



# UNIVERSIDAD DE OVIEDO

DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN Y PROSPECCIÓN DE MINAS

MASTER INTERUNIVERSITARIO EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS

TRABAJO FIN DE MASTER

## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Autor: José Manuel García Cuervo.

Director: Nieves Roqueñí Gutiérrez.

Fecha: Julio 2017.

*A mi esposa Mila y a mis hijos  
Aitana y Adrián.*



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### Índice.

1.	Introducción y objetivos.....	3
1.1.	Introducción.....	3
1.2.	Objetivos. ....	4
2.	Situación actual de la minería. ....	5
3.	Proyectos mineros sostenibles.....	18
3.1.	Ciclo de Vida de los Proyectos Mineros. ....	23
3.1.1.	Fase de Exploración y Viabilidad.....	25
3.1.2.	Fase de diseño y construcción. ....	28
3.1.3.	Fase de Explotación. ....	29
3.1.4.	Fase de cierre.....	41
4.	Marco legal de aplicación al cierre de explotaciones mineras.....	46
4.1.	Etapas de cierre en La Ley de Minas.....	46
4.2.	Etapas de cierre en El Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. ....	48
4.3.	Etapas de cierre en Legislación Medioambiental.....	52
5.	Posibles escenarios de cierre en las explotaciones mineras. ....	55
5.1.	Cierres Planificados. ....	56
5.2.	Cierres no planificados.....	57
6.	Riesgos asociados al cierre. ....	59
6.1.	Riesgos Medioambientales. ....	59
6.2.	Riesgos Sociales.....	71
7.	Ejecución del Proyecto de Cierre. Vigilancia.....	75
7.1.	Casos de estudio sobre planes de control y vigilancia.....	77
8.	Metodología para la Evaluación de Proyectos de Cierre.....	83



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

8.1.	Descripción del método de evaluación.....	84
9.	Conclusiones y líneas de futuro. ....	89
10.	Bibliografía y Referencias.....	91
11.	Anexos. ....	93
11.1.	Anexo 1. Aprovechamiento de activos mineros. Casos de estudio..	94
11.2.	Anexo 2. Inventario de instalaciones de industrias extractivas cerradas y abandonadas. ....	111
11.3.	Anexo 3. Índice de figuras.....	113
11.4.	Anexo 4. Índice de tablas y cuadros. ....	116



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **1. Introducción y objetivos.**

#### **1.1. Introducción.**

Desde tiempos remotos la minería ha estado ligada al desarrollo económico, social y tecnológico de la humanidad.

La actividad minera consiste en el aprovechamiento o beneficio de rocas y minerales existente en la corteza terrestre de forma económicamente rentable. Incluye tanto las labores subterráneas como a cielo abierto que requieran la aplicación de técnica minera o el uso de explosivos, así como las necesarias para el tratamiento y beneficio de las sustancias extraídas, aplicando diversidad de técnicas dependiendo del tipo de mineral como pueden ser la trituración, clasificación por tamaños, lavado, concentración, etc.

Por ello, la industria extractiva juega un papel muy importante como suministrador de materias primas para el resto de industrias manufactureras.

La demanda creciente por parte de la sociedad de todo tipo de bienes, y teniendo en cuenta que los recursos son limitados, convierten a la industria minera en estratégica.

Los proyectos ligados a este tipo de industria son de gran complejidad y requieren de inversiones millonarias en la mayoría de los casos, tienen un alto grado de incertidumbre y en pocas ocasiones tienen claramente definido el ciclo de vida de los mismos.

Por otro lado, la actividad minera produce impactos importantes en el medioambiente causando en muchas ocasiones rechazo “sistemático” de la sociedad y organizaciones interesadas.

También produce impactos positivos como la creación de puestos de trabajo, desarrollo de comunidades y actividad económica alrededor de la misma, pues involucra en la actividad a una gran cantidad de sectores.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Hoy en día, la minería tiene la obligación de encaminarse decididamente hacia modelos de sostenibilidad y de mejora continua asumiendo un compromiso real. Sólo así, las empresas podrán sobreponerse y estar preparadas frente a factores y riesgos en continuo cambio.

### **1.2. Objetivos.**

El presente Trabajo Final de Master tiene por objetivo el estudio de Proyectos Mineros dando una visión global de los mismos para posteriormente profundizar en la etapa de cierre del proyecto.

En este sentido, analizaremos el ciclo de vida del proyecto, riesgos asociados a la etapa de cierre, evaluación de proyectos de cierre y casos de estudio.

Para la evaluación de los proyectos se ha diseñado una matriz de evaluación que contempla el desempeño de indicadores de proyecto, medioambientales, sociales y económicos dando una puntuación y calificación final.

Otro de los objetivos del trabajo es mostrar la importancia de contemplar el cierre de la actividad minera conceptualmente desde las fases iniciales del proyecto, y poder así ejecutar el mismo de modo planificado. Lo contrario conduce inevitablemente a valores de riesgo altos asociados al cierre.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **2. Situación actual de la minería.**

Las empresas mineras están luchando constantemente en un mercado global sin precedentes. Sólo las que mejor gestionen los riesgos de negocio, en constante evolución, serán capaces de sobrevivir en un futuro cada vez más exigente en todos los aspectos.

Tanto en España, como en el resto del mundo, hay que cumplir con las exigencias legales y al mismo tiempo adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado.

El nuevo escenario de la industria minera da paso a nuevos desafíos para las compañías del sector, que tendrán que invertir en nuevos sistemas de información o nuevas tecnologías capaces de generar mayor agilidad y descubrir tendencias inesperadas.

Para contar con un futuro realmente viable, las mineras deberán adaptarse y lograr un delicado equilibrio entre las expectativas a corto plazo de los inversores y sus propios objetivos empresariales a largo plazo.

En el informe de minería realizado por Deloitte “Tendencias 2015: Los 10 principales desafíos a los que se enfrentaran las compañías mineras durante el próximo año”, señala que la mayoría de compañías del sector están superando el gran desafío de la volatilidad de los mercados por medio del fortalecimiento de sus prácticas de reducción de costes y asignación de capital.

Si bien estos pasos iniciales son adecuados, para lograr un crecimiento a largo plazo, las compañías necesitan agilidad para moverse en situaciones inesperadas.

Esto exige una planificación de escenarios más cuidadosa, análisis de datos más sofisticados y una gestión de riesgos más eficaz.

Para ello, el mismo informe propone un decálogo de actuaciones a llevar a cabo por parte de las compañías mineras.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### 1. Buscar la excelencia operacional.

La fuerte caída de la productividad de la industria minera, obligó a las compañías a poner en práctica importantes estrategias de reducción de costes.

Ahora, están volcando su atención en obtener mayor productividad de sus organizaciones mediante un enfoque orientado hacia la excelencia operacional.

### 2. La innovación es la nueva clave para sobrevivir.

Las compañías mineras deberán apostar decididamente por la innovación si quieren sobrevivir al cambio constante.

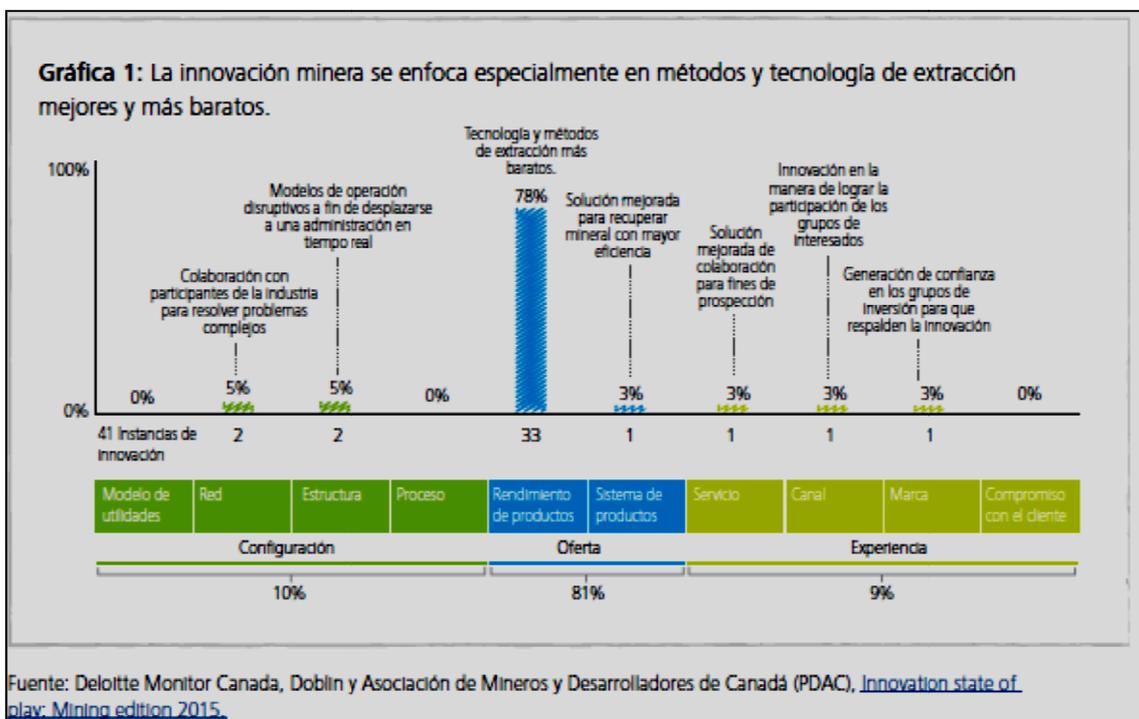


Fig. 2-1 Áreas innovación minera. Deloitte.

### 3. El nuevo paradigma de la energía.

La reducción de costes energéticos. Las empresas mineras deberán contemplar la adopción de nuevos enfoques energéticos en los que las energías renovables cada vez tienen un mayor protagonismo.

### 4. Equilibrio entre la oferta y la demanda.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

5. Acceso a la financiación: la carencia de recursos financieros repercute en todo el mercado.
6. Aunque las soluciones al problema de financiación son limitadas, las empresas deben intentar atraer inversores y contemplar diferentes alternativas de financiación.
7. Supervivencia de las empresas junior.

Las pequeñas empresas del sector minero deberán poner en orden sus activos y considerar alternativas que abarquen desde asociaciones corporativas y de riesgo compartido, hasta su propia venta o consolidación.

8. Buscar nuevas habilidades y conocimientos: las cambiantes realidades de la industria demandan una nueva generación de talentos.
9. Sobrellevar la incertidumbre geopolítica.

Aprovechamiento de las asociaciones mineras como medio para influir en las legislaciones gubernamentales, mejora en la gestión de riesgos y planificación orientada hacia múltiples escenarios posibles.

Elevar las apuestas en torno al compromiso de los grupos de interés: las compañías luchan por equiparar intereses encontrados.

10. Relaciones con el gobierno.

Búsqueda de nuevas formas de comunicación y colaboración. En definitiva una mejora global en la comunicación con la sociedad.

El siguiente gráfico muestra los riesgos a los que se enfrenta la minería en los años 2015-2016 y el posicionamiento de estos respecto al año 2014. También se muestran los referidos a los años 2016-2017.



Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

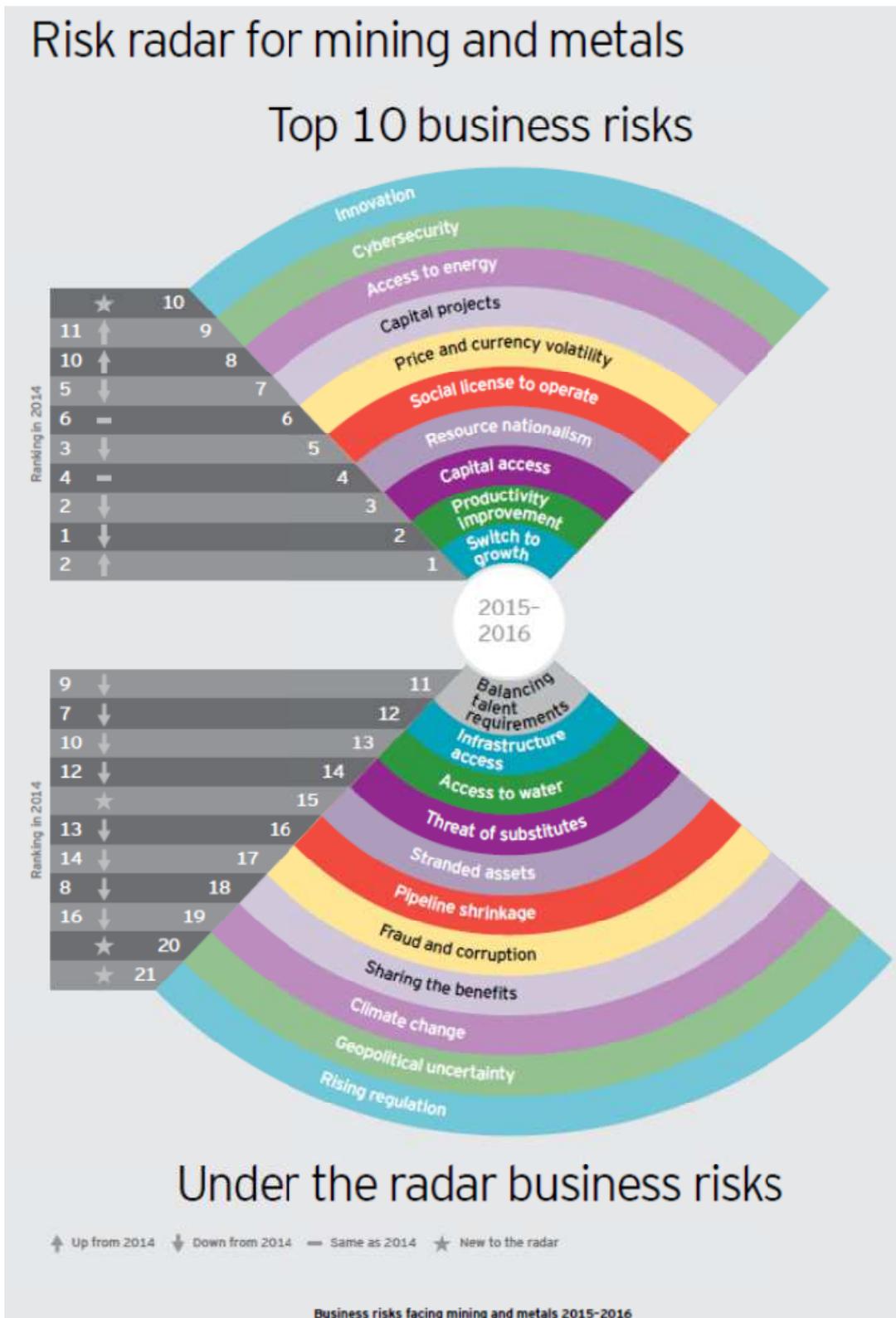


Fig. 2-2 Riesgos industria minera. Fuente: EY Business risks facing mining and metals 2015-2016.





## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

A continuación, se muestra el valor de la producción minera en España por sectores durante el año 2014.

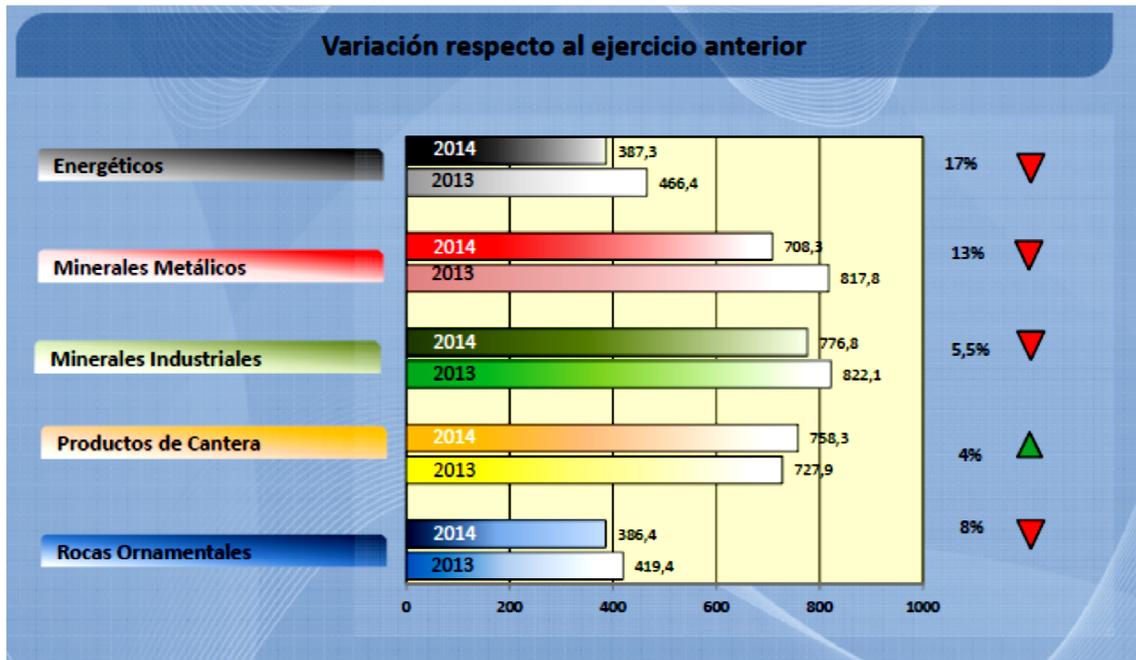


Fig. 2-4 Valor de la producción mineral en M€. Ministerio de Industria

En cuanto a la minería del carbón, es bien sabido que la producción de carbón nacional ha caído de forma considerable en los últimos años. El programa marco para la minería de carbón, los acuerdos comunitarios en cuanto a incentivos a la minería, la legislación en materia medioambiental y la falta de compromiso de los diferentes agentes, administración, empresas eléctricas y las propias empresas mineras, han llevado prácticamente a la paralización de actividad en el sector.

En el siguiente gráfico se puede apreciar claramente la disminución de la producción de carbón nacional en los últimos años.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

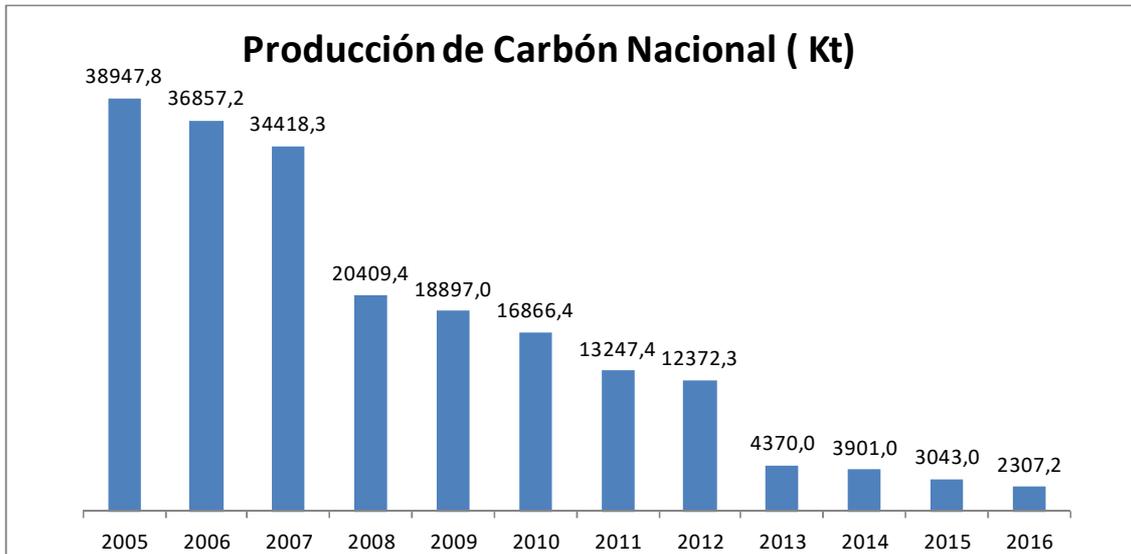


Fig. 2-5 Evolución de la producción de carbón nacional en los últimos años. Ministerio de Industria, Carbuni3n.

Como consecuencia de esto, se produce el cierre de empresas y p3rdidas de puestos de trabajo en zonas que pr3cticamente s3lo tienen esta actividad industrial.

Los siguientes art3culos demuestran la situaci3n citada anteriormente.



Fig. 2-6 ERE Uminsa y Minera Astur Leonesa. Leonoticias.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras



Fig. 2-7 Liquidación HVL. Leonoticias.

En el presente año 2017, los cambios en el precio del carbón internacional, han propiciado acuerdos de las empresas carboneras nacionales con las empresas eléctricas y han devuelto la actividad a algunas explotaciones. Esta nueva situación, si bien no garantiza el futuro del sector, da un respiro a las empresas carboneras.



Fig. 2-8 Precio de carbón internacional. La Voz de Asturias.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Respecto a la minería metálica, si bien, como se puede apreciar en el siguiente gráfico, hubo un crecimiento prácticamente exponencial, desde el año 2008 hasta el año 2012, a partir de este año, con la caída de los precios de los metales, se produjo un descenso en la producción del 50 % prácticamente. A pesar de ello, es uno de los sectores mineros del futuro en España.

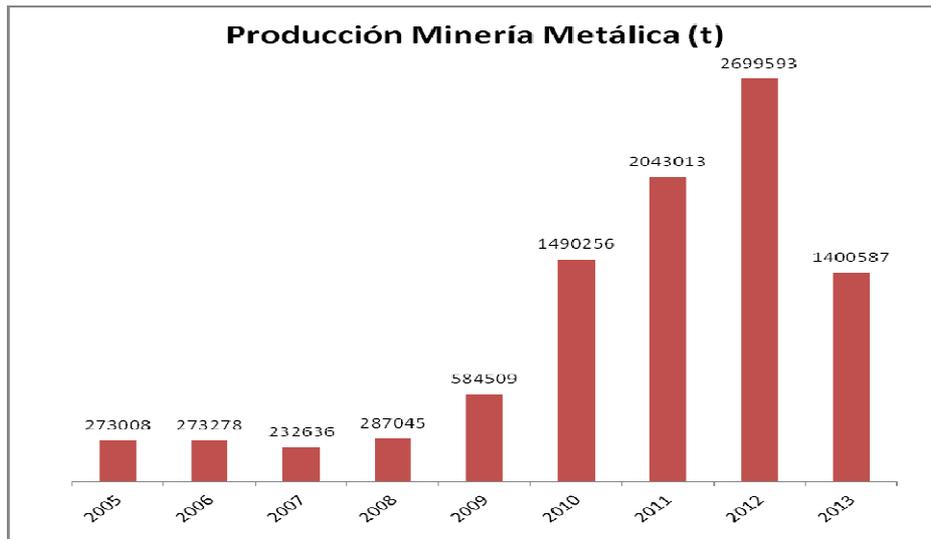


Fig. 2-9 Evolución producción minería metálica. Ministerio de Industria.

En los siguientes gráficos se puede apreciar la tendencia de precios a la baja de algunos de los metales, en concreto, Cobre y Níquel en los últimos cinco años.

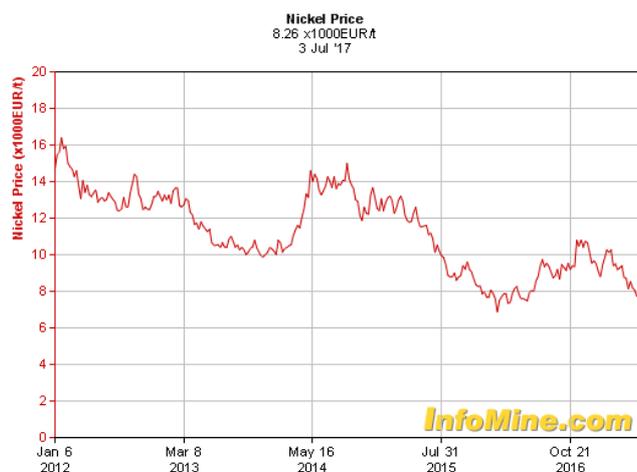


Fig. 2-10 Evolución del precio del Níquel. Infomine.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

En el 2012 el Ni tenía un precio de aproximadamente 15000 €/t y a últimos del 2016 rondaba los 8000 €/t, una bajada de aproximadamente del 50%.

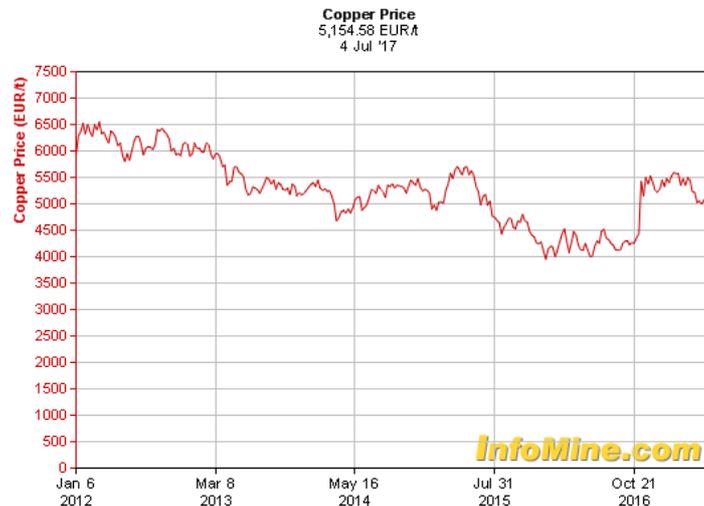


Fig. 2-11 Evolución precio del Cobre. Infomine.

El Cu también se vio afectado por la caída de precios pasando de algo más de 6000 €/t en 2012 a poco más de 4000 €/t a finales de 2015, aunque comenzaba a recuperarse.

Esto también produjo sus efectos negativos en alguna de las compañías que opera en España, como fue el caso de Luding Mining en la mina de Aguablanca en la provincia de Badajoz.



Fig. 2-12 Mina Aguablanca. El País.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

En cuanto al sector de los áridos, que está formado por las arenas, gravas y rocas fragmentadas, es el principal suministrador de materias primas para la construcción de infraestructuras, para la edificación, para la industria y para la protección del medio ambiente, lo que le convierte en un sector estratégico.

Cada español ha consumido, en 2016, unos 2.070 kilogramos anuales, es decir 5,7 kilogramos diarios (en 2007 se consumieron cerca de 33 kilogramos diarios).

