

INTEGRANDO ENERGÍA RENOVABLE EN LOS USOS DEL SUELO POSTERIORES A LA OPERACIÓN MINERA

Chris Hey, M.A.Sc., P.Eng.

Hilary Evans, P.Geo

Patrick Burke, MSc, R.P.Bio, CC-P

Ausenco Engineering Canada Inc.,

4515 Central Boulevard, piso18

Burnaby, Columbia Británica, V5H 0C6

Resumen

En Canadá, las empresas mineras que planifican el cierre de una mina y el uso del suelo tras su operación deben tener en cuenta el desarrollo de energía renovable. En este documento brindamos información sobre la integración de la generación de energía renovable en la planificación del cierre de minas, mostramos ejemplos de todo el mundo en los que se ha avanzado en el uso alternativo de terrenos minados y alterados, y mostramos un modelo básico de flujo de caja que ilustra los beneficios socioeconómicos de integrar una instalación de energía eólica en un proyecto minero.

Esta presentación será de interés para los operadores y propietarios de minas que estén planificando el cierre y busquen un uso beneficioso del suelo tras el cierre de la mina. Sostenemos que el desarrollo de energía renovable es una opción superior a los planteamientos tradicionales, como la rehabilitación ecológica, porque su maduración es más rápida, tiene mayores garantías de éxito, proporciona ingresos tras el cierre de la mina y ofrece un valor adicional para alcanzar los objetivos de Net Zero. Creemos que los sitios mineros industrialmente comprometidos desempeñan un papel importante en la transición energética mundial libre de emisiones de carbono.

Introducción

El cierre de minas y la clausura de sitios brownfield fuertemente impactados fomenta o incluyen altas expectativas para el éxito de la rehabilitación y usos beneficiosos, a menudo centrándose en un retorno a los ecosistemas anteriores a la perturbación para mantener la fauna. Los desafíos para lograr una rehabilitación que satisfaga las altas expectativas de uso beneficioso son muchos y variados: contaminación del sitio, mejora del sustrato, la reparación de la pendiente y el relieve, la revegetación, la pérdida de conectividad ecológica y el control de la erosión. La recuperación a un estado anterior a la perturbación o de un estado útil para la fauna es difícil de realizar, costosa y puede no ser el mejor uso de la tierra.

En este artículo, presentamos una opinión según la cual uno de los usos más beneficiosos de la mina posterior al cierre y los sitios brownfield clausurados, es la generación de energía renovable. Esto en comparación con las rehabilitaciones para la fauna, a menudo prometidas y rara vez realizadas en muchos casos. Históricamente, solo hay unos pocos ejemplos en los que se han superado los desafíos de

recuperación y se ha logrado un uso beneficioso para la fauna, y estos han tardado muchos años en lograrse.

Antecedentes y contexto

La planificación del uso final de la tierra es un requisito en el proceso de permisos de minería en la Columbia Británica (BC, sus siglas en inglés) y muchas otras jurisdicciones en todo el mundo. En BC los usos finales de la tierra para vertederos importantes, instalaciones de relaves y otras tierras de proyectos mineros que se recuperarán deben especificarse en los planes de cierre y deben ser aprobados por el director de permisos. Los siguientes extractos del Código de Salud, Seguridad y Recuperación para Minas en Columbia Británica (HSRC, por sus siglas en inglés) del Ministerio de Energía, Minas e Innovación con Baja Emisión en Carbono de Columbia Británica (BC EMLI, por sus siglas en inglés) establece lo siguiente con respecto al uso final del terreno:

Uso del suelo

10.7.4 La superficie del terreno deberá recuperarse para un uso final aprobado por el jefe de permisos que tenga en cuenta los usos anteriores y potenciales.

Capacidad

10.7.5 Excluyendo los terrenos que no vayan a ser recuperados, la capacidad media del terreno que se alcance en los terrenos restantes no deberá ser inferior a la media que existía antes de la explotación minera, a menos que la capacidad del terreno no sea coherente con el uso final aprobado del terreno o comprometa la estabilidad física y/o geoquímica a largo plazo.

Donde, "capacidad de la tierra" significa la capacidad de lograr un uso específico de la tierra estimado por las limitaciones como resultado del clima, la topografía y los suelos (BC EMLI, 2022).

Las prescripciones para la selección del uso del suelo en el HSRC indican que la capacidad media del suelo que debe alcanzarse en los terrenos mineros recuperados debe igualar o mejorar la capacidad del uso del suelo anterior a la explotación minera. A pesar de estas prescripciones, existen excepciones, especialmente cuando debe garantizarse la estabilidad física y/o geoquímica a largo plazo.

