-of-renewable-energy.pdf) acceso el 19 de febrero de 2017).
12. Ernst & Young, "Mining: The Growing Role of Renewable Energy," (acceso el 19 de febrero de 2017).
13. Jacek Paraszczak y Kostas Fytas, 2012, "Renewable Energy Sources – a promising opportunity for remote mine sites?", Conferencia Internacional sobre Energías Renovables y Calidad de la Energía (Marzo de 2012, Santiago de Compostela, España),
14. Sudeshna Ghosh Banerjee, Zayra Romo, et al., "The power of the mine: A transformative opportunity for sub saharan Africa," Grupo del Banco Mundial, disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/21402/9781464802928.pdf?sequence=3> (2015)
15. Consulte: <https://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fwww.rmi.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F09%2FRenewableMineProjectsWebsiteList.xlsx>
16. "Shift to Renewables to Become a Growing Trend in Mining," disponible en <https://www.fitchsolutions.com/corporates/metals-mining/shift-renewables-become-growing-trend-mining-31-08-2018> (última visita el 11 de noviembre de 2018).
17. Renewable Resources at Mines Tracker, disponible en <https://www.rmi.org/our-work/electricity/sunshine-for-mines/renewable-resources-at-mines-tracker/> (última visita el 11 de noviembre de 2018).
18. Grupo del Banco Mundial, "The Power of the mine report", Informe, (febrero 2015), disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21402?show=full>
19. Adaptado de estudios de caso – The Collahuasi 150 MW RFP – a simulation for potential proposals, disponible en <http://energyandmines.com/2016/11/the-collahuasi-150-mw-rfp-a-simulation-for-potential-proposals/> (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
20. Roman Günter Votteler, A mining perspective on the potential of renewable electricity sources for operations in South Africa, tesis, (Universidad de Stellenbosch, 2016).
21. Roman Günter Votteler (2016) op. cit.
22. Roman Günter Votteler (2016) op. cit.
23. PFISTERER y THEnergy. "Mobile Solar- and Wind Diesel Hybrid Solutions for Mineral Exploration," Estudio, disponible en <https://www.th-energy.net/english/platform-renewable-energy-and-mining> (octubre de 2015).

24. EPA, “Renewable and Alternative Energy at Superfund Sites”, Informe, disponible en <https://semspub.epa.gov/work/hQ/175561.pdf> (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
25. La energía solar suministra al campo de exploración mineral a una altitud de 4.000 metros, disponible en <http://www.vale.com/mozambique/EN/aboutvale/news/Pages/energia-solar-abastece-acampamento-de-pesquisa-mineral-a-4-mil-metros-de-altitude.aspx> (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
26. La energía solar ayuda a limpiar las minas de carbón en el Reino Unido, disponible en <https://www.solarquotes.com.au/blog/coal-mine-water-solar-mb0116> (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
27. John Okoro (2016), Automatización energética e hibridación: integración de energías renovables para la minería sin conexión a la red. 24° Congreso Mundial de Minería, Río de Janeiro (octubre de 2016).
28. Presentación de Isla Power, “Minería y energía renovable: Cambiando positivamente la ecuación riesgo/recompensa”, Nigel Etherington, Isla Power Argentina Inc.
29. Presentación de ARENA, “Descarbonización de minas sin conexión a la red: Progreso y próximos pasos”, en la Cumbre de Energía y Minas, (2017).
30. Zaldívar firma nuevo acuerdo de suministro de energía, disponible en <http://www.antofagasta.co.uk/investors/news/2018/zald%c3%advar-signs-new-power-supply-agreement/> (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
31. 100% de energía renovable en Mina Zaldívar (Chile, cobre), disponible en <https://renewables4mining.com/100-renewables-in-mina-zaldivar-chile-copper/> (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
32. John Okoro (2016), Automatización energética e hibridación: integración de energías renovables para la minería sin conexión a la red. 24° Congreso Mundial de Minería, Río de Janeiro (octubre de 2016).
33. Agencia de Energía Renovable Australiana, “Hybrid Power Generation for Australian Off Grid Mines” Manual de ARENA, (junio de 2018).
34. Agencia de Energía Renovable Australiana, (junio de 2018), op cit.
35. Agencia de Energía Renovable Australiana (junio de 2018), op cit.
36. Roman Günter Votteler (2016), op. cit.
37. IRENA, “Corporate Sourcing of Renewables: Market and Industry Trends,” Informe, disponible en https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/May/IRENA_Corporate_sourcing_2018.pdf (2018).
38. Presentación hecha en la Convención de la PDAC en 2018, realizada en el Centro de Convenciones Metro Toronto, Toronto, Canadá del 3 al 6 de marzo, disponible en <https://www.pdac.ca/convention/attendee-info/past-conventions/pdac-2018-convention-highlights>
39. IFC, “Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants”, Guía para Desarrolladores de IFC, disponible en: https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/f05d3e00498e0841bb6fbb54d141794/ifc+Solar+report_web+_08+05.pdf?mod=aJPereS (2012).
40. IRENA, (2018), op cit.
41. Modelos de negocio para aplicaciones de energía renovable en minas, disponible en: <https://www.th-energy.net/english/platform-renewable-energy-and-mining/business-models/> (último acceso el noviembre 11, 2018).
42. IRENA, (2018), op cit.
43. Norton Rose Fulbright – Energía renovable en América Latina: Chile, disponible en: <http://www.nortonrosefulbright.com/knowledge/publications/134773/renewable-energy-in-latin-america-chile>, (último acceso el 11 de noviembre de 2018)
44. Norton Rose Fulbright – Energía renovable en América Latina: Chile, (2018), op cit.
45. Firmas chilenas de cobre analizan la renovación de contratos para aprovechar la energía renovable, Voa News, (7 de diciembre de 2016), disponible en: <https://www.voanews.com/a/chilean-copper-firms-look-reworking-contracts-renewable-energy/3627847.html>
46. Norton Rose Fulbright – Energía renovable en América Latina: Chile, (2018), op cit.
47. Revisión energética latinoamericana - Burned in Chile: The folly of merchant solar power, disponible en: <http://carlosstjames.com/renewable-energy/burned-in-chile-the-folly-of-merchant-solar-power/>, (último acceso el 11 de noviembre de 2018)
48. Revisión energética latinoamericana – Burned in Chile: The folly of merchant solar power, (2018), op cit.