Consumo de áridos para la construcción por Comunidades Autónomas (Millones de toneladas) 2016				
	2015	2016	Variación 16/15 %	Consumo toneladas por habitante
Andalucía	13,9	12,8	-7,5%	1,50
Aragón	3,4	3,5	3,3%	2,68
Asturias	3,1	3,0	-5,2%	2,83
Islas Baleares	2,5	2,6	2,9%	2,36
Islas Canarias	2,2	2,6	19,0%	1,24
Cantabria	2,7	2,1	-22,2%	3,63
Castilla y León	10,4	10,6	2,1%	4,34
Castilla - La Mancha	5,4	5,6	2,5%	2,72
Cataluña	18,1	18,5	2,3%	2,46
C. Valenciana	5,0	5,6	13,0%	1,14
Extremadura	2,6	2,0	-23,7%	1,84
Galicia	9,6	7,7	-19,7%	2,85
Madrid	7,1	7,4	4,6%	1,15
Murcia	2,4	2,7	12,3%	1,83
Navarra	4,2	3,7	-13,3%	5,71
País Vasco	5,2	4,9	-5,8%	2,24
La Rioja	1,4	1,2	-12,8%	3,88
<b>TOTAL</b>	<b>99,3</b>	<b>96,6</b>	<b>-2,7%</b>	<b>2,07</b>

**Fig. 2-13 Consumo Áridos. ANEFA.**

El consumo de áridos descendió aproximadamente un 3 % en el 2016 respecto a 2015, para 2017 se pronostica un consumo similar.

En el siguiente gráfico se puede apreciar el consumo nacional de áridos desde 1980 hasta 2017. En el mismo tenemos un punto de inflexión representando el antes y después de la crisis llegando en 2007 a un consumo máximo de



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

aproximadamente 500 millones de toneladas, a partir de este año la bajada del consumo ha sido una constante hasta los años 2012- 2013 donde se estabilizó.



Fig. 2-14 Consumo áridos serie 1980-2017.ANEFA.

Respecto a los minerales industriales, la producción se ha mantenido bastante estable desde el año 2006.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

	Producción minerales industriales 2006-2014 (miles de ton.)								
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
ARCILLA REFRAC.	84	97	88	71	117	139	78	163	206
ATTAPULGITA	21	25	27	21	28	26	24	27	27
BARITINA	37	22	10	5	2				
BENTONITA	155	147	155	147	157	111	97	103	106
CAOLÍN BRUTO	24	63	75	59	78	73	117	198	194
CAOLÍN LAVADO	151	159	124	91	106	122	130	130	107
CLORURO POTÁSICO	493	532	473	481	514	521	632	711	707
CUARZO	1.273	1.200	884	725	1.032	892	834	808	1.058
ESPATO-F ÁCIDO	137	130	123	108	124	107	98	94	118
ESPATO-F METALU.	4	4	4	3	3	4	2	4	5
ESPATO-FLÚOR CERÁMICO	8	10	9	4	1	2	7	5	5
ESTEATITA	84	78	59	47	52	12	9		
ESTRONCIO	263	128	125	52	75	87	87	85	114
FELDESPATO	675	683	690	597	692	662	530	593	533
GLAUBERITA	899	965	976	1.057	1.146	1.049	1.050	1.090	1.274
MAGNESITA CRUDA	222	197	187	165	196	239	275	352	286
MICA	13	16	14	8	12	4	4	3	4
ÓXIDOS DE HIERRO	50	65	60	27	21	58	69	58	45
PIEDRA PÓMEZ	944	879	567	437	432	303	195	166	231
PIROFILITA	11	22	11	6	6	6			
SAL GEMA	2.809	2.710	2.910	2.763	3.116	3.096	2.786	2.974	2.754
SAL MANANTIAL	116	103	102	100	93	93	101	115	157
SAL MARINA	1.481	1.332	1.291	1.339	1.243	1.315	1.222	1.221	1.359
SEPIOLITA	806	718	738	574	558	566	622	600	556
THENARDITA	153	131	128	143	135	107	175	233	267
TRÍPOLI	40	40	38	20	41	54	36	33	47
TURBA	88	87	81	59	65	87	61	82	83
WOLLASTONITA	1	5	5	3	3	3	5	7	
TOTAL	11042	10548	9954	9112	10048	9738	9246	9855	10243

Fig. 2-15 Ministerio de industria.

Además del paradigma económico, en ocasiones el mayor escollo que han de superar los proyectos mineros es el medioambiental y el social. Con una normativa cada vez más restrictiva y una sociedad temerosa de este tipo de proyectos, en ocasiones, hacen que los mismos no se lleguen a poner en marcha quedando reducidos a la fase de estudio o investigación. Es el caso del proyecto de la Mina de Oro de Salave presentado por la empresa Asturgold que no consiguió la licencia medioambiental para su ejecución.

El fin de la tramitación de un polémico proyecto

### El Principado entierra la mina de oro de Salave por sus riesgos para el entorno

La Comisión para Asuntos Medioambientales rechaza el plan de Astur Gold por los informes "contundentes" de la Confederación Hidrográfica

20.12.2014 | 05:37

Fig. 2-16 Mina Oro de Salave. La Nueva España.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **3. Proyectos mineros sostenibles.**

Muchas son las definiciones existentes del término “Proyecto”, se considera la utilizada por la guía del PMBOK del Project Management Institute que lo define como “*Un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único*”, como aplicable a cualquier tipo de proyecto y en particular a los proyectos mineros.

Podemos decir que los proyectos mineros tienen como objetivo la explotación, extracción y beneficio de los recursos minerales existentes en la corteza terrestre de forma económica y sostenible. Este tipo de proyectos tiene un origen fundamentalmente económico aunque en relación a algunos minerales puede existir una motivación más de tipo estratégico o social que determine la continuidad o cese de sus actuaciones. .

Hablar de minería sostenible parece casi un contrasentido ya que si se tiene en cuenta la definición del término “sostenible” (ref RAE): “adj. Especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente”, el propósito de un proyecto minero es precisamente explotar los recursos mineros hasta que se agoten o deje de ser viable su beneficio.

De modo más amplio, se entiende por uso sostenible o sustentable, aquel que permite que la generación presente y las generaciones futuras dispongan de los mismos recursos para su razonable desarrollo con un determinado grado de bienestar, al tiempo que la Naturaleza dispone de la capacidad necesaria para mantener sus procesos físicos, químicos y biológicos, y todo ello en el contexto científico, tecnológico, económico, social y cultural que exista en cada momento.

Al buscar la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras se busca, en definitiva, minimizar el impacto sobre el entorno que tienen las actividades mineras, al tiempo que se pretende maximizar su rentabilidad social y económica.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

La sostenibilidad, no es un concepto definido respecto a unos referentes estáticos, sino que tiene en cuenta una realidad cambiante que evoluciona y que puede adoptar contenidos hoy difícilmente previsibles. En materia de minería implica aplicar las mejores tecnologías disponibles para conseguir un desarrollo económico, que genere creación de capital humano y social que pueda sustituir el de las riquezas agotadas. Ha de tenerse para ello una visión amplia y de largo plazo, más que una puramente local y cortoplacista.

Así pues, hoy en día, encaminados de una manera decidida hacia un desarrollo sostenible, el proyecto minero ha de cumplir con tres principales premisas:

- Ha de proporcionar un crecimiento económico.
- Tiene que estar aceptado por la sociedad.
- Ha de tener las herramientas suficientes para garantizar la protección del medioambiente.

La siguiente figura plasma este concepto de sostenibilidad.



**Fig. 3-1 Premisas proyecto minero sostenible.**

En la sociedad aún persiste una percepción negativa sobre los aspectos ambientales y sociales de las operaciones y proyectos mineros, que origina conflictos entre las comunidades y las empresas mineras. En ocasiones los



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

agentes sociales observan e impiden el desarrollo de proyectos mineros sin haberse iniciado éstos y, peor aún, no permitiendo ni siquiera su presentación. Por ello, las operaciones mineras actuales y futuras tienen el complicado reto de lograr y demostrar que son sostenibles no sólo en lo económico sino también en lo social y ambiental. Facilitar información objetiva, clara y transparente sobre los esfuerzos e inversiones realizados por un gran número de empresas mineras es de vital importancia para que las comunidades, entidades públicas y la sociedad conozcan y compartan estos esfuerzos.

Es bien sabido que existen metodologías ligadas a la gestión de la calidad, medioambiente y seguridad, englobadas todas ellas bajo el concepto de mejora continua en diversas tipologías empresariales, y que tal vez supusieron el punto de partida de aplicación de sistemas de gestión de empresas que hoy en día son totalmente aplicables en la industria minera.

La siguiente figura muestra los procesos de las herramientas de mejora continua conocida como ciclo PDCA, y que se puede interpretar como la base de partida para todo sistema de gestión enfocado a la mejora, en concreto a la mejora medioambiental.



Fig. 3-2 Ciclo PDCA de mejora continua.

El concepto de minería sostenible se integró inicialmente en la política de los países desarrollados en los años 80 y 90, y posteriormente, en la de los países en vías de desarrollo. A ello contribuyó en gran medida la publicación y difusión del informe presentado por la Comisión Brundtland en 1987 ante la



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Organización de las Naciones Unidas (ONU) y la Conferencia Cumbre de la ONU, sobre desarrollo y medio ambiente de 1992 en Río de Janeiro.

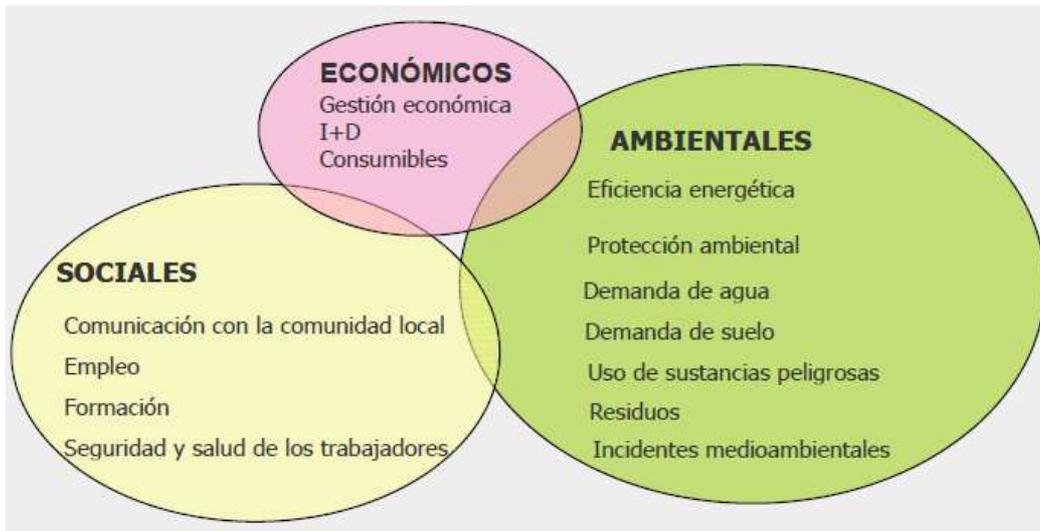
Posteriormente fueron apareciendo más publicaciones y directrices para incorporar la sostenibilidad a los proyectos mineros, destacando:

- La Comunicación de la Comisión COM (2000) 265, para promover el desarrollo sostenible en la industria extractiva no energética en la UE.
- La Guía Global Reporting Initiative (GRI) para la elaboración de Memorias de Sostenibilidad y Suplemento de Minería y Metales Metales (2002).
- Las conclusiones del Grupo de Trabajo sobre Indicadores de Desarrollo Sostenible en la Industria Extractiva No Energética, 2001 -2003de la Comisión Europea.
- El libro Industria Extractiva No Energética Española y el Medio Ambiente en el Marco de Desarrollo Sostenible. IGME. 2005.
- Los trabajos del Subcomité de Gestión Minera Sostenible, 2006, cuyo principal objetivo era la elaboración de las normas UNE, en concreto las Normas UNE-22480 y la UNE-22470, que fueron publicadas en el año 2008 y actualizadas recientemente en noviembre de 2015.

Se puede decir que España es uno de los países pioneros en la aplicación de normas o sistemas de gestión minera sostenible, las normas **UNE-22480 Sistemas de Gestión Minera Sostenible. Requisitos** y la norma **UNE-22470 Sistemas de Gestión Minera Sostenible. Indicadores** bajo certificación **AENOR** permiten realizar de manera sistemática el seguimiento y control de indicadores de sostenibilidad, complementados con los establecidos en los principales documentos de referencia a nivel mundial, para un adecuado establecimiento de objetivos de mejora continua basándose en informaciones objetivas, que redunden en resultados más satisfactorios de los indicadores en ejercicios posteriores. En la siguiente figura se muestran los más significativos.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras



**Fig. 3-3 Indicadores de sostenibilidad.**

Los beneficios obtenidos al aplicar los sistemas de gestión sostenible a las industrias extractivas, entre otros, son:

- Actividades extractivas más seguras y menos contaminantes.
- Dar confianza a todos los agentes (sociales, económicos y ambientalistas) de que la industria minera es compatible con el desarrollo sostenible.
- Mayor competitividad del sector minero.
- Prevención de accidentes en la explotación minera.
- Mejora del rendimiento ambiental global de la industria.
- Gestión correcta de los residuos generados, incluido el reciclaje.
- Sistema compatible y auditable con otros sistemas de gestión.
- Mejora de la imagen de la minería.

Sin duda alguna, dos de los mayores retos a los que se enfrenta la minería en los próximos años serán la sostenibilidad y la innovación.

La aplicación de criterios de sostenibilidad a los proyectos mineros debe realizarse a lo largo de todo su ciclo de vida y, es particularmente importante en la etapa de cierre o cese de actividades, ya que esa fase es determinante para la integración ambiental de los pasivos mineros y la minimización y corrección



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

de los impactos ambientales y sociales que conllevan las actividades realizadas en el marco de estos proyectos mineros.