Usos del suelo posteriores a la minería históricamente aceptados

Ausenco completó dos revisiones de alto nivel de los usos finales del suelo aceptados para las minas:

- I. Muestra aleatoria de los principales proyectos mineros de Columbia Británica
- II. Revisión bibliográfica de la información disponible públicamente

Usos del suelo posteriores a la minería de las principales minas de BC

El método de muestreo aleatorio (método I) utilizó la información pública disponible en el portal de Grandes Minas de Columbia Británica para elaborar una lista completa de proyectos mineros, asignar un número de proyecto a cada mina y seleccionar al azar 21 de las 74 explotaciones del portal de Grandes Minas de Columbia Británica. Se revisaron los informes de permisos mineros y de recuperación de las minas seleccionadas para identificar los objetivos finales de uso del suelo, que se registraron.

Los usos del suelo identificados mediante los dos métodos descritos anteriormente son:

- Usos tradicionales (11)
- Hábitat de fauna y flora silvestres (16)
- Ganadería y pastoreo (4)
- Silvicultura (3)
- Usos industriales (1, vertedero de troncos)
- Recreación y Turismo (8)

Utilizando el método de muestreo aleatorio, encontramos una serie de usos del suelo tras la explotación minera, pero no identificamos la energía renovable como un uso común del suelo. En la revisión bibliográfica (más abajo), describimos un ejemplo de instalación de energía renovable en un emplazamiento minero clausurado en Columbia Británica.

Usos internacionales del suelo posteriores la minería a partir de la revisión bibliográfica

El método de revisión bibliográfica (Método II) consistió en una revisión bibliográfica de alto nivel utilizando documentos de acceso público, artículos de prensa, publicaciones técnicas y otras fuentes para identificar proyectos mineros que hayan implantado usos alternativos finales del suelo. En las siguientes secciones se destacan ejemplos notables de usos del suelo posteriores a la explotación minera en diversas jurisdicciones que incorporan la generación de electricidad renovable, organizados por tipo de generación de energía renovable.

Generación de electricidad solar:

La instalación de energía solar SunMine de Teck Resources Limited en Kimberley, Columbia Británica, es una instalación solar de 1 MW que ha estado operativa desde 2016 y fue la primera instalación solar conectada a la red en Columbia Británica. La SunMine está ubicada en terrenos recuperados tras el cierre de la antigua mina Sullivan; los terrenos fueron liberados del permiso de la mina Sullivan (Permiso M-79) en 2014 para el desarrollo de la instalación solar (BC EMLI, 2014).

Instalaciones de generación de energía solar que incluyen 175 paneles fotovoltaicos instalados en 8 hectáreas de una mina de Molycorp, Inc. cerca del pueblo de Questa, Nuevo México. Esto se hizo como parte de un proyecto para evaluar varios escenarios de cobertura del suelo en preparación para el cierre de la zona de estériles. Se trata de un emplazamiento registrado en el Superfondo de la EPA de EE.UU. en el que se depositaron más de 328 millones de toneladas de residuos rocosos potencialmente generadores de ácido en nueve pilas que rodeaban un tajo abierto, y donde las filtraciones provocaron la contaminación de las aguas subterráneas y el suelo. (U.S. EPA, 2011).

Las antiguas explotaciones mineras de lignito de Espenhain, Alemania, han convertido los terrenos de decantación de cenizas de la antigua mina de Espenhain en instalaciones de energía solar conocidas como la central solar de Leipziger Land (LLSPP). La LLSPP se construyó en 2004, cubriendo inicialmente unas 20 hectáreas de terrenos afectados por la mina, y constaba de 33.500 módulos solares que producían 5 MW de electricidad. La planta se amplió en 2005 con la construcción de la planta solar de Borna en el emplazamiento de una antigua fábrica de briquetas; la planta solar de Borna creó 3,4 MW adicionales de capacidad de generación eléctrica. (EPA, 2011).

Generación eólica de electricidad:

Encontramos dos antiguas minas de carbón que utilizan turbinas eólicas para generar electricidad tras la extracción. El parque eólico de Klettwitz, situado en el emplazamiento de una antigua mina de carbón en

Alemania, utiliza 38 aerogeneradores para generar 100 GWh de electricidad al año. En Kilronan (Irlanda) hay una instalación de energía eólica que genera 14 GWh de electricidad al año. (NRC DE EE.UU., 2003).