49. “Firmas chilenas de cobre analizan la renovación de contratos para aprovechar la energía renovable”, Voa news (2018), op cit.
50. Grupo del Banco Mundial, “The Power of the mine report”, Informe, (febrero 2015), disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21402?show=full>
51. “CSN open to offers for 7% light stake”, Business News Americas (30 de mayo de 2000), disponible en: http://www.bnamericas.com/news/electricpower/cSn_open_to_offers_for_7*_light_Stake
52. Roberto Zanchi, Mark Porter y Nicole Miller, “The Dutch wind consortium: successful aggregation of corporate renewables buyers in Europe”, Estudio de caso, (17 de octubre de 2017), disponible en: http://businessrenewables.org/wp-content/uploads/2017/12/brc_dutchcaseStudy.pdf
53. IRENA, (2018), op cit.
54. “Construyendo los cimientos para una economía de energía limpia y una baja contaminación”, Análisis, (agosto de 2011), disponible en: http://www.climateinstitute.org.au/verve/_resources/sccc_analysiscefp_august2011_file.pdf
55. “¿Por qué se ha estancado la inversión en proyectos de energía renovable?”, The Conversation, (23 de noviembre de 2014), disponible en: <https://theconversation.com/why-has-investment-in-renewable-energy-projects-stalled-34197>
56. Gobierno australiano – Certificados de generación a gran escala y regulador de energía limpia (19 de octubre de 2018) disponible en: <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/reT/Scheme-participants-and-industry/Power-stations/large-scale-generation-certificates>
57. “Regulador de energía limpia confirma que se cumplió el RET”, Renew Economy, (11 de mayo de 2018), disponible en <https://reneweconomy.com.au/clean-energy-regulator-confirms-ret-met-40545/>
58. Demand Manager – Certificate Prices, disponible en: <http://www.demandmanager.com.au/certificate-prices/>, (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
59. “Regulador de energía limpia confirma que se cumplió el RET”, (11 de mayo de 2018), op cit.
60. IRENA, (2018), op cit.
61. IRENA, (2018), op cit.
62. WWF – Canadá, “Financiar y acelerar la implementación de energías renovables en el Ártico”, Informe, (octubre de 2017), disponible en: http://assets.wwf.ca/downloads/financing_renewable_energy.pdf
63. “ABO Wind comienza la instalación en antigua mina de carbón”, Wind Power Monthly, (29 de agosto de 2018), disponible en: <https://www.windpowermonthly.com/article/1491395/abo-wind-begins-installation-former-coal-mine>
64. “Iamgold construye proyecto de energía solar en Surinam,” Engineering and Mining Journal, (febrero de 2017), disponible en <http://www.e-mj.com/news/latin-america/iamgold-building-solar-power-project-in-suriname/>;
65. “Iamgold construye proyecto de energía solar en Surinam”, (febrero 2017), op cit.
66. “Iamgold producirá el 15% de su propia energía en 5 años – CEO Letwin,” Mining Weekly, (5 de agosto de 2014), disponible en: <http://www.miningweekly.com/article/iamgold-to-generate-15-of-own-electricity-in-5-yrs-ceo-letwin-2014-08-05>
67. Entrevista, abril de 2018.
68. Entrevista, abril de 2018.
69. “Iamgold construye proyecto de energía solar en Surinam”, (febrero 2017), op cit.
70. “Inauguración del proyecto solar de Avalon” disponible en: <http://www.asarco.com/about-us/our-locations/asarco-mineral-discovery-center/avalon-solar-project/> (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
71. Proyecto Solar Avalon, disponible en: <http://www.asarco.com/wp-content/uploads/avalon-Solar-Project-fact-Sheet-04282014>, (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
72. EPA Estados Unidos, “Proyectos de energía renovable en sitios mineros”, (2015), disponible en <https://semspub.epa.gov/work/hQ/100000041.pdf>
73. Paolo Natali y Kevin Haley, “A secondary life for legacy mining sites”, (noviembre de 2017), disponible en: https://d231jw5ce53gcq.cloudfront.net/wp-content/uploads/2017/11/rmi_SecondlifelegacyminingSites.pdf
74. BHP, “Energía renovable que suministra a nuestros sitios mineros cerrados”, (9 de enero de 2018), disponible en: <https://www.bhp.com/community/community-news/2018/01/renewable-energy-powering-our-closed-mine-sites>
75. “Time to ditch the generator? The town where renewables took over,” ARENA Wire, (27 de septiembre de 2017), disponible en: <https://arena.gov.au/blog/coober-pedy/>

76. Datos en vivo de la central eléctrica híbrida renovable Coober Pedy, disponible en: <https://energydevelopments.com/dboard/> (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
77. Rio Tinto, “Rio Tinto – Informe anual 2017”, (2017) disponible en: http://www.riotinto.com/documents/rT_2017_annual_report.pdf; página 225.
78. “Foco de la mina: mina de bauxita Weipa”, Mining Global, (8 de diciembre de 2015), disponible en: <https://www.miningglobal.com/mining-sites/mine-spotlight-weipa-bauxite-mine>
79. Gobierno australiano- ARENA, Granja solar fotovoltaica (PV) de 6,7MW de Weipa, disponible en: <https://arena.gov.au/projects/weipa-solar-farm/>
80. Rio Tinto enciende el interruptor de una nueva planta solar para alimentar la mina Weipa, Cairns Post, (28 de septiembre de 2015), disponible en: <http://www.cairnspost.com.au/news/queensland/rio-tinto-turns-on-switch-on-new-solar-plant-to-power-weipa-mine/news-story/9efce7c6db37da4d637917c68c467d1c>
81. “La primera planta solar comercial de Australia que reemplaza al diesel comienza a funcionar”, Comunicado de prensa, (29 de septiembre de 2015), disponible en: http://www.riotinto.com/documents/150929_australias_first_commercial_diesel_displacement_solar_plant_starts_operation.pdf
82. Gobierno australiano- ARENA, Granja solar fotovoltaica (PV) de 6,7MW de Weipa, op cit.
83. Pasta et al, “Geothermal Energy in Mining Developments: Synergies and Opportunities Throughout a Mine’s Operational Life Cycle,” (2015), disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Sadiq_Zarrouk/publication/269395965_Geothermal_energy_in_mining_developments_Synergies_and_opportunities_Throughout_a_mine%27s_operational_life_cycle/links/5488e4270cf268d28f09009d/Geothermal-energy-in-mining-developments-Synergies-and-opportunities-Throughout-a-mines-operational-life-cycle.pdf
84. “Clean Development Mechanism, Carbon Finance and Geothermal Applications”, Documento de investigación, (mayo de 2018), disponible en <https://orkustofnun.is/gogn/unu-gtp-sc/UnU-GTP-Sc-06-06.pdf>
85. PWC, “Nueva Guinea –Corporativo –Créditos e incentivos fiscales”, disponible en: <http://taxsummaries.pwc.com/id/Papua-new-Guinea-corporate-Tax-credits-and-incentives> (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
86. Newcrest Mining Limited, “Operación de Lihir”, Presentación en la 14ª Conferencia de Inversión en Minería y Petróleo de PNG., (5 de diciembre de 2016), disponible en: http://www.newcrest.com.au/media/presentations/2016/PnG_mining_conference_2016_Presentation.pdf
87. Porter, M. E., y Kramer, M. R. (2011). Creating Shared Value. Harvard Business Review, 89(1), 2–17. Recuperado de <https://hbr.org/2011/01/the-big-idea-creating-shared-value>
88. Cosbey, A et al., “Mining a Mirage: Reassessing the Shared-Value Paradigm in Light of the Technological Advances in the Mining Sector”, Documento político, (2016), disponible en: <http://ccsi.columbia.edu/2016/09/01/mining-a-mirage-reassessing-the-shared-value-paradigm-in-light-of-the-technological-advances-in-the-mining-sector/>
89. Boyse F et al. “Sunshine for Mines: Implementing renewable energy for off-grid operations”, The Carbon War Room (2014).
90. “Nuevas energías renovables para proyecto minero – IAMGOLD Essakane se beneficiará de la planta híbrida más grande de África”, Energy and Mines, (6 de marzo de 2017), disponible en: <http://energyandmines.com/2017/03/new-renewable-energy-for-mine-project-iamgold-essakane-to-benefit-from-largest-hybrid-plant-in-africa/>
91. “Essakane Solar pone en marcha una planta fotovoltaica híbrida de 15 MW en sitio minero en Burkina Faso”, PV Magazine, (19 de marzo de 2018), disponible en: <https://www.pv-magazine.com/2018/03/19/burkina-faso-commissions-15-mw-hybrid-pv-plant-at-mining-site/>
92. Orezone/IAMGOLD Essakane Goldmine, disponible en: <https://www.mining-technology.com/projects/essakane/> (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
93. “IAMGOLD reporta un aumento del 39% de las reservas en Essakane, basado en el estudio de prefactibilidad de lixiviación en pilas y en intercepciones de mayor grado, aumentando la producción anual promedio futura a 480.000 onzas” Comunicado de prensa, (5 de junio de 2018), disponible en: <http://www.iamgold.com/english/investors/news-releases/news-releases-details/2018/iamGold-reports-39-increase-in-reserves-at-essakane-based-on-heap-leach-Pre-feasibility-Study-and-higher-Grade-intercepts-increasing-future-average-annual-Production-to-480000-ounces/default.aspx>
94. “La planta de energía solar de Essakane de 15 MWp en Burkina Faso será financiada por bicab”, Comunicado de prensa, (noviembre de 2017), disponible en: <https://eren-groupe.com/wp-content/uploads/2017/11/20172111-eren-re-essakane-financial-close-en.pdf>