### **3.1. Ciclo de Vida de los Proyectos Mineros.**

El ciclo de vida de un proyecto se entiende como el “*Conjunto de fases del proyecto, generalmente secuenciales y en ocasiones solapadas, cuyo nombre y número está determinado por las necesidades de gestión y control de la organización u organizaciones involucradas, la naturaleza del proyecto y su área de aplicación*”. (PMBOK, 2008)

El ciclo de vida de un proyecto minero consta de las siguientes fases o etapas:

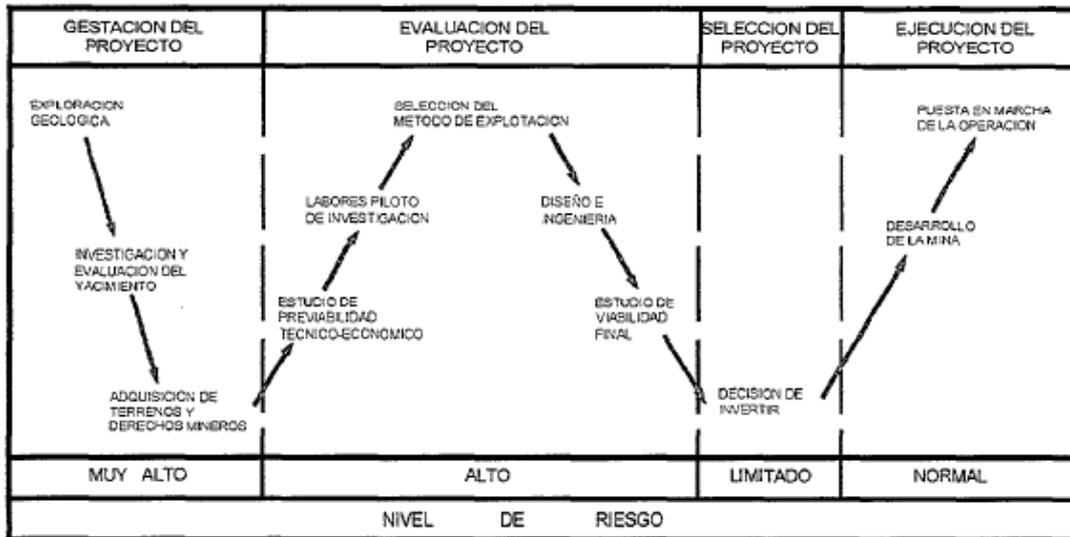
- Exploración y viabilidad económica.
- Diseño y construcción.
- Explotación.
- Cierre o clausura.

Determinar la duración de estas fases y del ciclo de vida en un proyecto minero no suele ser tarea fácil ya que ésta puede variar influida por diversos factores como la aparición de nuevas técnicas que pueden prolongar la vida del proyecto, o por el contrario situaciones que lo acorten, como pueden ser, la aparición de nueva normativa o la volatilidad de los mercados de las materias primas.

Esto da una idea de la complejidad de planificar la fase de cierre en este tipo de proyectos y de su relación con el riesgo asociado al desarrollo de los mismos. En la siguiente figura se puede ver el nivel de riesgo asociado a las diferentes etapas del proyecto. En ella se observa cómo el nivel de riesgo se incrementa en la fase de explotación, si el riesgo supera un nivel crítico puede desembocar en el cese de actividades, acortándose drásticamente la vida del proyecto respecto a la planificación realizada.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras



**Fig. 3-4 Nivel de riesgo asociado a las diferentes etapas del proyecto minero. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, ITGE.**

A continuación, se muestra de una manera más detallada el ciclo de vida del proyecto, relacionando al mismo tiempo gastos y producción en las diferentes etapas.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

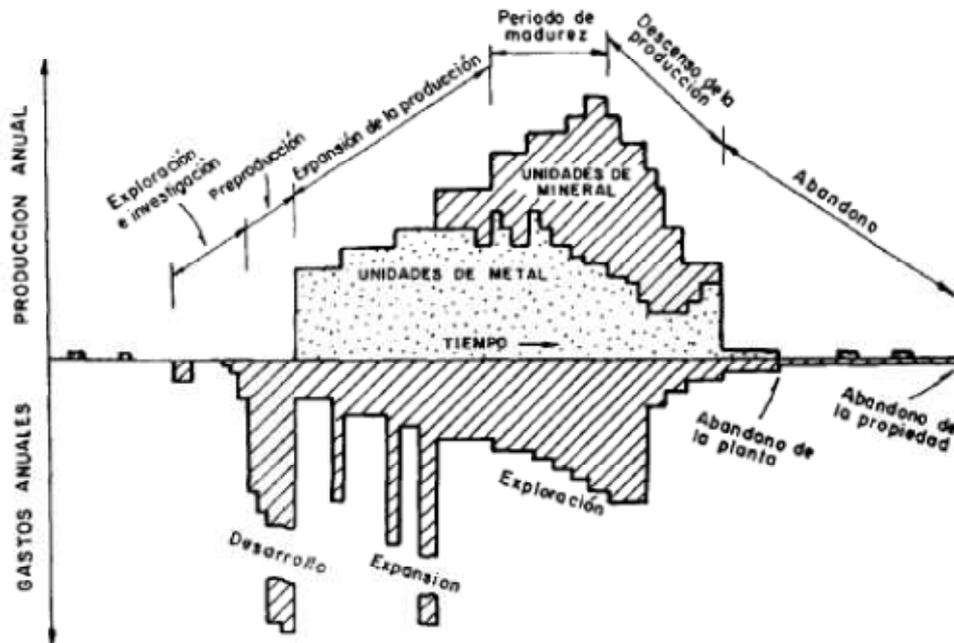


Fig. 3-5 Evolución de los gastos e ingresos ligados al ciclo de vida de un proyecto minero. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, ITGE.

En adelante, se explicarán cada una de las fases.

### **3.1.1. Fase de Exploración y Viabilidad.**

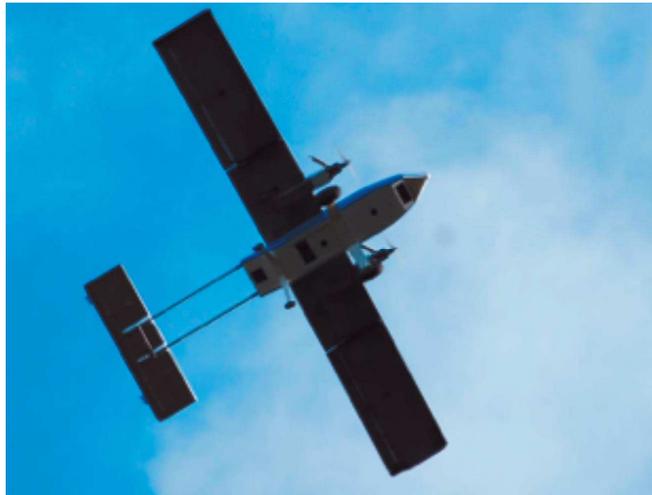
Las actividades extractivas de los minerales y de los hidrocarburos que se encuentran en el subsuelo requieren una serie de trabajos, primero, de prospección para localizar los yacimientos y, posteriormente, de exploración y de investigación, para conocer la morfología de éstos y las características o propiedades de los mismos. En una fase posterior se llevará a cabo la explotación o extracción de los minerales aprovechables para su posterior transformación hasta conseguir productos vendibles.

La primera etapa es la prospección y exploración, que consiste en localizar el yacimiento a través de anomalías causadas por los depósitos minerales. Se lleva a cabo sobre grandes extensiones de terreno y en muchas ocasiones se trabaja con datos obtenidos de forma indirecta. Las técnicas utilizadas pueden ser la recopilación de antecedentes históricos, fotografías aéreas e imágenes



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

de satélites, prospección geológica mediante trabajos de campo, observaciones directas y toma de muestras, análisis y ensayos de laboratorio, prospección geoquímica, detección de anomalías geoquímicas, prospección geofísica, magnetometría, gravimetría, radiometría, etc.



**Fig. 3-6 Avioneta realizando labores de exploración.**

Una de las últimas técnicas utilizadas en el campo de la exploración minera es el uso de aeronaves no tripuladas o drones.

La utilización de drones tiene una serie de ventajas respecto a los métodos convencionales:

- Permite utilizar métodos geofísicos no intrusivos que no provocan impactos o daños medioambientales.
- Pueden recopilarse una multitud de tipos de datos de una manera rápida y de forma económica.
- Es posible cubrir grandes áreas, reduciéndose significativamente los costes de prospección de grandes superficies.
- No son necesarios los accesos terrestres ni los permisos de ocupación.
- No se precisa la apertura de pocillos o calicatas en el campo y, consecuentemente, los permisos o licencias correspondientes.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

- Los datos pueden ser recopilados de áreas remotas, accidentadas y con cobertura vegetal densa.

Una vez localizado el yacimiento, se lleva a cabo la etapa de investigación, que consiste en determinar de una forma más detallada las características del mismo, volumen, extensión, ley, etc. Las técnicas utilizadas pueden ser las mismas pero con más detalle, también se utilizan sondeos y calicatas.

En cuanto al estudio de la viabilidad del proyecto, ha de basarse en el conocimiento profundo del yacimiento, el tipo de mineral, mercado del mismo y una serie de factores que pueden influir sobre el proyecto como pueden ser el político, social, económico, financiero etc. A esto, hay que añadirle el factor medioambiental, el proyecto tiene que ser viable ambientalmente, de lo contrario, no se podrá llevar a cabo. Además hay que tener en cuenta que muchos de los factores que pueden hacer que el proyecto minero sea o no viable, son cambiantes en el tiempo, aumentando el grado de complejidad del mismo.

Es muy importante en esta etapa temprana del proyecto contar con la participación social, dar a conocer el proyecto y al mismo tiempo recoger las sugerencias de las partes interesadas. Esto se consigue a través de planes de participación ciudadana, planes de compromiso y acción entre otros.

La siguiente figura muestra como la empresa Geocalci, a través de su página web invita y promueve a la participación ciudadana, proporcionando diferentes planes y acciones que la empresa llevará a cabo.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Geoalcali GEOALCALI POTASA PROYECTOS INVERSORES SOSTENIBILIDAD INFORMACIÓN TRABAJA CON NOSOTROS CONTACTO

### PARTICIPACIÓN CIUDADANA

Compromiso con la participación y la información pública

En Geoalcali nos comprometemos para que el Proyecto Mina Muga sea una referencia en sostenibilidad social, ambiental y en participación y diálogo con todos los agentes implicados en un proyecto que será clave como motor de desarrollo de las comarcas de Cinco Villas y Sangüesa en las próximas décadas.

Nuestro objetivo como empresa es que *Mina Muga* se desarrolle con la máxima información, implicación y colaboración de todos los entes y vecinos, estableciendo cauces directos de comunicación que nos permitan desarrollar esta iniciativa con las mayores garantías para todos.

De este modo, en el marco de su estrategia de RSE y dentro del *Plan de Participación y Comunicación Pública 2015* de Geoalcali, se ha desarrollado el proceso voluntario de consulta ciudadana sobre el proyecto *Mina Muga*, que se llevó a cabo en los meses de abril a junio. Atendiendo la recomendación realizada por el Gobierno de Navarra, la finalidad de este proceso era conocer de primera mano y a través de sus máximos protagonistas la opinión y las necesidades de información de las asociaciones, administraciones y vecinos de las zonas en las que se ubica el proyecto de extracción de potasa.

Nos hemos implicado en un proceso de participación pública sin precedentes en el sector, desarrollando acciones que van más allá de lo que la normativa exige en esta materia y complementado de esta forma, la legislación vigente recogida en la Ley 27/2006 de acceso a la información y participación pública y en la Ley 21/2013 de evaluación ambiental. Cabe recordar que el trámite de Consulta Pública Oficial finalizó en 2015 como parte del proceso de obtención de los permisos.

El proceso de participación ciudadana se llevó a cabo por una empresa externa con el máximo rigor. Para su realización, se contó con una metodología de participación homologada y contrastada, basada en los estándares internacionales, nacionales y autonómicos. Tanto en su fase de diseño, como en la de elaboración, se obtuvo la colaboración de empresas, personas y organizaciones.



**Fig. 3-7. Participación ciudadana. Geoalcali.**

Es en esta etapa de estudio de la viabilidad donde se produce un hito que marcará el devenir del proyecto, pues se tomará la decisión de invertir o por el contrario de abandonar el proyecto.

Se usan procedimientos y técnicas iterativas para optimizar todos los elementos críticos del proyecto. Se define la capacidad de producción, la tecnología, las inversiones y los costes de producción, los ingresos y la rentabilidad del capital desembolsado. Normalmente, se define inequívocamente el alcance de los trabajos y sirve como un documento base para el progreso del proyecto en fases posteriores.

### **3.1.2. Fase de diseño y construcción.**

Una vez que se toma la decisión de invertir, se aborda la fase de diseño y construcción de la mina, método de explotación, planta de tratamiento de mineral, escombreras, instalaciones auxiliares, balsas etc.

La etapa de diseño incluye la ingeniería básica y de detalle, diseño del hueco y evaluación de reservas, planificación minera, ambiental y social con la tramitación de sus correspondientes licencias, también se ha de elaborar y



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

programar el plan de cierre y abandono de la mina. Además, se lleva a cabo la compra de materiales y equipos y las actividades de construcción y montaje previo desbroce y acondicionamiento de terrenos.

Esta materialización supone iniciar la etapa económicamente más costosa y, en consecuencia, la más irreversible. Cualquier error o defecto en las fases de ingeniería básica o de detalle se pueden corregir con un cierto coste, pero los errores o malos planteamientos, una vez materializados, son muy difíciles de remediar sin incurrir en gastos muy altos.