La mina de carbón Dave Johnston, en Wyoming, empezó a funcionar en 1958 y la recuperación final de una parte de los terrenos afectados por la mina comenzó en 1999. La mina era propiedad de PacifiCorp, que operaba como Rocky Mountain Power. La empresa determinó que la zona tenía excelentes recursos eólicos y acceso a las instalaciones de transmisión existentes y optó por construir el parque eólico de Glenrock en terrenos de la empresa, que incluían los antiguos terrenos de la mina. El parque eólico de Glenrock se construyó en la antigua mina de carbón de Dave Johnston, en la cuenca Powder River de Wyoming. Los trabajos de recuperación finalizaron en 2005 y el parque eólico de Glenrock se terminó en 2009. La instalación tiene una capacidad de generación de energía de 237 megavatios con 158 turbinas capaces de producir 1,5 MW cada una. La adición de turbinas eólicas exigió un cambio en el uso del suelo aprobado tras la explotación minera, que pasó de pastoreo/vida silvestre a comercial/industrial de conformidad con la normativa minera jurisdiccional (EPA DE LOS EE.UU., 2012).

El proyecto eólico Mount Storm de NedPower es un parque eólico de 132 turbinas situado en parte en terrenos afectados por minas de carbón y roca dura en Virginia Occidental. La instalación genera hasta 264 MW de electricidad para la red eléctrica del Atlántico medio (TETHYS, 2023). El 99% del terreno seguirá siendo utilizable para otras actividades, incluida la agricultura. (EPA, 2012)

Generación hidroeléctrica

En la antigua mina de Summitville, en el condado de Rio Grande (Colorado), se construyó una central hidroeléctrica para suministrar energía a las operaciones de tratamiento de aguas in situ. La mina Summitville, de 560 hectáreas, registrada como emplazamiento del Superfondo por la EPA de EE.UU., es una antigua explotación abandonada de lixiviación en pilas de oro y plata que ha afectado a las aguas superficiales tanto dentro como fuera del emplazamiento. (U.S. EPA, 2009).

Almacenamiento de energía renovable

La Agencia Australiana de Energías Renovables (ARENA) ha aprobado condicionalmente una financiación de hasta 47 millones de dólares para la construcción de un proyecto de almacenamiento hidroeléctrico por bombeo de 250 MW de capacidad y 2.000 MWh de potencia en la antigua mina de oro de Kidston. El proyecto utilizará dos antiguos pozos de la mina como depósitos para el almacenamiento de energía por bombeo. El emplazamiento incluye un parque solar de 50 MW en funcionamiento y un parque eólico de 150 MW en construcción. (ARENA, 2021)

En 2019 se construyó una instalación de almacenamiento de energía de aire comprimido en antiguos terrenos de minas de sal en Goderich, Ontario, que proporciona 10 MWh de capacidad de almacenamiento (Butler, 2019).

Energía geotérmica

Diversos estudios de casos han puesto de manifiesto las ventajas económicas y medioambientales de la utilización de depósitos de energía geotérmica creados a partir de las explotaciones mineras inundadas para proporcionar calefacción y refrigeración a los edificios. ³Las antiguas minas de carbón de Springhill (Nueva Escocia) suministran aproximadamente 4 millones de metros cúbicos de agua a 18 °C que se utilizan para calentar el edificio Ropak Can-Am, lo que, según las estimaciones de la empresa, supone un ahorro de 160.000 dólares al año en comparación con un sistema equivalente de horno de petróleo, con un periodo de amortización inferior a un año. (Jessop, 1995). Otros estudios históricos examinaron el uso de

la calefacción geotérmica de la mina de Riondel en Quebec (Desroches, 1992) la mina Sullivan en la Columbia Británica (Evans, 2017) y la mina Con en los Territorios del Noroeste (Ghomesei, 2007).

Biocombustibles

Un programa dirigido por Emissions Reduction Alberta en terrenos mineros recuperados en la mina Paintearth, cerca de Forestburg, Alberta, está investigando el uso de biosólidos municipales y otros residuos orgánicos para enmendar la capa superficial del suelo existente y establecer cultivos de biomasa de sauce de rápido crecimiento para el desarrollo de biocombustibles y bioproductos. (Reducción de emisiones en Alberta, 2020).

Otros proyectos que combinan la recuperación de minas con el uso de biosólidos municipales y enmiendas orgánicas para la producción de bioenergía son el proyecto Green Mines Green Energy de Natural Resource Canada en la instalación central de relaves de Copper Cliff en Sudbury, Ontario (Hargreaves, et al., 2012).

Se han estudiado los suelos mineros recuperados en las regiones mineras de carbón de los Apalaches para evaluar la mejora de las condiciones del suelo, el secuestro de carbono y la protección de las tierras de cultivo para el suministro de alimentos. Las tierras de minas de carbón recuperadas cerca de Zanesville, Ohio, demostraron un crecimiento satisfactorio de la biomasa y la cosecha de maíz y miscanthus para la producción de energía. (Ussiri, Guzman, Lal, & Somireddy, 2019).