95. AEMP, “Proyectos en operación”, disponible en: http://www.aemp.co/projects.html#projects_current (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
96. “La planta de energía solar de Essakane de 15 MWp en Burkina Faso será financiada por bicab”, Comunicado de prensa, (noviembre 2017), op cit.
97. Entrevista, mayo de 2018.
98. Entrevista, mayo de 2018.
99. “Se espera que las mini-redes eléctricas se conviertan en un gran segmento en el mercado de almacenamiento de energía.”, Energy Storage Networks, (5 de marzo de 2018), disponible en: <https://www.energystoragenetworks.com/rural-mini-grids-expected-become-large-segment-energy-storage-market/>
100. “Baterías de flujo para uso comercial: ventajas y desventajas”, Solar Bay, (1 de marzo de 2018), disponible en: <https://solarbay.com.au/flow-batteries-commercial-use-pros-cons/>
101. Jacek Paraszczak y Kostas Fytas, 2012, “Renewable Energy Sources – a promising opportunity for remote mine sites?”, Conferencia Internacional sobre Energías Renovables y Calidad de la Energía (Marzo de 2012, Santiago de Compostela, España).
102. Mapa de energía solar: <https://globalsolaratlas.info/> Mapa de energía eólica: <https://globalwindatlas.info/> Mapa de energía geotérmica: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Geothermal_electricity Hydropower map: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0171844>
103. Navigant Research, “Energía renovable en la industria minera. Energía solar fotovoltaica, energía eólica, geotérmica, pilas de combustible y energía solar térmica en la industria minera global: análisis de mercado y pronósticos”, (2013).
104. <https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/2018-06/2.%20Fritsche%20Bet%20Bal%2B%282017%29%2BEnergy%2Band%2BLand%2BUse%2B-%2BGLO%2Bpaper-corr.pdf>
105. Informe de Navigant Research, (2013), op cit.
106. Entrevista, abril de 2018.
107. “Operaciones – Mina de diamantes Diavik”, disponible en: <https://www.ddmines.com/diavik-mine-operations> (último acceso el 11 de noviembre de 2018).
108. “Un viaje a Diavik, la mina de diamantes más remota del mundo”, Financial Review, (22 de noviembre de 2016), disponible en: <http://www.afr.com/brand/afr-magazine/a-trip-to-diavik-the-worlds-most-remote-diamond-mine-20161013-gs1ng>
109. Rio Tinto, “Resultados innovadores y eficientes en parques eólicos”, disponible en: http://www.riotinto.com/ourcommitment/spotlight-18130_19357.aspx (último acceso el 11 de noviembre de 2017).
110. Dominion Diamond Ekati Corp., Jay Project, “Report of Environmental Assessment and Reason for Decision” Informe, (1 de febrero de 2016), disponible en: http://reviewboard.ca/upload/project_document/ea1314-01_report_of_environmental_assesment_and_reasons_for_decision.Pdf página 41.
111. Dominion Diamond, “Alternative Energy Concept Study: Jay Project,” (1 de febrero de 2017), disponible en: http://reviewboard.ca/upload/project_document/ea1314-01_ddec_alternative_energy_concept_Study_01-feb-2017__commitment__52_.Pdf
112. Northwest Territories, “Giant Mine Remediation Project”, disponible en: http://reviewboard.ca/upload/project_document/ea0809-001_Presentation_from_inac_1328901021.pdf (último acceso el 11 de noviembre de 2018)
113. Medolie Michel Microgrids for mines: Global Perspectives, disponible en: <https://www.essinc.com/wp-content/uploads/2017/11/feature-article-microgrids-for-mines-v2-opt.pdf>
114. “Cuestionamiento de las economías de escala de la energía solar, Edición 2015”, Renewable Energy World, (22 de febrero de 2016), disponible en: <https://www.renewableenergyworld.com/ugc/articles/2016/02/questioning-solar-energy-economies-of-scale-2015-edition.html>
115. “Is Biggest Best Report – Parte 1 : Límites para avanzar en la energía eólica”, Renewable Energy World, (10 de mayo de 2017), disponible en: <https://www.renewableenergyworld.com/ugc/articles/2017/05/08/is-bigger-best-report-part-1-limits-to-scale-in-wind.html>
116. National Renewable Energy Laboratory, “Costo de referencia del sistema solar fotovoltaico de EE.UU.: 1er trimestre de 2017,” Informe, (septiembre de 2017), disponible en <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/68925.pdf>
117. ARENA, “Renewable Energy in the Australian Mining Sector”, Libro Blanco, (2017), disponible en: <https://arena.gov.au/assets/2017/11/renewable-energy-in-the-australian-mining-sector.pdf>

118. ARENA, “Renewable Energy in the Australian Mining Sector”, Libro Blanco, (2017), disponible en: <https://arena.gov.au/assets/2017/11/renewable-energy-in-the-australian-mining-sector.pdf>
119. “La duración del contrato es clave para el caso de inversión en energía híbrida para minas”, Engineering News, (15 de febrero de 2018), disponible en: <http://www.engineeringnews.co.za/article/contract-duration-key-to-hybrid-power-for-mines-investment-case-2018-02-15>.
120. Presentación de Isla Power, “Minería y energía renovable: Cambiando positivamente la ecuación riesgo/recompensa”, Nigel Etherington, Isla Power Argentina Inc.
121. Datos de la compañía, Goldman Sachs Global Investment Research.
122. Datos de la compañía, Goldman Sachs Global Investment Research.
123. Baker McKenzie, “El auge de los PPA corporativos: un nuevo motor para las energías renovables”, Informe, (2015), disponible en: <https://www.bakermckenzie.com/-/media/files/insight/publications/2015/12/the-rise-of-corporate-ppas/rise-corporate-ppas.pdf?la=en>
124. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, “Renewables 2018 – Global Status Report”, Informe, (2018), disponible en: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_fullreport_web_-1.pdf
125. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, (2018), op cit.
126. “Estos proyectos masivos de energía renovable están potenciando las minas chilenas” Bloomberg News, (7 de agosto de 2018), disponible en: <https://www.bloomberg.com/news/features/2018-08-07/these-massive-renewable-energy-projects-are-powering-chilean-mines>
127. BHP, “Inauguración oficial de la unidad de ciclo combinado en Kelar”, (27 de mayo de 2017), disponible en: <https://www.bhp.com/media-and-insights/news-releases/2017/05/official-inauguration-of-the-kelar-combined-cycle-unit-at-minera-escondida>
138. “Exclusivo: las empresas de cobre en Chile intentan reorganizar los contratos para aprovechar las energías renovables”, Reuters, (7 de diciembre de 2016), disponible en: <https://www.reuters.com/article/us-chile-energy-renewables-idUSKbn13w2l9>
129. Entrevista, abril de 2018.
130. “Los subsidios al consumo de combustibles fósiles han disminuido, pero no han terminado”, IEA, (20 de diciembre de 2017), disponible en: <https://www.iea.org/newsroom/news/2017/diciembre/commentary-fossil-fuel-consumption-subsidies-are-down-but-not-out.html>
131. Pilita Clark, “El Big Bang verde: Cómo la energía renovable se volvió imparable”, (mayo de 2017), Financial Times.
132. “Review of the Diesel Fuel Tax Refund System”, Informe de discusión, (febrero de 2017), disponible en: http://www.treasury.gov.za/comm_media/press/2017/20170215001%20-%20REVIEW%20OF%20THE%20DIESEL%20FUEL%20TAX%20REFUND.pdf
133. “Las grandes empresas visibilizan el problema previo al presupuesto a partir de los recortes de créditos fiscales al combustible”, The Australian, (2018), disponible en: <https://www.theaustralian.com.au/national-affairs/big-business-makes-prebudget-issue-out-of-fuel-tax-credit-cuts/news-story/c7549d0932817e923515992520b60d62>
134. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, “Renewables 2018 – Global Status Report”, Informe, (2018), op cit.
135. Lee, A., Usman, Z., “Taking stock of the political economy of power sector reforms in developing countries: a literature review (English)”, Documento de trabajo sobre investigación de políticas; n° WPS 8518, (2018), disponible en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/431981531320704737/Taking-stock-of-the-political-economy-of-power-sector-reforms-in-developing-countries-a-literature-review>
136. “Policies for Enabling Corporate Sourcing of Renewable Energy Internationally”, Informe técnico, (mayo de 2017), disponible en: <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/68149.pdf>
137. “Fuel Tax Credits”, The Fuel Tax Credit Alliance, (febrero de 2017), disponible en: <https://www.wfa.org.au/assets/industry-dynamics/fuel-tax-credits-feb-2017-PreSS.pdf>
138. Gobierno australiano – Oficina de impuestos australiana, “Excise rates for fuel”, disponible en: <https://www.ato.gov.au/business/excise-and-excise-equivalent-goods/fuel-excise/excise-rates-for-fuel/> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
139. Gobierno australiano – Oficina de impuestos australiana, “Fuel tax credits for business”, disponible en: <https://www.ato.gov.au/General/other-languages/in-detail/information-in-other-languages/fuel-Tax-credits-for-business/> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).