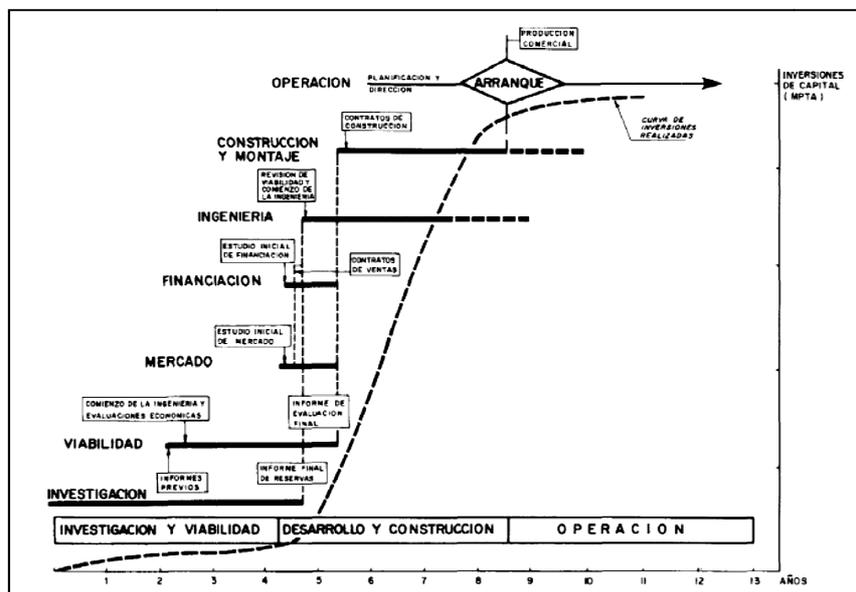


Fig. 3-8 Inversiones de capital-proyecto. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, ITGE.

### 3.1.3. Fase de Explotación.

Tras el periodo de diseño y construcción de la mina, tendremos un periodo de puesta en marcha previo a la puesta en producción definitiva. En este periodo se contratará y dará formación al personal y se probarán las diferentes instalaciones.

En la etapa de producción propiamente dicha, se pueden distinguir tres periodos:



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

- Un primer periodo de aumento de la producción.
- Un periodo de producción más o menos constante, o de maduración, donde se intentará beneficiarse de posibles innovaciones técnicas, optimizar la productividad y mantenimiento de las instalaciones, verificar los límites del yacimiento, alargar la vida del yacimiento y reducir costes.
- Y por último, un periodo de descenso de la producción, donde prácticamente los gastos van dedicados exclusivamente a explotación, el mantenimiento se reduce a lo esencial y se empieza a preparar el plan de cierre.

En este punto cabe decir que conocer con detalle los tipos de explotaciones mineras, los métodos de explotación y las principales infraestructuras e instalaciones asociados a los mismos, son una cuestión clave tanto para la fase de explotación propiamente dicha, como para la fase de abandono o cierre del proyecto minero, ya que el tipo de afecciones al medio ambiente y los pasivos a gestionar serán muy diferentes en función del tipo de método de explotación minera utilizado. Por esa razón, a continuación, vamos a realizar una revisión general de los principales métodos de explotación aplicados a los proyectos mineros.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **Tipos de explotaciones mineras.**

Según el tipo de yacimiento a explotar hay una gran variedad de métodos de explotación. La elección del método a aplicar depende de numerosos factores tales como la profundidad, la forma e inclinación del depósito, la distribución de leyes del mineral, las características geomecánicas de las rocas encajantes y del propio mineral, la localización, los costes de explotación, etc.

Las explotaciones mineras pueden clasificarse genéricamente en dos grandes grupos: subterráneas y a cielo abierto. Existen casos intermedios en los que se combinan o coexisten técnicas propias de cada uno de los grupos y se dice que son explotaciones mixtas.

### **Explotaciones a cielo abierto.**

Las explotaciones a cielo abierto, en general, son las que más impacto producen en el medioambiente, pues se necesitan mover grandes cantidades de material para obtener el mineral en cuestión, ocupan grandes extensiones de terreno y producen gran volumen de estériles.



**Fig. 3-9 Explotación a cielo abierto. Hullera Vasco Leonesa. León.**



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Las principales instalaciones de las explotaciones a cielo abierto son:

- La propia explotación minera.
- Planta de tratamiento de mineral.
- Zonas de acopio de mineral.
- Parque de maquinaria y talleres.
- Sala de compresores.
- Almacén.
- Subestaciones eléctricas.
- Estaciones de bombeo.
- Escombreras.
- Balsas.
- Oficinas y vestuarios.



**Fig. 3-10 Instalaciones auxiliares y planta de tratamiento de MATSA. Huelva.**

En cuanto a los métodos de explotación a cielo abierto, a continuación se muestran los más significativos.

### **Cortas.**

Este método de explotación se lleva a cabo en yacimientos masivos o de capas inclinadas de modo tridimensional por banqueo descendente, con secciones transversales en forma troncocónica. Es un método que es tradicional de la



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

minería metálica y se adaptó en las últimas décadas a los depósitos de carbón, introduciendo algunas modificaciones.

#### **Canteras.**

Las canteras son explotaciones de rocas industriales y ornamentales destinadas principalmente al sector de la construcción. Se trata, por lo general, de pequeñas explotaciones próximas a los centros de consumo, debido al valor relativamente pequeño que poseen los minerales extraídos, pues a partir de una cierta distancia deja de ser viable su transporte.

Pueden operarse mediante los métodos de banco único de gran altura o bancos múltiples. Este último es el más adecuado, ya que permite realizar los trabajos con mayores condiciones de seguridad y posibilita la recuperación más fácil de los terrenos afectados facilitando la rectificación de taludes, revegetación etc.



Fig. 3-11 Cantera de rocas industriales. Caleros de Brañes. San Cucao de Llanera, Asturias.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **Graveras.**

Son depósitos de materiales detríticos, como las arenas y las gravas, albergados en los depósitos de valle y terrazas de los ríos. El arranque se efectúa con equipos mecánicos. Las explotaciones suelen llevarse a cabo en un solo banco con una profundidad inferior, por lo general, a los 20 m.



Fig. 3-12 Gravera El Puente, Aranjuez (Madrid).

### **Descubiertas.**

Se aplica en yacimientos tumbados u horizontales, donde el recubrimiento de estéril es inferior, por lo general, a los 50 m. Consiste en el avance unidireccional de un módulo con un solo banco desde el que se efectúa el arranque del estéril y vertido de este al hueco de las fases anteriores; el mineral es entonces extraído desde el fondo de la explotación que coincide con el muro del depósito.

### **Terrazas.**

Este método se basa en una minería de banqueo con avance unidireccional. Se aplica a depósitos relativamente horizontales de una o varias capas o



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

estratos de mineral, y con recubrimientos potentes que obligan a depositar el estéril en el hueco creado transportándolo alrededor de la explotación.

Se utiliza en todos los tipos de mineral, aunque su desarrollo e importancia la ha adquirido en los yacimientos de combustibles sólidos de hulla y lignito.



**Fig. 3-13 Explotación de carbón a cielo abierto “ Mina As Pontes” Endesa.**

#### **Contorno.**

En yacimientos semihorizontales y con reducida potencia, donde la orografía del terreno hace que el espesor del recubrimiento aumente de forma considerable a partir del afloramiento del mineral, se realiza una minería conocida como de contorno.

Consiste en la excavación del estéril y mineral en sentido transversal hasta alcanzar el límite económico, dejando un talud de banco único, y progresión longitudinal siguiendo el citado afloramiento, dado el gran desarrollo de estas



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

explotaciones y la escasa profundidad de los huecos, es posible realizar una transferencia de los estériles para la posterior recuperación de los terrenos.

### **Disolución y lixiviación.**

El método de disolución se utiliza principalmente en yacimientos de sales, donde una vez se retira el estéril y se extrae el mineral mediante voladuras, se lleva a cabo su disolución mediante la circulación de agua caliente, que es recuperada como una salmuera mediante un sistema de tuberías y bombas que la llevan hasta la planta de mineralurgia en la que se encuentran unos cristalizadores que permiten obtener el producto final.

La lixiviación consiste en la extracción química de los metales o minerales contenidos en un depósito. El proceso es fundamentalmente químico, pero puede ser también bacteriológico (ciertas bacterias aceleran las reacciones de lixiviación en minerales sulfurosos). Si la extracción se realiza sin extraer el mineral se habla de "lixiviación in-situ", mientras que si el mineral se arranca, transporta y deposita en un lugar adecuado el método se denomina "lixiviación en pilas". Una variante consiste en tratar el mineral, después de su molienda, en tanques que disponen de agitadores, conociéndose el procedimiento como "lixiviación dinámica".

### **Dragado.**

En algunas mineralizaciones especiales, como son las metálicas de oro, casiterita, etc. contenidas en aluviones, resulta interesante la aplicación del método de dragado, inundando previamente la zona de explotación.

En cuanto a impactos sobre el medioambiente, los principales son el paisajístico, cambio del uso del suelo, impacto visual, cambio de la geomorfología del terreno, erosión, impacto sobre los acuíferos y la provocación de aguas de escorrentía.

### **Explotaciones subterráneas.**

Cuando no es posible extraer el mineral en las explotaciones a cielo abierto, bien sea por el tipo de yacimiento o porque su explotación deja de ser viable a



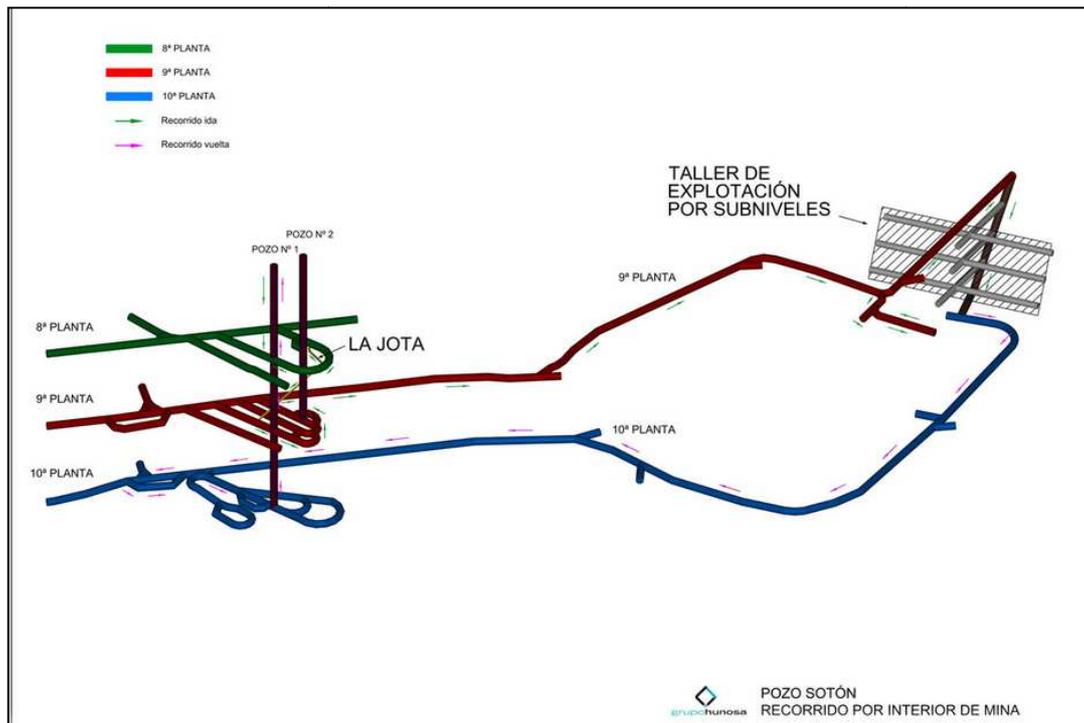
### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

partir de cierta profundidad por este método, se lleva a cabo través de minería con explotaciones subterráneas. En la minería subterránea se mueve menos cantidad de material, y el estéril deja de ser significativo en producción, quedando prácticamente reducido a las etapas de preparación de la mina.

Todas las explotaciones subterráneas tienen una gran infraestructura, pues en su interior y a diferentes niveles se despliegan los diferentes tipos de galerías, planos inclinados, chimeneas, talleres de explotación, sala de bombas etc.

La forma de acceder a las explotaciones subterráneas puede ser mediante plano inclinado o mediante pozos verticales.

En la siguiente imagen se muestra un esquema de las infraestructuras de interior del Pozo Sotón, propiedad de Hunosa, donde se accede por medio de pozos verticales.



**Fig. 3-14 Esquema Pozo Sotón.**



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

A continuación se muestra la plaza del Pozo Aurelio del Valle, Hullera Vasco Leonesa, con su torre de extracción y las diferentes instalaciones.



**Fig. 3-15 Pozo Aurelio del Valle e instalaciones auxiliares en Santa Lucía de Gordón.**

Además de las instalaciones mencionadas en el caso de las explotaciones a cielo abierto, en las explotaciones subterráneas, las principales instalaciones son:

- Los pozos de extracción con su correspondiente maquinaria (jaulas y Skip) y los planos inclinados, pues en cualquiera de los dos casos, son las únicas vías de acceso al interior de la explotación.
- Pozos de ventilación.
- Sala de ventilación principal de la mina, y todo el sistema de ventilación.
- Sala de bombas para evitar la inundación de la propia mina.

La siguiente fotografía muestra la bocamina de una explotación subterránea, en este caso se accede al interior de la mina por plano inclinado.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras



Fig. 3-16 Bocamina explotación subterránea. MATSA. Huelva.

La forma de extracción del mineral y el tratamiento del hueco creado, son los factores que definen, de alguna manera, el método de explotación, pudiendo distinguirse tres grandes grupos:

### **Sostenimiento de los huecos con macizos.**

Se deja sin explotar parte del mineral del yacimiento con unas dimensiones y disposición tales que soportan el conjunto de materiales que se encuentran sobre ellos.