Ejemplos de operaciones mineras activas que utilizan energías renovables en Canadá

Hay muchos ejemplos de integración de electricidad renovable en proyectos mineros para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de los combustibles fósiles. Algunos ejemplos recientes son:

- La mina Raglan de Glencore, en el norte de Quebec, instaló una turbina eólica de 3 MW en 2014, que compensó más de 10 ML de combustible diésel y 28.000 toneladas de emisiones de GEI (The Mining Association of Canada, 2021). El desarrollo de la turbina eólica del estudio en la mina de Raglan demuestra la fuente de combustible fiable, económica y baja en carbono para la generación de electricidad en minas remotas (Simard, Fytas, Paraszczak, Laflamme, & Agbossou, 2017)
- Voisey's Bay tiene previsto poner en marcha una instalación de energía eólica de 21 MW con 6 MW de almacenamiento en baterías en 2024 para reducir el consumo de gasóleo de la mina en 10 ML al año y las emisiones de GEI en unas 28.000 toneladas. (Envest, 2022).
- El parque eólico Diavik tiene una capacidad de 9,2 MW y proporciona aproximadamente el 10 % de los requisitos de electricidad de la mina. En su primer año de operación, redujo los requerimientos de Diesel en 3.8 ML, equivalentes a aproximadamente \$5 M. Se estima que el proyecto tardará ocho años en generar una recuperación económica y tendrá una reducción estimada de emisiones de GEI de 12,000 toneladas (Arctic Council Working Group, 2023).

Las instalaciones hidroeléctricas a gran escala han suministrado energía a las explotaciones mineras de Canadá (Vale, 2018) y operaciones mineras en todo el mundo durante décadas, mientras tanto las minas están empezando a incorporar la generación de energía solar a escala de gigavatios su suministro de

energía (Riot Tinto, 2022) en, mientras que algunas empresas planean pasar a un suministro de energía 100% renovable para 2030 (Fortescue Metals Group, 2022).

Requisitos similares para proyectos mineros y de energía renovable

Los proyectos mineros y los de energías renovables presentan varias similitudes en cuanto a las infraestructuras clave y la necesidad de consultas, estudios de referencia y permisos.

Al evaluar las perspectivas de desarrollo de los proyectos de exploración minera, algunos elementos clave de la infraestructura son la proximidad a los principales corredores de transporte, las líneas de transmisión eléctrica y la mano de obra local disponible. Estos mismos elementos son beneficiosos para la ubicación de proyectos de energías renovables, con la diferencia más notable de que los proyectos de energías renovables buscan suministrar electricidad a la red eléctrica en lugar de utilizarla para las operaciones, como es el caso de la minería.

Otra similitud entre los proyectos mineros y energéticos es la necesidad de consultar a los pueblos indígenas, las comunidades locales y las partes interesadas. La determinación del uso final de la tierra y de los usos posteriores a la minería requiere la aportación de estos grupos, que deben ser consultados a la hora de evaluar la construcción de proyectos de energías renovables. Por lo tanto, es posible que se consigan sinergias y eficiencias en estas consultas introduciendo la energía renovable como uso final del suelo para los proyectos mineros.

Una notable similitud entre los proyectos mineros y los de energías renovables es la variación de los requisitos de autorización según la jurisdicción. Los proyectos mineros suelen requerir detallados estudios ambientales, geotécnicos y socioeconómicos de referencia, todo lo cual exige tiempo y gastos como parte de la planificación y el desarrollo. Los proyectos de energías renovables requieren un conjunto similar de estudios e investigaciones para apoyar la concesión de permisos y el diseño. Existen solapamientos sustanciales en las actividades de recopilación de información necesarias para el diseño y la autorización de proyectos mineros y de energías renovables. En la mayoría de las jurisdicciones, tanto los proyectos mineros como los de energías renovables requieren planes de recuperación y uso final del suelo.

Si bien la integración de proyectos de energías renovables con proyectos mineros y como uso final de la tierra tiene muchas ventajas, se entiende que existen limitaciones en cuanto a la aceptación, viabilidad y factibilidad de dichas integraciones. En algunos casos, puede haber un mayor deseo de devolver la tierra a su uso tradicional por parte de los Pueblos Indígenas o de establecer otros usos de la tierra como hábitat de vida silvestre. Sin embargo, la posibilidad de convertir tierras afectadas por la minería en proyectos de energías renovables debe plantearse a todas las partes potencialmente afectadas. Además, se entiende que, aunque muchos proyectos mineros de la provincia están conectados a la red eléctrica provincial de Colombia Británica, muchas operaciones requieren el uso parcial o total de la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles para alimentar las instalaciones de la mina, y las compensaciones económicas y medioambientales de cada caso requieren una evaluación cuidadosa.