140. Las empresas mineras reciben el doble de créditos fiscales de lo que Australia gasta en medio ambiente, The Guardian, disponible en: <https://www.theguardian.com/environment/2018/feb/02/miners-receive-twice-as-much-in-tax-credits-as-australia-spends-on-environment> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
141. Road Accident Fund – Perfil, disponible en: <https://www.raf.co.za/about-Us/Pages/profile.aspx> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
142. “Review of the Diesel Fuel Tax Refund System”, Informe de discusión, (febrero de 2017), op cit. pág. 11.
143. “Policies for Enabling Corporate Sourcing of Renewable Energy Internationally”, Informe técnico, (mayo de 2017), op cit.
144. ResourceContracts.org, resultados de la búsqueda de “Liberia” y “Electricidad”, disponible en: <https://resourcecontracts.org/search?q=electricity&country%5b%5d=lr>
145. Proyecto de contrato de desarrollo minero estándar (2010), artículo 5.7, disponible en: <http://www.mmdaproject.org/presentations/PnG%20full%20revised%20Standard%20mdc.pdf>
146. Acuerdo de desarrollo minero entre el Gobierno de la República de Liberia y Putu Iron Ore Mining, Inc., con fecha 2 de septiembre de 2010, disponible en: <https://resourcecontracts.org/contract/ocds-591adf-4624088322/view#/pdf>
147. Meier, P et. al, “The design and sustainability of renewable energy incentives: an economic analysis”, Banco Mundial (2015), disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20524>
148. Presentación: “ El Programa de Adquisiciones de Productores Independientes de Energías Renovables (REIPPPP) sudafricano: experiencias obtenidas”, por Lena Mangondo, junio de 2016.
149. Presentación: “ El Programa de Adquisiciones de Productores Independientes de Energías Renovables (REIPPPP) sudafricano: experiencias obtenidas”, por Lena Mangondo, junio de 2016.
150. “Uprising in the rust belt”, Politico Magazine, (de 24 junio de 2016), disponible en: <https://www.politico.com/magazine/story/2016/06/coal-country-democrats-donald-trump-2016-213988>
151. Supran, G., y Orekesm H, “Evaluación de las comunicaciones sobre el cambio climático de ExxonMobil.”, Environmental Research Letter, (23 de agosto de 2017), disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa815f/meta>
152. Morris, M, y Martin, M., “Rising Powers in International Development”, Informe de pruebas n° 128, (abril de 2015), disponible en: http://www.prism.uct.ac.za/Papers/er128_PoliticalconomyofclimaterelavantchangePolicies.thecaseofrenewableenergyinSouthafrica.pdf
153. Morris, M, y Martin, M., (abril de 2015), op cit.
154. Morris, M, y Martin, M., (abril de 2015), op cit.
155. Lee, A., Usman, Z., “Taking stock of the political economy of power sector reforms in developing countries: a literature review (English)”, (2018), op cit.
156. IEA, “World Energy Investment Report”, Informe, (2018), disponible en: <https://www.iea.org/wei2018/>
157. “Google powering Finish server farm with Swedish Wind Farm”, Data Centre Knowledge, (junio de 2013), disponible en: <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2013/06/04/googles-powering-finnish-data-center-with-swedish-wind-farm>
158. “Día Global del Viento: publicación del 15 de junio - Google”, (marzo de 2017), disponible en: <https://globalwindday.org/success-stories/google/>, (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
159. “RE100: Compañías”, disponible en: <http://there100.org/companies> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
160. “Apple to build more solar projects in China, green its suppliers”, Reuters, (octubre de 2015), disponible en: <https://uk.reuters.com/article/us-apple-renewables-china/apple-to-build-more-solar-projects-in-china-green-its-suppliers-idUKKcn0SG02V20151022>
161. “3 razones por las que las empresas de tecnología de los Estados Unidos están acumulando montones de efectivo sin precedentes”, Venture Beat, (diciembre de 2017), disponible en: <https://venturebeat.com/2017/12/07/3-reasons-u-s-tech-firms-are-hoarding-unprecedented-piles-of-cash/>
162. International Institute for Sustainable Development, Innovation in Mining: Report to the 2018 International Mines Ministers Summit, IGF, (2018).
163. Bryant P “Are miners on the path to sustainable profit?” (30 de octubre de 2018), disponible en: <http://www.mining.com/web/miners-path-sustainable-profit/>
164. “Se aprueba acuerdo modificado entre Corfo y Rockwood para la producción de litio”, Corfo, (enero de 2017), disponible en: https://www.corfo.cl/sites/cpp/sala_de_prensa/nacional/se_aprueba_acuerdo_modificado_entre_corfo_y_rockwood_para_la_pro?resolvetemplatefordevice=true