### **Relleno o fortificación de los huecos.**

Con el material adecuado se procede al relleno de los huecos para que estos no sufran alteración alguna, o lo sea en una zona muy próxima al mismo. Dependiendo de las dimensiones y forma de los huecos, podrán utilizarse, ocasionalmente, otros sistemas de sostenimiento o fortificación, cuadros metálicos o de madera, bulones o cables de anclaje, etc.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **Hundimiento controlado de los huecos.**

En algunos métodos, tras la extracción del mineral, se induce el colapso de los macizos suprayacentes de manera controlada. Las rocas sufrirán una rotura, un esponjamiento y descenso gradual, pudiendo llegar a afectar tales movimientos hasta la superficie. Esta alteración dependerá de muchas variables: geometría del hueco, propiedades del techo, profundidad, etc.

A continuación se exponen someramente los principales métodos de explotación subterránea.

### **Cámaras y pilares.**

Se trata de un método donde se van dejando secciones de mineral, como pilares, para soportar los huecos creados. Las dimensiones de las cámaras y la sección de los pilares dependen de las características del mineral y de la estabilidad de los hastiales, del espesor de recubrimiento y de las tensiones sobre la roca. El grado de aprovechamiento del depósito es función de las dimensiones de los macizos abandonados.



Fig. 3-17 Explotación mediante cámaras y pilares.

### **Cámaras almacén.**

La explotación se realiza por rebanadas horizontales ascendentes desde el fondo de una galería. El mineral fragmentado se extrae de forma continua desde las tolvas inferiores o piqueras, de tal manera que el material una vez



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

volado constituye la plataforma de trabajo, por lo que debe quedar un espacio adecuado entre el cielo de la cámara y el mineral volado, y además soportar los hastiales de la excavación.

### **Corte y relleno.**

El mineral se arranca por rebanadas horizontales, en sentido ascendente, desde la galería de fondo. Una vez volado se extrae completamente de la cámara, a través de unos coladeros, efectuándose a continuación el relleno del hueco creado con estériles, con lo que se consigue crear una plataforma de trabajo estable y el sostenimiento de los hastiales.

### **Cámaras por subniveles.**

El conjunto de métodos de explotación denominado de cámaras por subniveles agrupa a una gran variedad de sistemas que se aplican a yacimientos verticales o con fuerte pendiente y que, genéricamente, podrían clasificarse a su vez en tres grupos: cráteres invertidos, barrenos largos y barrenos en abanico.

Todos estos métodos tienen en común realizar la explotación desde los subniveles y niveles horizontales a intervalos verticales fijos, abriendo los subniveles dentro del yacimiento entre los niveles principales.

### **3.1.4. Fase de cierre.**

La planificación del cierre de explotaciones mineras, ha de estar presente desde el inicio del proyecto, al principio, conceptualmente para culminar con el pos cierre y abandono de la explotación.

Como se ha comentado, el cierre de una explotación minera incluye diferentes actuaciones como el desmantelamiento de instalaciones e infraestructuras, la estabilización física y química del terreno afectado, el tratamiento del drenaje ácido de mina, la recuperación o rehabilitación de terrenos, incluida la revegetación y rehabilitación de hábitats. Todas estas actuaciones han de ir

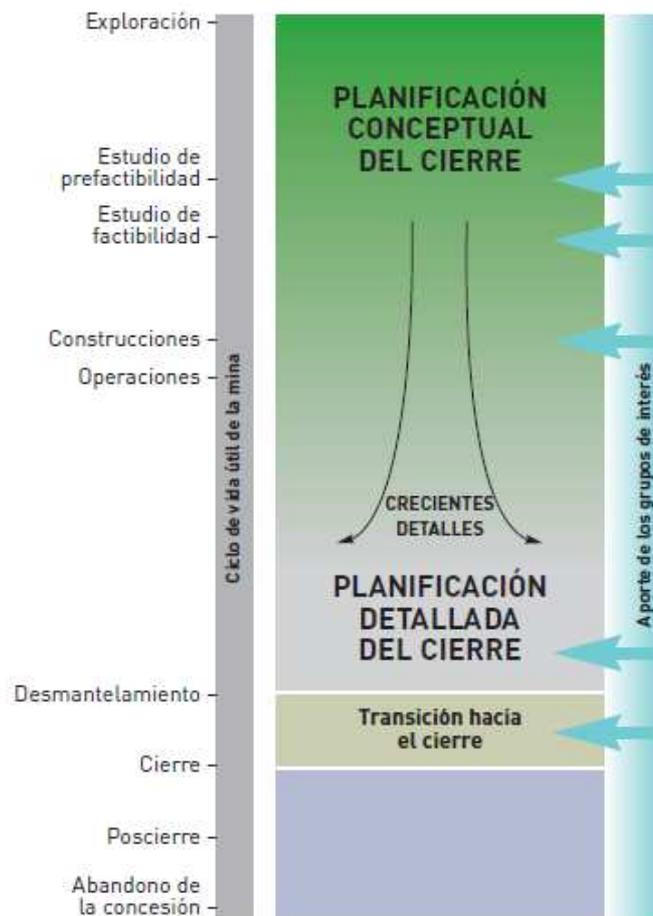


### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

acompañadas además de un adecuado programa de control y seguimiento ambiental.

Así mismo los proyectos de cierre han de seguir las directrices marcadas por la legislación vigente, y en el caso de España, muy particularmente del Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras y del Real Decreto 777/2012, de 4 de mayo, que lo modifica.

La siguiente figura muestra como se ha de integrar la planificación del cierre a lo largo del ciclo de vida del proyecto minero.



**Fig. 3-18 Planificación del cierre de un proyecto minero.**

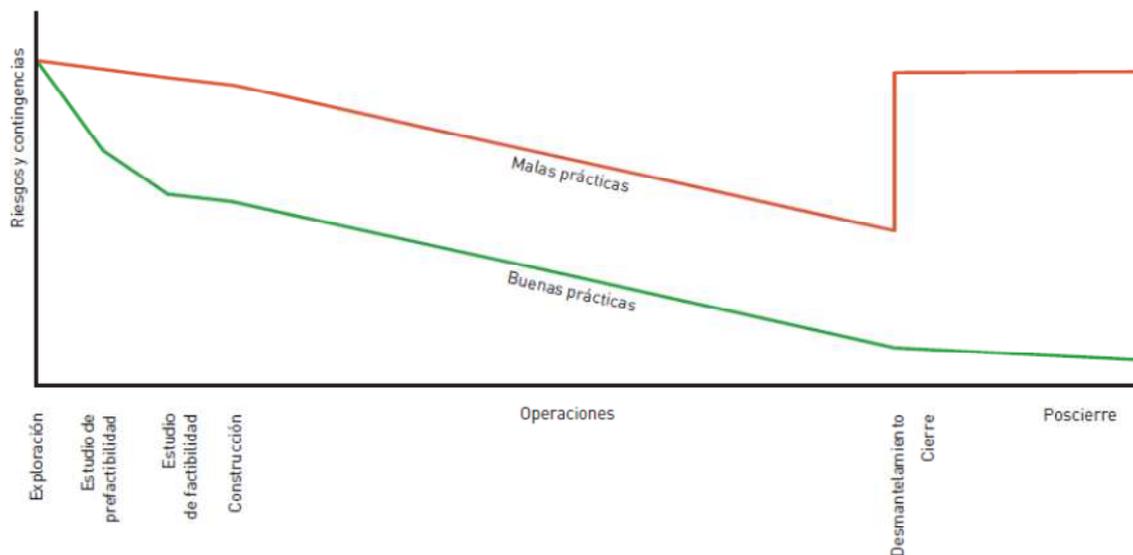
International Council on Mining & Metals, ICMM.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Hay que diferenciar entre planificación continua del cierre y rehabilitación simultánea. El primero es un proceso que se prolonga durante toda la vida útil de la mina. La rehabilitación, es sólo una parte del proceso de planificación del cierre que es habitualmente asignada a las operaciones.

La realización de los objetivos del cierre exige una disminución progresiva de riesgos y contingencias. En la siguiente figura se muestra la evolución de los riesgos y contingencias a lo largo del ciclo de vida de una explotación minera, quedando plasmada la disminución de los mismos dependiendo de si el cierre se lleva a cabo aplicando buenas o malas prácticas. Así mismo, donde más se aprecia la diferencia del riesgo es en la etapa de cierre y pos cierre.



**Fig. 3-19 Riesgos y contingencias en las operaciones mineras.**

**International Council on Mining & Metals, ICMM.**

Cuanto antes sean reducidos los riesgos y contingencias, mayor será el potencial para lograr los objetivos específicos. Ésta es una de las razones por las que la planificación del cierre debería comenzar cuanto antes.

Lo más temprano que es posible iniciar la planificación del cierre es en la exploración, aunque esta fase puede no asegurar que el proyecto se ejecute y dé como resultado la explotación minera.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Siguiendo los estándares del PMBOK, la gestión de proyectos, y en particular el del cierre de una explotación minera, se ha de realizar a través de los siguientes grupos de procesos:

- **Procesos de iniciación:**

Encaminados a definir un nuevo proyecto o una nueva fase de un proyecto existente mediante la autorización para el inicio de ese proyecto o fase.

- **Procesos de planificación:**

Encaminados a establecer el alcance del proyecto, refinado de los objetivos y las acciones requeridas para lograr esos objetivos.

- **Procesos de ejecución:**

Encaminados a completar el trabajo definido en el plan del proyecto para satisfacer las especificaciones.

- **Procesos de monitorización y control:**

Encaminados a seguir, revisar y regular el avance y rendimiento del proyecto, así como identificar cambios requeridos en el plan del proyecto, e iniciarlos.

- **Procesos de cierre:**

Encaminados a finalizar todas las actividades de todos los grupos de procesos para cerrar formalmente el proyecto o fase.

En el siguiente gráfico se puede ver la interacción entre los diferentes grupos de procesos a lo largo del ciclo de vida de un proyecto.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Interacciones entre grupos de procesos en una fase o proyecto:

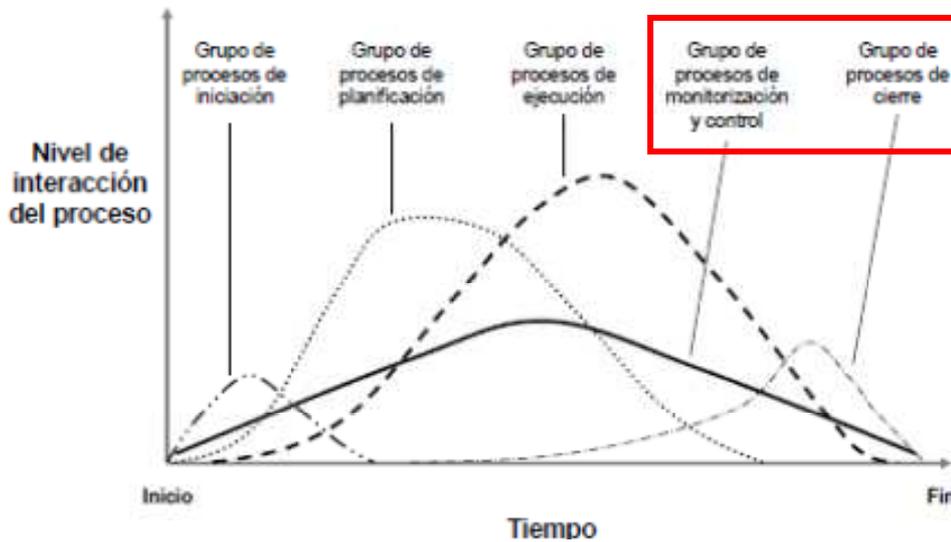


Fig. 3-20 Interacción entre grupos de procesos. PMBOK, 2008.

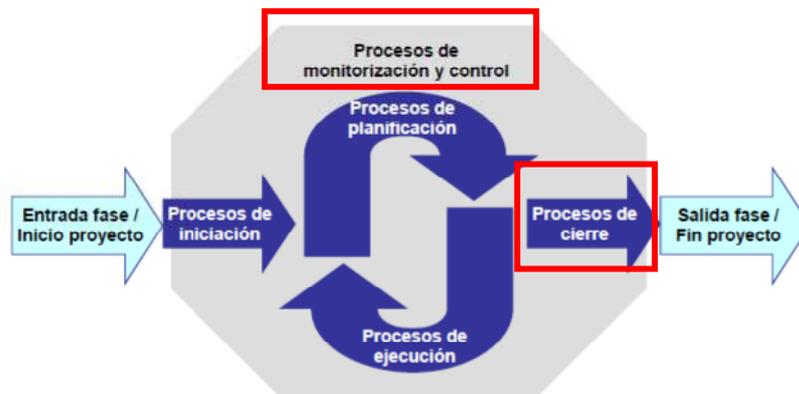


Fig. 3-21 Grupos de procesos. PMBOK, 2008.

Los procesos de monitorización y control, como se aprecia en la Fig. 3.20 están presentes a lo largo del ciclo de vida del proyecto interactuando con las diferentes etapas del proyecto desde el inicio hasta el cierre, los procesos de cierre estarían encaminados a la ejecución del cierre de las explotaciones



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

propriadamente dicho, es decir a desarrollar el Plan de Cierre de la Explotación Minera.

### **4. Marco legal de aplicación al cierre de explotaciones mineras.**

Uno de los aspectos más importantes a la hora de planificar cualquier tipo de proyecto es la legalidad del mismo, todos los proyectos han de cumplir con la legislación vigente.