Beneficios de la Integración de Proyectos de Energía Renovable en Proyectos Mineros y como Uso de Suelo Posteriores a la Minería

Se prevé que el aumento de la electrificación de la flota minera incremente la demanda de electricidad durante las operaciones mineras cuando existan suficientes conexiones a la red eléctrica o instalaciones generadoras. La descarbonización de la industria minera y de la producción de electricidad ofrece

importantes oportunidades para reducir la contaminación atmosférica y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

La BC EMLI HSRC requiere que "la capacidad *media del suelo que se alcance en los terrenos restantes no sea inferior a la media que existía antes de la explotación minera*". Si bien puede variar en función de cada caso, se supone que la capacidad potencial de las tierras de los proyectos de energías renovables es relativamente alta debido a los posibles beneficios económicos y medioambientales.

Además de proporcionar un uso de alta capacidad para las tierras afectadas por las minas, la incorporación de infraestructuras de energías renovables en tierras que ya han sido afectadas por la minería reduce el uso de otras tierras de alta capacidad para la construcción de proyectos renovables. Recientes artículos de prensa han descrito la preocupación por el uso de tierras de alta capacidad (como las tierras de cultivo), que están siendo degradadas por la instalación de proyectos eólicos y solares (Cowley, 2023). Además, la investigación académica indica que los impactos ambientales de las instalaciones solares pueden conducir a la degradación de los suelos y al aumento de la liberación neta de CO₂ derivada de las pérdidas de carbono terrestre (van de Ven, et al., 2021). La ubicación de instalaciones de energías renovables en terrenos afectados por minas proporciona un uso del suelo de gran capacidad para los terrenos afectados por minas y reduce la necesidad de alterar terrenos adicionales.

Los beneficios económicos de incluir instalaciones de energías renovables en un proyecto minero, ya sea para suministrar electricidad a las operaciones o como uso del suelo posterior a la explotación minera, incluyen la creación de empleos adicionales directos e indirectos. La construcción y el mantenimiento de instalaciones de energía renovable ofrecen oportunidades para la transición de la mano de obra a medida que las operaciones mineras se cierran; incluso puede proporcionar empleo adicional además de la mano de obra demandada por las operaciones mineras. La electricidad renovable puede utilizarse para reducir la dependencia del suministro de combustibles fósiles para las minas y las comunidades locales, y como fuente de ingresos e impuestos.

Dado que los proyectos de energías renovables también requieren un plan de recuperación, puede entenderse que la inclusión de proyectos de energías renovables como uso final de las tierras afectadas por las minas no significa necesariamente que el emplazamiento vaya a albergar estructuras mineras o turbinas eólicas a perpetuidad. La eventual devolución de la tierra a usos tradicionales, zonas de vida silvestre u otros usos puede incorporarse al plan general de transición del emplazamiento.

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (U.S. EPA) sugiere que los beneficios de desarrollar instalaciones de energías renovables en tierras afectadas por minas incluyen (U.S. EPA, 2011):

Impactos ecológicos

- Facilitar la limpieza del emplazamiento
- Emisiones reducidas
- Reducción del uso de combustibles fósiles
- Calidad del agua
- Gran huella terrestre

Impacto económico

- Creación de empleo
- Aumento de los ingresos
- Revitalización de propiedades contaminadas
- Seguridad energética local
- Desarrollo económico

Modelo económico básico de integración de las energías renovables

Los autores han desarrollado un sencillo modelo de flujo de caja de una explotación minera para ilustrar los posibles beneficios económicos de integrar proyectos de energía renovable en proyectos mineros.

Suposiciones:

Uso del suelo	Mina	Instalación de energía eólica (capacidad de 200 MW)
Gastos de capital (CAPEX) (\$M)	500	300
Vida útil (años)	10	25
Período de cierre (años)	25	1
Tasa de descuento	7%	7%

Se modelaron tres escenarios para evaluar el valor presente neto (VPN) descontado y sin descontar del proyecto en general. La instalación de energía eólica en este caso se basa en las características promedio del sitio de viento terrestre de 2021 informadas por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (Stehly & Duffy, 2022), con costos de electricidad provenientes de la provincia natal del autor, Alberta (16,7 centavos por kWh en el momento de escribir este artículo). La instalación de energía eólica tiene las siguientes características:

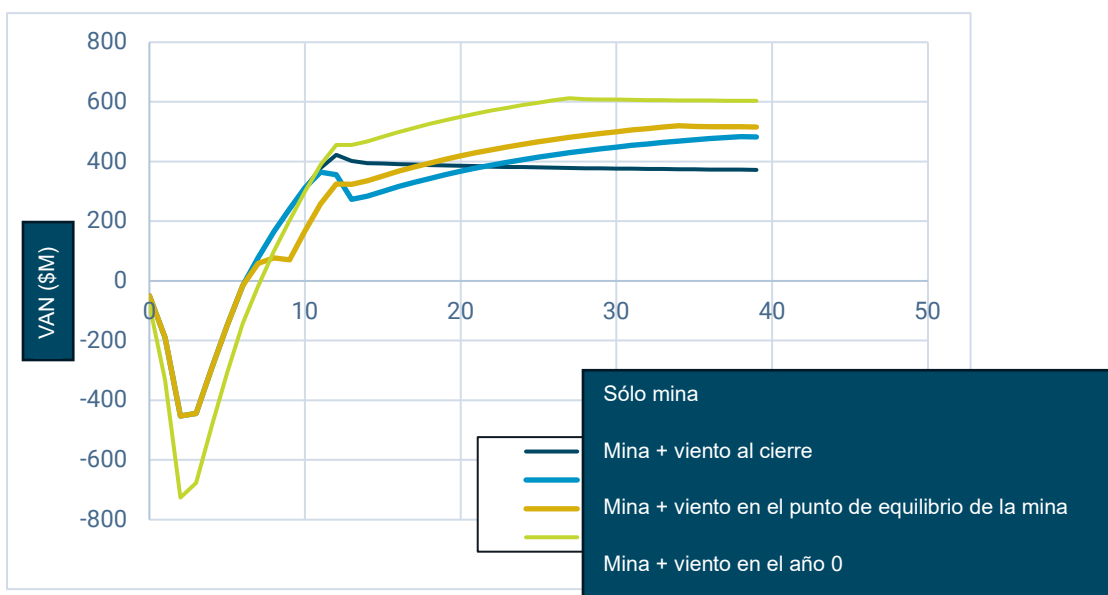
Escenario 1: Ningún proyecto de energía renovable desarrollado

Escenario 2: Turbinas eólicas operativas en el año del cierre de la mina

Escenario 3: Proyecto de turbina eólica CAPEX iniciado en el primer año después de que la operación minera logre un VAN descontado positivo (punto de equilibrio)

El modelo simplificado de flujo de caja arroja los siguientes VAN del proyecto a lo largo de la vida total de la mina (operaciones + cierre):

Escenario	Valor actual neto en el año 39 (VAN) (millones)
Escenario 1: Sin viento	\$372
Escenario 2: Viento al cierre	\$481
Escenario 3: Viento en el punto de equilibrio de la mina	\$516
Escenario 4: Viento en el año 0	\$ 603



Se calcula que los beneficios socioeconómicos de los proyectos de energía eólica son de aproximadamente 130 puestos de trabajo en la construcción en su punto álgido para un proyecto de 100 MW, con aproximadamente 7-11 empleados equivalentes a tiempo completo (ETC) a largo plazo por cada 100 MW de capacidad instalada (Adelman, 2020). Por lo tanto, se estima que se crearían más de 100 puestos de trabajo durante el proceso de construcción, con aproximadamente 14 a 22 puestos de trabajo a largo plazo durante toda la duración del proyecto, además de los puestos de trabajo creados a partir de la operación minera.

El modelo no tuvo en cuenta el ahorro en daños medioambientales mitigados por la perturbación de dos emplazamientos (uno para la mina y otro para la instalación de energía eólica). Se sugiere que en futuros trabajos se examinen las ventajas de minimizar las perturbaciones medioambientales mediante la ubicación conjunta de proyectos mineros y renovables. Las posibilidades de ubicación conjunta pueden

incluir innovaciones como la instalación de paneles solares fotovoltaicos sobre conducciones de aguas superficiales (McKuin, et al., 2021).

El modelo financiero tampoco incluye ninguna reducción de la fianza de cierre o de la garantía financiera. Puede haber mecanismos reguladores que faciliten la devolución de la garantía financiera (por ejemplo, devolución de bonos) para el cierre de minas, lo que podría compensar aún más los costes de capital para la construcción de energía renovable.

El costo de capital necesario para desarrollar proyectos mineros ya es un reto para los operadores mineros; es probable que aumentar los requisitos de gasto de capital añadiendo infraestructuras de energía renovable sea desagradable para los responsables de la toma de decisiones financieras y los accionistas. Una solución a los retos que plantean los gastos de capital necesarios para desarrollar la generación de energía renovable en estos escenarios es el modelo de energía renovable como servicio (REaaS, por sus siglas en inglés), en el que un tercero desarrolla la infraestructura de energía renovable y vende la electricidad generada a la empresa minera. Esto incrementa marginalmente los costos de la energía a lo largo de la vida útil de la mina en comparación con si la empresa minera fuera propietaria absoluta de la infraestructura, pero alivia la carga de los gastos de capital.

Conclusiones y declaraciones prospectivas - ¿Y ahora qué?

El éxito de la instalación de capacidad de energía renovable en tierras afectadas por minas en todo el mundo indica que la energía renovable es un uso viable y sostenible de la tierra tras la operación minera que debería tenerse en cuenta para proyectos en el contexto canadiense.