165. Benjamin McLellan et al., “Las emisiones y el papel de las energías renovables: impulsores, proyectos y proyecciones potenciales” en Lodhia, S. (ed.) en *Minería y Desarrollo Sostenible* (Londres: Routledge, 2018).
166. IRENA, “Renewable power generation costs in 2017”, Informe, (2018), disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf
167. Benjamin McLellan et al., “Las emisiones y el papel de las energías renovables: impulsores, proyectos y proyecciones potenciales” en Lodhia, S. (ed.) en *Minería y Desarrollo Sostenible* (Londres: Routledge, 2018).
168. http://www.irena.org/-/media/files/irena/agency/Publication/2018/Jan/irena_2017_Power_costs_2018_summary.pdf?la=en&hash=6a74b8d3f7931def00ab88bd3b339cae180d11c3
169. Entrevista con el Presidente Ejecutivo de Zenith Energy sobre el Proyecto Nova de Zenith Energy, donde se destaca el costo de la energía solar para las minas, Energy and Mines, 2018.
170. Goldcorp, “Borden Gold: “La mina del futuro” presentación en el Congreso de Minería y Energía (2017), disponible en: <http://worldcongress.energyandmines.com/files/day-1-John-mullaly.pdf>
171. “First new all-electric mine dumps diesel; cuts costs, pollution”, Reuters, (21 de junio de 2018), disponible en: <https://www.reuters.com/article/us-mining-electric-goldcorp/first-new-all-electric-mine-dumps-diesel-cuts-costs-pollution-idUSKbn1Jh2fi>
172. “Canada injects C\$5m into Goldcorp’s Borden mine as prize for innovation”, Mining.com, (octubre 2018), disponible en: <http://www.mining.com/canada-injects-c5m-goldcorps-borden-mine-prize-innovation/>
173. Lazard – Costo nivelado de energía – 2017, disponible en: <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-2017> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
174. Lazard : costos nivelados de energía – 2017, op cit.
175. IRENA, “Renewable power generation costs in 2017”, Informe, (2018), op cit.
176. IRENA, “Renewable power generation costs in 2017”, Informe, (2018), op cit.
177. Cromimet, “Project Zimbi – a PV/Diesel Hybrid case study,” disponible en: https://www.bgr.bund.de/dera/de/downloads/pdac_2014_cronimet_armstrong.pdf?__blob=publicationfile&v=2 (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
178. Cronimet Mining-Power Solutions, 2013, <http://www.cronimet-mining.com>
179. Bloomberg NEF, “New Energy Outlook 2018”, Informe, (2018), disponible en: https://bnf.turtl.co/story/neo2018?src=wir&utm_source=wirjuly31&link=desc
180. Kiremire, B “A PV, Diesel, ESS hybrid case study: The Degruessa Solar Project,” SA Energy Storage 2017, Juwi.
181. Kiremire, B “A PV, Diesel, ESS hybrid case study: The Degruessa Solar Project,” SA Energy Storage 2017, Juwi.
182. Clean Energy Finance Corp, “CEFC financia un importante proyecto de almacenamiento de energía solar en una mina remota”, Comunicado de prensa, (julio de 2015), disponible en: <https://www.cefc.com.au/media/files/cefc-finances-major-solar-storage-project-at-remote-mine.aspx>
183. Juwi y ARENA “DeGrussa Solar Project: Knowledge sharing reports”, 2017, disponible en: <https://www.oecd.org/dev/inclusivesocietiesanddevelopment/Session-4-deGrussa-Solar-Project.pdf>
184. Neon y Origin Energy celebran un acuerdo de compra de energía para certificados de generación a gran escala de la granja solar de DeGrussa, disponible en: <http://www.serree.org.au/knowledge/news/article/?id=neoen-and-origin-energy-enter-into-a-power-purchase-agreement-for-large-scale-generation-certificates-from-the-degrussa-solar-farm> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
185. Neon Renewing Energy, “DeGrussa Solar Hybrid Project”, Informe, (junio de 2017), disponible en: <https://www.oecd.org/dev/inclusivesocietiesanddevelopment/Session-4-deGrussa-Solar-hybrid-Project.pdf> página 5
186. Eng, K., “A PV, Diesel, ESS hybrid case study: The degrussa Solar Project”, disponible en: http://www.ee.co.za/wp-content/uploads/2017/12/bunty-Kiremire_Juwi_The-deGrussa-Solar-project-case-study.pdf, (último acceso 12 de noviembre de 2018).
187. “¿Por qué la energía solar es una buena opción para las minas?: Proyecto solar Pampa Elvira - Codelco”, presentación de Sunmark y Ellaima, disponible en <http://energyandmines.com/wp-content/uploads/2014/03/codelco-st.pdf>
188. “El Príncipe Frederik de Dinamarca visita la mayor planta termosolar del mundo”, Codelco, (marzo de 2013), disponible en: <http://www.nuevamineria.com/revista/codelco-inaugurates-largest-solar-power-plant-in-the-world/>
189. “El Príncipe Frederik de Dinamarca visita la mayor planta termosolar del mundo”, Codelco, (marzo de 2013), disponible en: <http://www.nuevamineria.com/revista/codelco-inaugurates-largest-solar-power-plant-in-the-world/>
190. Consulte <https://ellaimasolar.cl/english/#engvideo>

191. Eglinton et al., "Potential Applications of Concentrated Solar Thermal Technologies in the Australian Minerals Processing and Extractive Metallurgical Industry", (2013).
192. Stutz, S., et al, "Storage of Thermal Solar Energy," 18(7-8) Elsevier, (octubre 2017), pg 401-414, disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631070517300646>
193. Eglinton et al., (2013), op cit.
194. Proyecto Cerro Dominador, disponible en: <https://cerrodominador.com/proyecto/photovoltaic-plant/?lang=en> (último acceso 12 de noviembre de 2018).
195. Consulte <https://www.solarreserve.com/en/solutions/mining-industry>
196. National Hydropower Association, "Pumped Storage", (12 de noviembre de 2018), disponible en: <https://www.hydro.org/policy/technology/pumped-storage/>
197. "La razón de US\$2,5 billones por la que no podemos confiar en las baterías para limpiar la red", Análisis tecnológico del MIT, (julio de 2017), disponible en: <https://www-technologyreview-com.cdn.ampproject.org/c/s/www.technologyreview.com/s/611683/the-25-trillion-reason-we-cant-rely-on-batteries-to-clean-up-the-grid/amp/>
198. "El plan de US\$3 mil millones para convertir la presa Hoover en una batería gigante", The New York Times, (julio de 2018), disponible en: <https://www.nytimes.com/interactive/2018/07/24/business/energy-environment/hoover-dam-renewable-energy.html>
199. "Energía hidroeléctrica, eólica y solar como base para un suministro de energía 100% renovable para América del Sur y Central", PLOS One, (marzo de 2017), disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0173820>
200. <https://www.worldenergy.org/data/resources/region/africa/hydropower>
201. Grupo del Banco Mundial, "The Power of the mine report", Informe, (febrero de 2015), disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21402?show=full>
202. "Se están considerando antiguas minas de carbón para almacenamiento hidráulico por bombeo", disponible en: <http://revolution-green.com/old-coal-mines-considered-pumped-hydro-storage/> (último acceso 12 de noviembre de 2018).
203. "Dos consorcios probarán tecnología sin precedentes en Chile: construirán motores de hidrógeno para la industria minera", Electricidad, (marzo de 2018), disponible en: <http://www.revistaei.cl/2018/03/05/dos-consorcios-probaran-chile-inedita-tecnologia-construiran-motores-hidrogeno-la-industria-minera/>
204. Alova, G "Integración de las energías renovables en la minería: revisión de modelos de negocio e implicaciones políticas", Documentos de políticas de desarrollo de la OCDE, noviembre de 2018 - n° 14, disponible en: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5bbcdeac-en.pdf?expires=1543588651&id=id&accname=guest&checksum=1a035c7496889b83d68c6908c132b307>
205. "Genexpower: Proyecto hidroeléctrico de almacenamiento por bombeo Kidston de 250 MW", disponible en: <http://www.genexpower.com.au/250mw-kidston-pumped-storage-hydro-project.html> (último acceso 12 de nov. de 2018).
206. "Minas abandonadas son apuntadas como sitios potenciales para esquemas de almacenamiento por bombeo", Mining Weekly, (febrero de 2018), disponible en: http://www.miningweekly.com/article/cumbersome-old-mines-potential-sites-for-pumped-hydro-energy-storage-genex-power-2018-02-09/rep_id:3650
207. "Minas abandonadas son apuntadas como sitios potenciales para esquemas de almacenamiento por bombeo", Mining Weekly, (febrero de 2018), op cit.
208. Energy and Mines, "Raglan Mine: Canada's first industrial scale wind and energy storage facility", disponible en: <http://energyandmines.com/wp-content/uploads/2014/08/raglan.pdf>, (último acceso 12 de noviembre de 2018).
209. Entrevista, mayo de 2018.
210. "Glencore RAGLAN Mine Renewable Electricity Smart Grid Pilot Demonstration", disponible en: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/funding/current-funding-programs/eii/16662> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
211. Entrevista.
212. Energy and Mines, "Raglan Mine: Canada's first industrial scale wind and energy storage facility", op cit.
213. Entrevista, mayo de 2018.
214. Energy and Mines, "Raglan Mine: Canada's first industrial scale wind and energy storage facility", op cit.
215. Entrevista, mayo de 2018.