Por lo tanto, el proyecto minero se ha de desarrollar dentro de un marco legal que en el caso de España consta principalmente de tres etapas:

- La tramitación de los expedientes de otorgamiento de derechos mineros.
- La tramitación de los proyectos de investigación y explotación dependiendo del tipo de recurso.
- La tramitación del cese de actividades y cierre de la explotación

Todas estas actividades están reguladas actualmente por la Ley y Reglamento de Minas, el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, además de la correspondiente normativa medioambiental y urbanística, tanto a nivel local, como estatal.

#### **4.1. Etapa de cierre en La Ley de Minas.**

La Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas establece las condiciones y requisitos que se han de cumplir para poder explotar los diferentes recursos minerales.

La misma Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas en el Artículo tercero.- Uno. Clasifica los yacimientos minerales y demás recursos geológicos en tres secciones:



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

- A) Pertenecen a la misma los de escaso valor económico y comercialización geográficamente restringida, así como aquellos cuyo aprovechamiento único sea el de obtener fragmentos de tamaño y forma apropiados para su utilización directa en obras de infraestructura, construcción y otros usos que no exigen más operaciones que las de arranque, quebrantado y calibrado.
- B) Incluye, con arreglo a las aguas minerales, las termales, las estructuras subterráneas y los yacimientos formados como consecuencia de operaciones reguladas por esta Ley.
- C) Comprende esta sección cuantos yacimientos minerales y recursos geológicos no estén incluidos en las anteriores y sean objeto de aprovechamiento conforme a esta Ley.

Posteriormente la Ley 54/1980 de 5 de noviembre, de modificación de la Ley de Minas, con especial atención a los recursos minerales energéticos añade una nueva sección dedicada a este tipo de recursos, la sección D). Según el Artículo 1º. Uno.

Quedan excluidos de la sección C) del artículo tercero de la Ley de Minas de veintiuno de julio de mil novecientos setenta y tres, y pasan a constituir una nueva sección, denominada D), los carbones, los minerales radiactivos, los recursos geotérmicos, las rocas bituminosas y cualesquiera otros yacimientos minerales o recursos geológicos de interés energético que el Gobierno acuerde incluir en esta sección.

Por lo tanto, los recursos minerales se clasifican según la Ley de Minas en cuatro secciones (A, B, C y D) atendiendo al tipo de recurso geológico o minero y su tratamiento.

Según la obtención de los recursos naturales, existen dos principales tipos de extracción:



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

- Explotación subterránea: La agresividad de la minería subterránea es, en líneas generales, menos grave que la de superficie. Tiene sin embargo mayor incidencia en lo que se refiere a la salud y condiciones de trabajo de las personas.
- Explotación superficial o a cielo abierto: Ofrece un mayor impacto en el medio ambiente. En este grupo se incluyen las canteras de materiales para construcción y rocas ornamentales y de áridos para carreteras.

Además de legislar los derechos mineros y establecer las condiciones de explotación de cada una de las secciones, con el objeto de salvaguardar el medioambiente, la Ley establece como proceso de control del proyecto minero la obligatoriedad para el explotador de realizar y presentar un Plan de Labores Anual durante el mes de enero de cada año donde se detallen las labores previstas.

Así mismo, ante la suspensión de los trabajos, tanto la Ley 22/1973 de Minas en su artículo 71.2, como el Reglamento de Minas en el artículo 93, hacen referencia a la obligatoriedad por parte del titular o explotador legal de mantener los trabajos de conservación, vigilancia, ventilación y desagüe si hubiere lugar a ello.

#### **4.2. Etapa de cierre en El Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.**

En cuanto al Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera y sus correspondientes Instrucciones Técnicas Complementarias, incluyen actuaciones en relación con la fase de cierre del proyecto minero, concretamente:

En el artículo 167 del Capítulo XII. Suspensión y abandono de labores, se dice que:

*El concesionario o explotador de una mina que se proponga abandonar su laboreo total o parcialmente solicitará del órgano competente la preceptiva*



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

*autorización, estando obligado a tomar cuantas medidas sean necesarias para garantizar la seguridad de personas y bienes.*

*Asimismo estará obligado a tomar las precauciones adecuadas en el caso de que el abandono pueda afectar desfavorablemente a las explotaciones colindantes o al entorno.*

El Reglamento incide de esta manera en los aspectos de seguridad en relación a personas y bienes y en relación a las posibles afecciones al entorno, donde se incluirían las ambientales.

Así mismo en la Instrucción Técnica Complementaria del RGNBSM:

La ITC 13.0.01. Suspensión y abandono de las labores, establece las condiciones en las que se procederá al abandono de las labores teniendo en cuenta si es una suspensión temporal o abandono definitivo.

### **2. ABANDONO DE LABORES.**

#### **2.1 Condiciones generales.**

*El abandono progresivo de labores correspondientes a zonas de una mina en actividad podrá llevarse a cabo sin más requisito que hacerlo constar en los planos de labores.*

*Si en las labores abandonadas existe el riesgo de acumulación de aguas colgadas que puedan poner en peligro a la propia explotación o a las colindantes deberá comunicarse este hecho a la autoridad minera, quien comprobará si el abandono proyectado es conforme con la autorización de explotación y no compromete intereses de terceros, imponiendo las condiciones que fueran necesarias.*

*La suspensión, parcial o total de trabajos de una mina, bien sea temporal o definitiva, deberá contar con la aprobación del correspondiente proyecto por la autoridad minera.*



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### *2.2 Suspensión temporal de trabajos.*

*En el proyecto de suspensión temporal de trabajos se hará constar detalladamente los accesos y explotaciones que se pretenden conservar, el plazo de suspensión de trabajos, las medidas de conservación que se aplicarán durante el período de suspensión, las obras de aislamiento a realizar, la ventilación de las labores conservadas, la revisión periódica de la maquinaria que permanecerá instalada y, en general, cuantas medidas se pretenda adoptar para la seguridad de la zona conservada.*

*La autoridad minera podrá aprobar este plan con las modificaciones que estime adecuadas y fijará las precauciones a adoptar cuando se vuelva a poner en servicio la zona de trabajos paralizados.*

### *2.3 Tabiques de aislamiento.*

*Cualquier zona que se abandona definitivamente y cuya entrada se encuentre en una labor en servicio deberá ser tabicada y revisado el tabique periódicamente para comprobar su estado.*

*En los casos en que no sean previsibles riesgos de invasión de gases peligrosos, incendios, etc., el Director Facultativo podrá disponer la sustitución del tabique hermético por una señalización eficaz de prohibido el paso.*

### *2.4 Abandono definitivo de labores.*

*El abandono definitivo de una mina deberá solicitarse de la autoridad minera, presentando un proyecto donde se expongan, entre otras circunstancias, las medidas de seguridad previstas para evitar daños en la superficie o en trabajos subterráneos propios o colindantes, cerramientos de entradas de galería o pozos y desagües precisos para evitar aguas colgadas.*

*En los planos del proyecto deberán precisarse las cotas de labores, los posibles despiles bajo las mismas y cuantos datos sean precisos para conocer los riesgos de daños futuros derivados del abandono proyectado.*



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

*La autoridad minera que deberá visitar la mina que se solicita abandonar, prescribirá las medidas de seguridad adicionales y determinará el plazo en que debe llevarse a cabo el abandono.*

*El final de los trabajos será comunicado a la autoridad minera, que efectuará las adecuadas comprobaciones.*

*Los planos de la situación de las labores aportados por los explotadores deberán conservarse en los archivos de la autoridad minera a disposición de futuros explotadores o colindantes de la mina abandonada que precisen su consulta para conocer la situación de las antiguas labores.*

*Si el explotador procediese al abandono de una mina sin la correspondiente autorización de la autoridad-minera, ésta podrá adoptar posteriormente las medidas de seguridad precisas para salvaguardar los intereses y seguridad de terceros, siendo de cuenta del explotador los gastos que se originen, sin perjuicio de las sanciones administrativas y las responsabilidades en las que pueda incurrir.*

#### *2.5 Accesos de labores antiguas abandonadas*

*La autoridad minera procederá a cerrar todos los accesos al exterior de las labores subterráneas abandonadas que resulten peligrosos, sin perjuicio de la responsabilidad, tanto económica como administrativa aplicable a los antiguos explotadores que hayan incumplido sus obligaciones de cierre.*

Por lo tanto en cuanto a cumplimiento de legislación minera propiamente dicha, hemos de dar cumplimiento a la Ley de Minas que establece la obligación por parte del explotador a las labores de mantenimiento y vigilancia, y al Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera en lo que se refiere al abandono y cierre de explotaciones mineras donde se especifica las actuaciones a llevar a cabo de un modo más preciso.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **4.3. Etapa de cierre en Legislación Medioambiental.**

En cuanto a las obligaciones derivadas de la legislación medioambiental en el proceso de cierre, ya la Constitución Española en su artículo 45 establece que quienes incumplan la obligación de utilizar racionalmente los recursos naturales y la de conservar la naturaleza estarán obligados a reparar el daño causado. A esta necesidad se responde desde la comunidad europea con la **Directiva 2004/35/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, que traspone la **LEY 26/2007** de responsabilidad medioambiental basada en los principios de protección del medioambiente y del que “contamina paga”.

La citada ley, establece en el CAPÍTULO IV, en el Artículo 24, la obligatoriedad de establecer una garantía que permita hacer frente a la responsabilidad medioambiental inherente a la actividad o actividades que pretendan desarrollar.

La normativa desarrollada específicamente para la restauración y gestión de los residuos generados se recoge en el **Real Decreto 975/2009**, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras y el **Real Decreto 777/2012**, de 4 de mayo, que lo modifica, establecen como se han de clasificar y gestionar los residuos de las industrias extractivas.

Al de cierre de explotaciones mineras, se refiere el **Título I del RD 975/2009. Plan de restauración**, con los Capítulos I. Autorización del plan de restauración, Capítulo II. Autorizaciones de supuestos especiales Capítulo III. Partes I, II y III del plan de restauración. Capítulo IV. Parte IV del plan de restauración: El plan de gestión de residuos.

Referencia expresa al Artículo 3. Plan de restauración: requisitos generales y contenidos.

*Con el fin de reducir a un mínimo durante el desarrollo de la explotación los efectos negativos ocasionados al medio y los riesgos de diferir la rehabilitación*



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

hasta fases más avanzadas de aquélla, en el plan de restauración deberán justificarse las fases de la rehabilitación prevista. En todo caso, los planes de restauración y explotación se coordinarán de forma que los trabajos de rehabilitación se lleven tan adelantados como sea posible a medida que se efectúe la explotación. Únicamente se autorizará el inicio de la rehabilitación al final de la vida de la explotación en casos debidamente justificados y documentados a efectos de poder llevar a cabo técnicamente el laboreo.

*Artículo 15. Abandono definitivo de labores de aprovechamiento.*

*1. Dentro de la Parte II del plan de restauración, y en estrecha relación con el resto de las labores de rehabilitación, la entidad explotadora presentará un anteproyecto de abandono definitivo de labores de aprovechamiento.*

*2. Al finalizar el aprovechamiento, cuando la entidad explotadora deba proceder a la rehabilitación y abandono definitivos de la explotación, presentará para su autorización ante la autoridad competente en materia de seguridad minera, un proyecto de abandono definitivo de labores en el que se justificarán las medidas adoptadas y a adoptar para garantizar la seguridad de las personas y bienes.*

En relación al cierre de explotaciones mineras también se ha de tener en cuenta la clausura de otras instalaciones anexas a las de beneficio del mineral, como las instalaciones de residuos mineros, tales como escombreras o balsas de lodos, por ejemplo. En este sentido se recoge en el RD 975/2012. Plan de restauración, la obligación de presentar un Estudio Básico o Anteproyecto de Cierre para estas infraestructuras mineras:

*Sección 7.<sup>a</sup> Cierre y clausura de una instalación de residuos mineros.*

*Artículo 33. Cierre y clausura de una instalación de residuos mineros.*

*1. El cierre de una instalación de residuos mineros consiste en el cese definitivo de la explotación u operación de la instalación.*



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

2. En el proyecto constructivo de una instalación de residuos mineros, y en estrecha relación con el resto de las labores de rehabilitación, la entidad explotadora presentará un Estudio Básico o Anteproyecto de Cierre y Clausura, donde se describirán las medidas necesarias para la rehabilitación del terreno y que incluirá todos los aspectos técnicos que se prevean de utilidad para dicho cierre...

Artículo 34. Proyecto de cierre y clausura de una instalación de residuos mineros.

1. Los objetivos del proyecto definitivo de cierre y clausura de una instalación de residuos mineros serán, la determinación de las medidas necesarias para la rehabilitación y la estabilización física y química de la instalación para garantizar a largo plazo su seguridad estructural y evitar cualquier proceso de contaminación.

Así pues, el Real Decreto 975/2009 y su modificación RD 777/2012 proporcionan una guía que podemos resumir en los siguientes puntos:

- Establecen los puntos que ha de tener en cuenta el Plan de Restauración de la explotación minera.
- Ofrecen una metodología para clasificar las instalaciones de residuos mineros y caracterizar el propio residuo.
- Establece la cuantía de la garantía financieras para la restauración del espacio natural afectado.
- Establece la constitución de planes de vigilancia.

Con esto quedan sentadas las bases sobre las que se ha de apoyar la fase de cierre de un proyecto minero desde el punto de vista legal.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **5. Posibles escenarios de cierre en las explotaciones mineras.**

El cierre de minas puede definirse como el conjunto de actuaciones que se planifican a lo largo del ciclo de vida del proyecto minero con el fin de cumplir con los criterios ambientales específicos y alcanzar los objetivos sociales y ambientales, deseados después del cese la actividad minera sin que suponga una carga económica no prevista para la empresa. Estas actividades son implementadas y puestas en marcha durante y después del cierre.