La recientemente aprobada Ley de Reducción de la Inflación en los Estados Unidos de América incluye disposiciones para las "Comunidades Energéticas", que se definen como "zonas... que han dependido económicamente de la extracción, el procesamiento, el transporte o el almacenamiento de carbón, petróleo o gas natural, pero que ahora se enfrentan a un desempleo superior a la media". (The White House, 2023). Con la introducción de incentivos financieros para el desarrollo de proyectos de energías renovables en zonas que han dependido de las industrias extractivas de combustibles fósiles, no es descabellado sugerir que puedan desarrollarse medidas similares para apoyar las transiciones socioeconómicas de economías mineras a economías de energías renovables.

Los beneficios sociales asociados al uso del suelo con energías renovables en sitios mineros pueden ser sustanciales. La generación continua de ingresos de la instalación de energía renovable apoya empleos bien remunerados y oportunidades de formación para los trabajadores de la mina.

Por último, Canadá dispone de numerosas opciones de generación de electricidad renovable, desde la eólica a la hidráulica, pasando por la solar y la geotérmica. Para cumplir los compromisos del Acuerdo de París de 2015, se prevé que la necesidad de generación de electricidad con bajas emisiones de carbono se duplique en los próximos veinte años, lo que significa triplicar la capacidad de generación de electricidad

a partir de fuentes renovables y variables. Se esperan inversiones sustanciales en energías renovables en las próximas décadas y la industria minera podría desempeñar un papel importante en el cumplimiento de estos objetivos en Canadá.

Referencias

- Adelman, L. (2020, abril). *Impacto económico de las turbinas eólicas: Local Employment*. Obtenido de University of Michigan: <https://graham.umich.edu/media/pubs/Wind-Turbine-Economic-Impact-Local-Employment-46932.pdf>
- Grupo de Trabajo del Consejo Ártico. (2023, 04 12). *Diavik Wind Farm Yellowknife Canada*. Extraído de Arctic Council Working Group: <https://arctic-council.org/about/working-groups/acap/home/projects/arctic-black-carbon-case-studies-platform/diavik-wind-farm-yellow-knife-canada/>
- ARENA. (2021, 24 de marzo). *Kidston gold mine lives on as pumped hydro plant*. Obtenido de ARENAWIRE - Australian Renewable Energy Agency: <https://arena.gov.au/blog/queensland-gold-mine-lives-on-as-pumped-hydro-plant/#>
- Agencia australiana de energías renovables. (2019, febrero). *Mina de zinc del sur de Australia se convertirá en la primera instalación de aire comprimido de Australia para el almacenamiento de energía renovable*.
- BC EMLI. (2014, 25 de junio). Liberación de "Lease Area" y "SRW Access Road" del Permiso de Recuperación M-74. Victoria, Columbia Británica, Canadá: Ministerio de Energía y Minas de la Columbia Británica.
- BC EMLI. (2022, noviembre). Health, Safety and Reclamation Code for Mines in British Columbia (Código de salud, seguridad y rehabilitación para las minas de Columbia Británica). Victoria, Columbia Británica, Canadá: Gobierno de Columbia Británica. Obtenido de https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/mineral-exploration-mining/documents/health-and-safety/code-review/health_safety_and_reclamation_code_nov2022.pdf
- Butler, C. (2019, 24 de noviembre). *Cómo una antigua mina de sal de Goderich podría algún día ahorrarte dinero en tu factura de la luz*. Obtenido de CBC News: <https://www.cbc.ca/news/canada/london/goderich-ontario-compressed-air-energy-storage-1.5369478>
- Chowdhury, D., & Sircar, A. (2023, 01 20). *Fortescue ve cómo las energías renovables superan al negocio del mineral de hierro*. Obtenido de Mining.com: <https://www.mining.com/web/fortescue-sees-renewables-overtaking-iron-ore-business/>
- Cowley, P. (2023, 12 de enero). El uso de terrenos agrícolas para granjas solares preocupa cada vez más a los residentes rurales. Red Deer *Advocate*. Red Deer, Alberta, Canadá.
- Desroches, D. (1992). *Estudio de viabilidad geotérmica para el uso de agua caliente cerca de Riondel, Columbia Británica*. Vancouver: Servicio Geológico de Canadá.