216. “Exploration firms the biggest winners of renewables use in mining – study”, Mining.com, (octubre de 2016), disponible en: <http://www.mining.com/exploration-firms-the-biggest-winners-of-renewables-use-in-mining-study>
217. NUANCE ENERGY-THEnergy, “Modular, semi-portable mounting systems for solar in the mining sector”, Informe, (mayo de 2018), disponible en: <https://www.th-energy.net/english/platform-renewable-energy-and-mining/reports-and-white-papers/>
218. ARENA, “ARENA supports innovative off grid hybrid power solution”, Comunicado de prensa, (abril de 2014), disponible en: https://arena.gov.au/assets/2017/02/media-release_arena-supports-innovative-off-grid-hybrid-power-solution.pdf
219. ARENA, “Sunshift: Demonstration Report,” (abril de 2016), disponible en: <https://arena.gov.au/assets/2016/04/laing-orourke-mS-2-ii-case-Study.pdf>
220. “Sunshift’s moveable solar suits New Century Resources”. Financial Review, (octubre de 2017), disponible en: <https://www.afr.com/news/sunshifts-movable-solar-suits-new-century-resources-20171025-gz81p9>
221. “Sunshift’s moveable solar suits New Century Resources”, Financial Review, (octubre de 2017), op cit.
222. “South 32 desarrollará una granja solar en la mina Cannington”, Australian Mining, (abril de 2018), disponible en: <https://www.australianmining.com.au/news/south32-develop-solar-farm-cannington-mine/>
223. “South 32 desarrollará una granja solar en la mina Cannington”, Australian Mining, (abril de 2018), op cit.
224. “Laing O’Rourke to commercialize movable solar – diesel system”. Renewables Now, (abril de 2012), disponible en: <https://renewablesnow.com/news/laing-o-rourke-to-commercialise-movable-solar-diesel-system-520676/>
225. ARENA, “Renewable Energy in Australia - Mining Sector”, Libro Blanco, (2017), disponible en: <https://arena.gov.au/assets/2017/11/renewable-energy-in-the-australian-mining-sector.pdf>
226. Rocky Mountain Institute, “Sunshine for Mines”, disponible en: <https://rmi.org/our-work/electricity/sunshine-for-mines/> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
227. ARENA, “General funding strategy – 2013/14 – 2015/16”, Informe, (2013), disponible en: <https://arena.gov.au/assets/2017/01/arena-GfS-2013-14-to-2015-16.pdf>
228. ARENA, “General funding strategy –2013/14 –2015/16”, Informe, (2013), op cit.
229. ARENA ha estado sujeta a consecuencias derivadas de los partidos políticos en conflicto de Australia. Consulte: <http://www.abc.net.au/news/2016-08-29/debates-on-both-sides-as-parliamentarians-return-to-canberra/7793088>; <https://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/australia/name-25117-en.php>; <http://reneweconomy.com.au/frydenberg-to-push-ahead-with-repeal-of-arena-grant-funding-39600/>
230. “Frischknecht dimitira como jefe de ARENA”, Renew Economy, (febrero de 2018), disponible en: <http://reneweconomy.com.au/frischknecht-to-step-down-as-head-of-arena-68096/>
231. “Rio Tinto implementará energía solar en los sitios mineros de QLD”, Australian Mining, (mayo de 2014), disponible en: <https://www.australianmining.com.au/news/rio-tinto-to-implement-solar-power-at-qld-mine-site-2/>
232. ARENA, “Weipa 6.7MW solar photovoltaic (PV) solar farm”, disponible en: <https://arena.gov.au/projects/weipa-solar-farm/> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
233. ARENA, “Mining success marks turning point for off-grid renewables”, Comunicado de prensa, (junio de 2016), disponible en: <https://arena.gov.au/news/mining-success-marks-turning-point-for-off-grid-renewables/>
234. ARENA, “DeGrussa Solar Project”, disponible en: <https://arena.gov.au/projects/degrussa-solar-project/> (último acceso 12 de nov. de 2018).
235. IRENA, “Unlocking renewable energy investment: The Role of Risk Mitigation and Structured Finance”, Informe, (junio de 2016), disponible en: <http://www.irena.org/publications/2016/Jun/Unlocking-renewable-energy-investment-The-role-of-risk-mitigation-and-structured-finance>
236. IRENA, “Unlocking renewable energy investment: The Role of Risk Mitigation and Structured Finance,” (2016), op cit.
237. Kurz, K., “The ABC-Modell Anchor customers as core clients for mini-grids in emerging economies”, Informe, (marzo de 2014), disponible en: <https://www.giz.de/fachexpertise/downloads/2014-en-kurz-pep-fachworkshop-mini-grids.pdf>
238. Grupo del Banco Mundial, “Unlocking Private Investment in Emerging Markets Solar Power”, disponible en: <https://www.scalingsolar.org/#toggle-id-8-closed> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).

239. Grupo del Banco Mundial, “Unlocking Private Investment in Emerging Markets Solar Power”, op cit.
240. Grupo del Banco Mundial, “Unlocking Private Investment in Emerging Markets Solar Power”, op cit.
241. Industrial Development Corporation, “11 firmas precalifican para presentar ofertas de plantas de energía solar fotovoltaica de 2x50MW en Zambia”, Comunicado de prensa, (diciembre de 2015), disponible en: <http://www.idc.co.zm/article/11-firms-pre-qualify-submit-bids-2x50mw-solar-pv-power-plants-zambia>
242. IFC, “Registro de avances del financiamiento de IFC: establecimiento del proyecto de Scaling Solar en Zambia”, disponible en: <https://ifcextapps.ifc.org/ifcext/pressroom/ifcpressroom.nsf/0/eabbb3bcacc7dcb4852581fc00549777?opendocument> último acceso el (12 de noviembre de 2018).
243. IFC, “Registro de avances del financiamiento de IFC: establecimiento del proyecto de Scaling Solar en Zambia”, op cit.
244. Para una descripción más completa de los desarrollos financieros, consulte <http://www.irena.org/publications/2018/Jan/Global-landscape-of-renewable-energy-finance>
245. WBSCD, “Innovation in Power Purchase Agreement Structures”, Informe, (marzo de 2018), disponible en: <https://www.wbcsd.org/clusters/climate-energy/rescale/resources/innovation-in-Power-Purchase-agreement-Structures>
246. Mills, E, “The insurance and risk management industries: new players in the delivery of energy-efficient and renewable energy products and services”, Energy Policy 31(12), (septiembre de 2003), pág. 1257-1272, disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421502001866>
247. “Gestionando el riesgo en energías renovables”, The Economist, (2011)
248. Allianz, “Allianz adquiere un parque eólico en Suecia”, Comunicado de prensa, (junio de 2013), disponible en: https://www.allianz.com/en/press/news/financials/stakes_investments/news_2013-06-05.html/
249. “Las corporaciones ya compraron volúmenes de energía limpia récord en 2018 y no es una anomalía”, Bloomberg NEF, (agosto de 2018), disponible en: <https://about.bnef.com/blog/corporations-already-purchased-record-clean-energy-volumes-2018-not-anomaly/>
250. WBSCD, “Innovation in Power Purchase Agreement Structures”, Informe, (marzo de 2018), op cit.
251. Munich RE, “Seguro para energía renovable”, disponible en: <https://www.munichre.com/hSbeil/products/renewable-energy-insurance/index.html> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
252. Mills, E., Energy Policy 31(12), (septiembre de 2003), op cit.
253. “Investing in renewable energy with DFA’s. Watts the Deal?” Norton Rose Fullbright, (noviembre de 2015), disponible en: <https://www.insideafricallaw.com/blog/investing-in-renewable-energy-with-dfis-watts-the-deal>
254. Norton Rose Fullbright: Energía renovable en América Latina, Norton Rose Fullbright, (2017).
255. <http://www.miningpress.com/nota/296902/colbun-compra-parte-de-los-activos-de-sunedison>; https://www.pv-magazine.com/2016/08/08/cap-sues-sunedison-alleging-poor-quality-pv-modules_100025703/
256. CAP: Líneas de negocios, disponible en: http://www.cap.cl/cap/site/edic/base/port/lineas_negocio.html (último acceso en noviembre de 2018).
257. CAP: Líneas de negocios, op cit.
258. “Planta de energía Solar CAP, Copiapó”, disponible en: <https://www.power-technology.com/projects/amanecer-solar-cap-power-plant-copiapo/> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
259. “Planta de energía Solar CAP, Copiapó”, op cit.
260. “Planta de energía Solar CAP, Copiapó”, op cit.
261. “Let there be light” World Finance, (diciembre de 2015), disponible en: <https://www.worldfinance.com/infrastructure-investment/project-finance/let-there-be-light>
262. “Planta de energía Solar CAP, Copiapó”, op cit.
263. IFC, “Sunedison, IFC y OPIC cierran un acuerdo de financiamiento de proyecto de \$212,5 millones para una planta de energía solar de 100 MWp en Chile”, Comunicado de prensa, (septiembre de 2013), disponible en: <https://ifcextapps.ifc.org/ifcext/pressroom/ifcpressroom.nsf/0/9513599cfc2eb63185257be200572a72?opendocument>
264. Energy and Mines- mayo de 2018 – entrevista con el CEO de ARENA.
265. Energy and Mines- mayo de 2018 – entrevista con el CEO de ARENA.
266. IRENA, “Global Renewable Energy Finance – 2018”, Informe, (2018), disponible en: http://www.irena.org/-/media/files/irena/agency/Publication/2018/Jan/irena_Global_landscape_re_finance_2018.pdf
267. “Creciente número de fondos de pensiones provienen de los combustibles fósiles”, Financial Times, disponible en: <https://www.ft.com/content/fe88b788-29ad-11e7-9ec8-168383da43b7>

268. BNP Paribas, “BNP Paribas, BNP Paribas toma otras medidas para acelerar su apoyo a la transición energética”, Comunicado de prensa, (octubre de 2017), disponible en: <http://www.bnpparibas.co.il/en/2017/10/11/bnp-paribas-takes-further-measures-to-accelerate-its-support-of-the-energy-transition/>
269. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, (2018), op cit.
270. Grupo del Banco Mundial y Ecofys “Carbon Pricing Watch 2017” (2017), disponible en <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/26565/9781464811296.pdf?sequence=4&isallowed=y> (2017).
271. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, (2018), op cit. r
272. IRENA, “Renewable Energy Policies in at Time of Transition”, Informe, (2018), disponible en: http://www.irena.org/-/media/files/irena/agency/Publication/2018/apr/irena_iaa_ren21_Policies_2018.pdf
273. Grupo del Banco Mundial y Ecofys, “Carbon Pricing Watch 2017”, (2017), op cit.
274. Nordea, “Buscamos una solución al cambio climático”, disponible en: <https://sustainablefinance.nordea.com/articles/we-are-aiming-climate-change-resolution> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
275. “La resolución del cambio climático de Rio Tinto es un cambio significativo en la cultura de los inversores”, The Conversation, (mayo de 2018), disponible en: <https://theconversation.com/rio-tintos-climate-change-resolution-marks-a-significant-shift-in-investor-culture-95927>
276. Kirk, T y Lund, J “Decarbonization pathways for mines: A headlamp in the darkness” Rocky Mountain Institute (2018), disponible en: https://www.rmi.org/wp-content/uploads/2018/08/rmi_decarbonization_Pathways_for_mines_2018.pdf
277. Kirk, T y Lund, J “Decarbonization pathways for mines: A headlamp in the darkness” Rocky Mountain Institute (2018), disponible en: https://www.rmi.org/wp-content/uploads/2018/08/rmi_decarbonization_Pathways_for_mines_2018.pdf
278. Investor Group on Climate Change, “Expectativas de los inversionistas de empresas mineras”, disponible en: http://www.iigcc.org/files/publication-files/iigcc_2015_mining_report_final_web.Pdf (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
279. Science Based Targets – “We’re seeing a surge in companies embracing climate science to navigate the low-carbon transition”, disponible en: <https://sciencebasedtargets.org/> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
280. Science Based Targets – “We’re seeing a surge in companies embracing climate science to navigate the low-carbon transition”, op cit.
281. Welsh, H Passoff, M “Proxypreview: Helping shareholders vote their values” (2018), disponible en: <https://www.proxypreview.org/proxy-preview-2018/>
282. Apple – Proveedor de energía limpia, disponible en: https://www.apple.com/lae/environment/pdf/apple_Supplier_clean_energy_Program_Update_april_2018.pdf (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
283. “Apple dice que encontró una manera “revolucionaria” de hacer que sus dispositivos sean más respetuosos con el medio ambiente”, CNBC, (mayo de 2018), disponible en: <https://www.cnbc.com/2018/05/11/apple-teams-up-with-alcoa-and-rio-tinto-on-clean-aluminum-smelting.html>
284. BMW, “Informe de valor sostenible 2017” Informe, (2018), disponible en: https://www.bmwgroup.com/content/dam/bmw-group-websites/bmwgroup_com/ir/downloads/en/2017/bmw-Group-SustainableValuereport-2017--en.pdf
285. BMW, “BMW Group y Codelco acuerdan cooperar para establecer la iniciativa de cobre responsable”, Comunicado de prensa, (enero de 2018), disponible en: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0277850en/bmw-group-and-codelco-agree-on-cooperation-to-establish-the-responsible-copper-initiative?language=en>
286. Unión Europea, “Compras verdes: manual sobre contratación pública ecológica” disponible en: <http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/buying-Green-handbook-3rd-edition.pdf> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
287. OCDE, “Contratación pública para la innovación: Prácticas recomendadas y estrategias” Estudios de gobernanza pública de la OCDE, (2017), disponible en: <http://www.oecd.org/gov/public-procurement-for-innovation-9789264265820-en.htm>
288. “First new all-electric mine dumps diesel; cuts costs, pollution”, Reuters, (junio de 2018), disponible en: <https://www.reuters.com/article/us-mining-electric-goldcorp/first-new-all-electric-mine-dumps-diesel-cuts-costs-pollution-idUSKbn1Jh2fi>