- Reducción de emisiones Alberta. (2020). *Biosalix: Recuperación de minas y producción de biomasa*. Obtenido el 12 de abril de 2023, del sitio Web: <https://eralberta.ca/projects/details/biosalix-mine-reclamation-and-biomass-production/>.
- Envidia. (2022, 04 12). *Voisey's Bay Wind*. Obtenido de Envest: <https://envestcorp.com/voiseys-bay-wind/>
- Evans, H. (2017). *Aprovechar el calor de la Tierra: Using an Old Mine for New Energy*. Victoria: Universidad de Victoria.
- Grupo Fortescue Metals. (2022, 20 de septiembre). *Fortescue Announces Execution Plan for Industry Leading Decarbonisation*. Extraído de FMG ASX Release: https://www.fmg.com.au/docs/default-source/announcements/fortescue-announces-execution-plan-for-industry-leading-decarbonisation.pdf?sfvrsn=7b20d3db_2
- Ghomesei, M. (2007, 01 de julio). *Geothermal energy from Con Mine for Heating the City of Yellowknife, NWT: A concept study*. Obtenido del Departamento de Energía de EE.UU.: <https://www.osti.gov/etdweb/biblio/21036526>
- Hargreaves, J., Lock, A., Beckett, P., Spiers, G., Tisch, B., Lanteigne, L., . . . Soenens, M. (2012). Idoneidad de una cubierta orgánica residual sobre estériles para la producción de cultivos bioenergéticos: A preliminary assessment. *Canadian Journal of Soil Science*, 92, 203-211. doi:<https://doi.org/10.4141/cjss2010-056>
- Jessop, A. (1995). Geothermal Energy from Old Mines at Springhill, Nova Scotia, Canada. *Congreso geotérmico mundial*. Asociación Internacional de Geotermia.
- Riot Tinto. (2022, 11 30). *Rio Tinto planea más inversiones en energías renovables en Pilbara*. Obtenido de RioTinto: <https://www.riotinto.com/en/news/releases/2022/rio-tinto-plans-further-investment-in-renewable-energy-in-the-pilbara>
- Simard, S., Fytas, K., Paraszczak, J., Laflamme, M., & Agbossou, K. (2017). Oportunidades de energía eólica para sitios mineros remotos en el norte canadiense. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 173-178. doi:10.24084/repqj15.262
- Stehly, T., & Duffy, P. (2022, diciembre). *2021 Cost of Wind Energy Review*. Obtenido de <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/84774.pdf>
- TETHYS. (2023, 14 de abril). *NedPower Mount Storm LLC*. Obtenido de TETHYS: <https://tethys.pnnl.gov/organization/nedpower-mount-storm-llc>
- Asociación de Mining de Canadá. (2021, 07 30). *Glencore's Focus on Wind Power*. Obtenido de The Mining Association of Canada: <https://mining.ca/resources/canadian-mining-stories/glencore-wind-power/>
- La Casa Blanca (2023, 9 de enero). *Building A Clean Energy Economy: A Guidebok to the Inflation Reduction Act's Investments in Clearn Energy and Climate Action*. Obtenido de <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/12/Inflation-Reduction-Act-Guidebook.pdf>
- U.S. EPA. (2009, enero). *Re-Powering America's Land: Siting Renewable Energy on Potentially Contaminated Land and Mine Sites - Summitville Mine, Rio Grande County, Colorado Success*

Story Hydroelectric Plant Powers Contaminated Water Treatment at Former Gold Mine.

Obtenido de United States Environmental Protection Agency:

https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-04/documents/success_summitvillemine_co.pdf

U.S. EPA. (2011). *Celebrando el éxito: Molycorp, Inc. Questa, Nuevo México*. Obtenido del sitio web: doi:10.7748/es.16.6.11.s14

U.S. EPA. (2011). *Shining Light on a Bright Opportunity Developing Solar Energy on Abandoned Mine Lands*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://semspub.epa.gov/work/11/176032.pdf>

U.S. EPA. (2012, marzo 010). *A Breath of Fresh Air for America's Abandoned Mine Lands Alternative Energy Provides a Second Wind*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://semspub.epa.gov/work/11/176038.pdf>

U.S. NRC. (2003, 29 de julio). *A Breath of Fresh Air for America's Abandoned Mine Lands Alternative Energy Provides a Second Wind*. Obtenido el 14 de abril de 2023, de Nuclear Regulatory Commission Library: <https://www.nrc.gov/docs/ML0532/ML053210103.pdf>

Ussiri, D. A., Guzman, J. G., Lal, R., & Somireddy, U. (2019, junio). Producción de cultivos bioenergéticos en tierras mineras recuperadas en la región de los Apalaches del Norte, Estados Unidos. *Biomass and Bioenergy*, 125, 188-195. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.04.024>

Vale. (2018, 08 14). *Gestión de la energía hidráulica*. Obtenido de Vale: <http://www.vale.com/canada/EN/aboutvale/communities/health-safety-environment/our-environment/water/water-sudbury/waterpower-management/Pages/default.aspx>

van de Ven, D.-J., Capellan-Peréz, I., Arto, I., Cazcarro, I., de Castro, C., Patel, P., & Gonzalez-Eguino, M. (2021). The potential land requirements and related land use change emissions from solar energy. *Nature*, 12. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-021-82042-5>