289. Hydropower smelters charge a premium price for “green aluminum,” Reuters, (agosto de 2017), disponible en: <https://www.reuters.com/article/us-aluminium-sales-environment/hydro-powered-smelters-charge-premium-prices-for-green-aluminum-idUSKbn1ai1cf>
290. Hydro, “Hydro launches certified low carbon aluminum products”, disponible en: <https://www.hydro.com/en/press-room/archive/2017/hydro-launches-certified-low-carbon-aluminum-products/> (último acceso el 12 de noviembre de 2018).
291. Davis, R. y Franks, D., “Cost of Company – Community Conflicts in the Extractive Sector”, Informe, (2014), disponible en: https://sites.hks.harvard.edu/m-rcbg/cSri/research/costs%20of%20conflict_davis%20%20franks.pdf
292. Cosbey, A et al., “Mining a Mirage: Reassessing the Shared-Value Paradigm in Light of the Technological Advances in the Mining Sector”, Documento político, (2016), disponible en: <http://ccsi.columbia.edu/2016/09/01/mining-a-mirage-reassessing-the-shared-value-paradigm-in-light-of-the-technological-advances-in-the-mining-sector/>
293. Índice de Atractivo Inversor en Energías renovables, “The retail energy revolution”, (octubre 2017), Informe, disponible en, <https://emeia.ey-vx.com/4864/93958/landing-pages/recai-50-all-pages-interactive-dps-view.pdf>
294. Worrall, I., y Scott, A., “Pioneering Power: Transforming lives through off grid renewable electricity in Africa and Asia”, Informe, (2018), disponible en: https://learn.tearfund.org/~/_media/files/tilz/climate_and_energy/2018-odi-tearfund-pioneering-power-en.pdf?la=en
295. Consejo Internacional de Minería y Metales, “El ICMM emite declaración sobre cambio climático”, Comunicado de prensa, (octubre 2015), disponible en: <https://www.icmm.com/en-gb/news/2015/icmm-issues-statement-on-climate-change>
296. Consejo Internacional de Minería y Metales, Principio 6, disponible en: <https://www.icmm.com/en-gb/about-us/member-commitments/icmm-10-principles/icmm-principle-6> (último acceso el 12 de noviembre de 2018) <https://www.icmm.com/en-gb/about-us/member-commitments/icmm-10-principles/icmm-principle-6>
297. Iniciativa para el Aseguramiento de la Minería Responsable, “Estándar de IRMA para la minería responsable”, Informe, (junio de 2018), disponible en: https://responsiblemining.net/wp-content/uploads/2018/07/irma_STANDARD_v.1.0_final_2018.pdf
298. Ledwaba, P., The use of renewable energy in small scale mining, Tesis doctoral, (Universidad de Witwatersrand, Johannesburgo, 2014), disponible en: http://wiredspace.wits.ac.za/bitstream/handle/10539/17683/research%20Project_min7044.pdf?sequence=2&isallowed=y
299. Ledwaba, P., (2014), op cit.
300. IRENA, “Global Renewable Energy Finance – 2018”, Informe, (2018).
301. IRENA, “Global Renewable Energy Finance – 2018”, Informe, (2018).
302. Roman Günter Votteler, A mining perspective on the potential of renewable electricity sources for operations in South Africa, tesis, (Universidad de Stellenbosch, 2016).

Agradecimientos

Los autores quisieran extender sus sinceros agradecimientos a Sara Rosner, Hillary McMahon, Diego Adrián de León Segovia y Axel Berrebi por sus aportes esenciales a este informe.

También agradecemos los conocimientos y comentarios de:

Aaron Steeghs (Yamana), Adrienne Baker (Energy and Mines), Alastaire Dick (Rocky Mountain Institute), Andrew Slavin (Energy and Mines), Anthony Moreau (Iamgold), Arnaud Gouet (Wartsila), Arnoldus van Den Hurk (Renewable Energy and Mining International Observatory), Axel Leveque (Engie Energia Chile), Ben Chalmers (Canada Association of Mines), Ben McLellan (University of Queensland), Bjorn Kjetil Mauritzen (Hydro), Brendan Marshall (Mining Association of Canada), Caspar Priesemann (GIZ), Celiane Dorval (Raglan Mine, ein Unternehmen des Glencore-Konzerns), Christophe Fleurence (Total Eren), Claudia Becker (BMW), Denis Hickie (ATA Group), Femi Fadugba (Crossboundary Energy), Holle Linnea (International Renewable Energy Agency), Ian Brodie Brown (AurCrest Gold), Ignacio Moreno Fernández (Chilean Cobalt Corp), Jacek Paraszczak (Université Laval), Jean-François Verret (Raglan Mine, ein Unternehmen des Glencore-Konzerns), John Okoro (Vergnet), Juan Camus (Energia Valhalla Spa), Kirsten Hund (Weltbank), Marco Lotz (Nedbank), Maria Cruz de La Paz (KfW), Markus Wagner (International Renewable Energy Agency), Martijn Wilder (Baker MacKenzie), Matthew Cullin (Pact), Mauro Valdés (Alta Ley), Nate Springer (Business for Social Responsibility), Nicola Borregaard (Energieministerium, Chile), Ouida Chichester (Business for Social Responsibility), Paolo Natali (Rocky Mountain Institute), Paul Kariya (First Nations Association), Paul Taylor (International Council on Mining and Metals), Rainer Schröer (GIZ), Rollie Armstrong (Cronimet), Saleem Ali (University of Delaware), Scott Fraser (Waypoint Infrastructure), Sean Whittaker (International Finance Corporation), Sebastien Vilder (Blakes), Sian Bradley (Chatham House), Sofja Giljova (GIZ), Stefanie Bourne (DVNGL), Steven Kukoda (Copper Mining Association), Thomas Hillig (THEnergy), Tom Butler (International Council on Mining and Metals), Tsakani Mthombeni (Goldfelder), Vasilis Fthenakis (Columbia University), Weijun Xie (China Minmetals Corporation) und Will Rayward-Smith (Sunshift).

También nos gustaría reconocer a Energy and Mines como socios de difusión.

Finalmente, los autores agradecen profundamente a GIZ y, en especial, a Tim Schloesser por su apoyo y contribuciones a lo largo del proyecto.



Centro de Inversión Sostenible de Columbia

Columbia Center on Sustainable Investment (CCSI), un centro conjunto de la Escuela de Derecho de Columbia y el Earth Institute de la Universidad de Columbia, es el único centro y foro de investigación aplicada localizado en una universidad dedicado al estudio, la práctica y el debate sobre la inversión internacional sostenible. Nuestra misión es desarrollar enfoques prácticos para gobiernos, inversionistas, comunidades y otras partes interesadas con el fin de maximizar los beneficios de la inversión internacional para el desarrollo sostenible.

<http://ccsi.columbia.edu/>



BMZ y GIZ

En nombre del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania, GIZ implementa el programa sectorial "Extractivos para el Desarrollo" en conjunto con el BGR (Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales). Además de proporcionar servicios de asesoría al Ministerio en una variedad de temas de gobernanza de recursos, el programa promueve activamente los

diálogos específicos del sector, se involucra en iniciativas de múltiples partes interesadas, y permite la investigación y la prueba de los próximos temas.

Actualmente, GIZ también se asocia con el Banco Mundial en el desarrollo de una estrategia de Climate Smart Mining (CSM), que presenta una mayor utilización de las energías renovables en la minería como uno de sus pilares de construcción clave.

<http://www.bmz.de/rue/en/index.html>

En los últimos seis años, Energy and Mines ha construido una reputación dentro de los sectores de la minería y las energías renovables como el primer punto de contacto para la conexión e información sobre las energías renovables en la minería. La compañía ha establecido una sólida red de relaciones con la minería de alto nivel, fuentes de energía renovables, finanzas y conexiones gubernamentales para impulsar la tecnología y el éxito de proyectos en este espacio en crecimiento.

<https://energyandmines.com/>

ENERGYANDMINES

Energy and Mines

Energy and Mines es el proveedor líder mundial en información y eventos para la integración de energías renovables y soluciones con bajas emisiones de carbono para el sector minero.

A través de su serie de eventos globales (Canadá, Australia, Sudáfrica, Chile, Reino Unido), portal web, premios, clasificaciones anuales y revistas, Energy and Mines reúne a los sectores de la minería y las energías renovables para impulsar soluciones energéticas asequibles, confiables y sostenibles para las minas.

Impressum

Publicado por

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Domicilios de la empresa

Bonn y Eschborn, Alemania

Programa

Programa Recursos Extractivos y Desarrollo – X4D
Friedrich-Ebert-Allee 36
53113 Bonn, Alemania

T +49 228 44 60-1250

E info@giz.de

I www.bmz.de/rue

Distribuidor asociado

Energy and Mines

Texto

Nicolas Maennling, *Investigador Principal de Economía y Políticas (CCSI)*

Perrine Toledano, *Directora: Industrias Extractivas (CCSI)*

Diseño

creative republic, Frankfurt am Main, Alemania

Créditos fotográficos

© shutterstock

© GIZ / Jörn Breiholz (34-35)

Impresión

Braun & Sohn, Maintal, Alemania

La GIZ es responsable del contenido de la presente publicación.

Por encargo del

Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania

Versión

Marzo 2019