Como se comentó en el apartado 3.1.4, la planificación del cierre de minas es un proceso progresivo que empieza en la primera etapa del proyecto con el diseño conceptual y termina sólo cuando se han alcanzado de manera permanente los objetivos específicos del cierre.

El cierre de minas incluye también programas sociales dirigidos a los trabajadores de la mina y la población circundante.

Como se expuso con anterioridad la línea base para la planificación del cierre, va a ser en un principio, el ciclo de vida del proyecto, que se determinará en primera instancia con el análisis de viabilidad técnico-económico del mismo.

Es sabido, que la vida del proyecto puede variar con respecto al primer análisis y con esto, el momento de cierre de la explotación, es más, en la mayoría de las ocasiones el ciclo de vida cambia.

Entre las principales causas de cierre en explotaciones mineras se pueden destacar:

- Agotamiento de las reservas/recursos minerales.
- Falta de venta del mineral explotado.
- Variación de los mercados que hagan el yacimiento no explotable económicamente.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

- Problemas financieros de la empresa.
- Problemas geotécnicos/hidrológicos graves.
- Conflictos laborales prolongados, huelgas.
- Restricciones Medioambientales.
- Restricciones de la autoridad minera.
- Accidentes graves.

Teniendo en cuenta lo anterior, los cierres de explotaciones mineras se pueden clasificar en cierres planificados y cierres no planificados.

### **5.1. Cierres Planificados.**

Los cierres planificados son aquellos en los que se contempla un escenario temporal fijo desde el inicio del proyecto minero, apoyado en su respectiva Evaluación de Impacto Ambiental, y en la que se contempla una serie de medidas de reparación del impacto ambiental y social.

En definitiva el cierre ha de realizarse de tal modo que se garantice el cumplimiento de la legislación ambiental con las técnicas y recursos económicos más adecuados. Para ello se deberán contemplar los siguientes aspectos:

- Cumplimiento de leyes y normas que regulan el cierre minero, así como de los compromisos corporativos asumidos por la empresa.
- Asegurar el cierre y estabilidad de las labores mineras superficiales y subterráneas.
- Prevenir la erosión y subsidencia asociadas a los efectos de la explotación minera realizada.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

- Estabilizar y proteger los residuos sólidos producto de la explotación minera.
- Resolver satisfactoriamente lo relativo a suelos contaminados en el área de la explotación, así como a depósitos de residuos peligrosos y no peligrosos enterrados en ella.
- Restaurar en lo posible la hidrología original del sitio o al menos asegurar una red hidrológica estable.
- Prevenir la generación de drenaje ácido y, si es necesario, tratarlo para reducir su acidez y contenido metálico a niveles legal y ambientalmente aceptables.
- Establecer la financiación requerida para llevar a cabo el cierre planificado, así como su distribución en el tiempo, y las fuentes y mecanismos que lo proveerán.
- Asegurar el cumplimiento de las condiciones requeridas para que los terrenos ocupados recuperen sus cualidades para el desarrollo de la vida silvestre, o permita el de nuevas actividades humanas.
- Procurar que el cierre de la explotación implique el menor grado posible de efectos socio-económicos negativos para los trabajadores y la comunidad situada en su área de influencia económica y laboral.
- Establecer las medidas necesarias de seguimiento y control.

#### **5.2. Cierres no planificados.**

Los cierres no planificados, por lo general, se producen por situaciones sobrevenidas ante las que no hay capacidad de reacción.

Como se dijo con anterioridad, el ciclo de vida de una mina se ve afectado por multitud de factores como pueden ser el precio de mineral extraído, la aparición de nueva legislación ambiental más restrictiva, accidentes etc, que pueden



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

llevar al cierre de modo repentino. Puede darse la paradoja que el cierre estuviera planificado pero no para ese periodo de la vida del proyecto, lo que en la mayoría de las ocasiones conduce a situaciones de alto riesgo tanto para el medioambiente como para la sociedad.

Los cierres no planificados ni ejecutados responsablemente, pueden llevar a efectos como los siguientes:

- Desplome de labores superficiales y subterráneas.
- Erosión de los terrenos afectados por la actividad minera.
- Modificación del drenaje superficial y subterráneo.
- Generación de drenaje ácido con metales pesados.
- Contaminación del agua y la atmósfera.

Las perturbaciones señaladas pueden afectar gravemente el ambiente biológico, por ejemplo, a través de la contaminación del drenaje, que se acidifica y se carga de metales pesados y de material particulado, produciendo mortandad de peces, del efecto de los suelos contaminados sobre la cubierta vegetal, del desencadenamiento de procesos erosivos, etc.

En cuanto al ser humano, experimenta el efecto de todos los factores anteriores, más aquellos de carácter socio-económico y cultural. La pérdida de la actividad minera (que por otra parte, pudo haber afectado al desarrollo de otras actividades económicas previas a su implantación) puede destruir no solamente el sustento económico sino también la base de valores sociales y familiares de la comunidad afectada.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **6. Riesgos asociados al cierre.**

Sin duda, uno de los principales retos a los que se enfrentan los proyectos de cierre de explotaciones mineras es gestionar los riesgos asociados al mismo. Para ello, como se dijo anteriormente, es necesario contemplar la etapa de cierre y post cierre de la mina desde el inicio del proyecto. Así mismo, se hace necesario tener preparado un plan de gestión del riesgo donde queden establecidos los mecanismos o actuaciones que nos permitan evaluar, controlar y minimizar los efectos que pudieran causar dichos riesgos.

Tendremos principalmente dos tipos de riesgos:

- Riesgos medioambientales.
- Riesgos sociales.

#### **6.1. Riesgos Medioambientales.**

Se extienden prácticamente a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, pero es en la etapa de cierre y post cierre, con el cese de toda actividad, donde tendrían un mayor impacto en caso de producirse. Los principales impactos que pueden causar son:

- Impactos sobre los recursos hídricos.

Tal vez el impacto más significativo de un proyecto minero es el efecto en la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos en la zona del proyecto. Nos hemos de preguntar si tanto el agua superficial como el agua subterránea permanecerán aptas para consumo humano, y si la calidad de las aguas superficiales en el área del proyecto seguirá siendo adecuada para mantener las especies acuáticas nativas y la vida silvestre terrestre.

El potencial de drenaje ácido es una cuestión clave. La respuesta determinará si la propuesta de un proyecto minero es o no es ambientalmente aceptable.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Cuando los materiales después de la actividad minera, ya sea a cielo abierto o minería subterránea, entran en contacto con el oxígeno y el agua, se puede formar drenaje ácido.

El drenaje ácido y la lixiviación contaminante es la fuente más importante de impactos en la calidad de agua relacionadas con la minería metálica.

A continuación se muestra una fotografía del Río Tinto en Huelva, donde se puede apreciar los efectos de la minería metálica de sulfuros masivos en la faja pirítica.



**Fig. 6-1 Río Tinto, Huelva.**

El drenaje ácido se considera una de las amenazas más graves a los recursos hídricos y tiene el potencial de causar devastación con impactos a largo plazo en los ríos, riachuelos y en la vida acuática.

- Erosión de suelos, escorrentías y subsidencia.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

En la mayoría de proyectos mineros, el potencial de erosionar los suelos y sedimentos y degradar la calidad del agua superficial es un gran problema.

De acuerdo con un estudio encargado por la Unión Europea:

“Debido a la gran extensión de tierras perturbadas por operaciones mineras y las grandes cantidades de materiales excavados expuestos en los lugares de operación, la erosión puede ser un problema mayor”.

En consecuencia, el control de la erosión debe considerarse desde el inicio de operaciones mediante el cumplimiento de medidas de rehabilitación. La erosión puede causar grandes cantidades de sedimentos (cargados con contaminantes químicos) en los recursos de agua cercanos, especialmente durante tormentas severas y periodos en los cuales la nieve se derrite.

La escorrentía superficial cargada de sedimentos por lo general causa una corriente laminar y se colecta en canales, zanjas o canaletas u otros medios que los conduzcan.

Estos sedimentos finalmente pueden estar presentes en las aguas superficiales o depositarse en zonas inundables o en valles.

Históricamente, los procesos de erosión y sedimentación han causado la acumulación de gruesas capas de partículas finas de mineral y sedimentos en las regiones inundables y la alteración del hábitat acuático, así como la pérdida de la capacidad de almacenamiento en las aguas superficiales. Los principales factores que influyen en la erosión incluyen volumen y velocidad de la escorrentía de mina, las lluvias, el nivel de infiltración de la lluvia en el suelo, la cantidad de cubierta vegetal, la longitud de la pendiente o la distancia desde el punto de origen del flujo en tierra hacia el punto donde empieza la deposición, así como las estructuras operativas para el control de la erosión.

Las mayores fuentes de erosión/carga de sedimentos en sitios mineros pueden incluir las zonas de los trabajos a cielo abierto, las pilas de lixiviación y aquellas provenientes de los depósitos de estériles, balsas, transporte de material,



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

depósitos de minerales, áreas de mantenimiento de equipos y vehículos, áreas de exploración y áreas en rehabilitación.

Una preocupación más es que los materiales expuestos provenientes de las operaciones mineras pueden contribuir a que los sedimentos se carguen de contaminantes químicos, principalmente, metales pesados. La gran variedad de condiciones naturales de cada lugar (por ejemplo, geología, vegetación, topografía, clima, proximidad y características de las aguas superficiales), en combinación con diferencias significativas en las cantidades y características de los materiales expuestos en las minas, impide formular generalizaciones sobre las cantidades y características de las cargas de sedimentos.

Los tipos de impactos asociados con la erosión y sedimentación son numerosos, por lo general producen impactos a corto y a largo plazo. Las concentraciones elevadas de material particulado en la columna de agua superficial pueden producir efectos tóxicos agudos y crónicos en peces.

Los sedimentos depositados en capas en terrenos inundables o en ecosistemas terrestres pueden producir muchos impactos asociados con aguas superficiales, aguas subterráneas y ecosistemas terrestres. Los minerales asociados con depósitos de sedimentos pueden bajar el pH o la carga de metales en las aguas superficiales y/o producir contaminación persistente de las aguas subterráneas. Los sedimentos contaminados también pueden bajar el pH de suelos al punto de causar la pérdida del hábitat y la vegetación.

En cuanto a la subsidencia, esta, provoca hundimientos del terreno en superficie modificando su morfología.

La subsidencia puede ser causa por diversos fenómenos naturales o inducida por acciones de la actividad humana como puede ser la minería.

Este tipo de fenómeno se produce sobretodo en explotaciones subterráneas con métodos de explotación en los que quedan huecos.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Es de gran importancia en zonas urbanas, donde los perjuicios ocasionados pueden llegar a ser ilimitados, suponiendo un riesgo importante para edificaciones, canales, conducciones, vías de comunicación, así como todo tipo de construcciones asentadas sobre el terreno que se deforma.

- Impactos causados por balsas, escombreras y pilas de lixiviación.

Los impactos en la calidad del agua por las balsas de relaves, escombreras, y pilas de lixiviación pueden ser graves.

Estos impactos incluyen la contaminación del agua subterránea que está debajo de estas instalaciones y en las aguas superficiales que reciben sus descargas. Las sustancias tóxicas pueden lixiviarse de estas instalaciones, filtrarse a través del suelo y contaminar las aguas subterráneas, especialmente si el fondo de estas instalaciones no ha sido adecuadamente protegido con una membrana impermeabilizante.

Los relaves (un sub-producto del procesamiento del mineral) son un desecho que se produce en grandes cantidades, puede contener sustancias tóxicas a niveles peligrosos de arsénico, plomo, cadmio, cromo, níquel y cianuro (si se usa cianuro en el proceso de lixiviación). Si bien no siempre es la opción preferida ambientalmente hablando, muchas empresas mineras realizan la disposición de relaves mezclados con agua (para formar una especie de lodo o pasta) y proceden a disponer de este lodo detrás de una alta presa en un embalse de relaves húmedos. Debido a que el mineral por lo general se extrae en forma de lodo, el desecho resultante contiene grandes cantidades de agua, y generalmente se forman lagunas sobre las presas de relaves que pueden amenazar a la vida silvestre, particularmente los relaves cianurados en las minas de metales preciosos. Finalmente estas lagunas se secarán, en climas áridos, o pueden liberar agua en climas húmedos. En ambos casos, se requieren métodos específicos de manejo para el cierre de estos depósitos de desechos a fin de reducir las amenazas ambientales que puedan generarse al cierre de la mina.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Un buen ejemplo de los daños que puede causar un accidente en este tipo de instalaciones es la rotura de la balsa de decantación de lodos piríticos de la empresa Boliden Apirsa, S.L, en la madrugada del 25 de Abril de 1998 en su explotación minera de Aznalcóllar.

Esta rotura ocasionó el vertido incontrolado de un volumen aproximado de 6 hm<sup>3</sup> de aguas ácidas y lodos al río Agrio y desde éste al río Guadiamar. Como consecuencia de la avenida se afectó a una longitud de 62 km del cauce desde la balsa hasta el límite del Parque Nacional de Doñana, en la zona de Entremuros. La superficie total afectada se ha evaluado en 4630 ha pertenecientes a nueve municipios de la provincia de Sevilla y a una reducida extensión de áreas protegidas de Doñana.



**Fig. 6-2 Rotura Balsa Mina Aznalcóllar.**

- Impacto sobre la calidad del aire.

El transporte de emisiones en el aire ocurre durante todas las etapas del ciclo de vida de una mina, si bien en particular, se dan durante la exploración,



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

desarrollo, construcción y operación, también se ha de tener en cuenta en el cierre de las explotaciones, sobre todo en las de cielo abierto.

Las operaciones mineras movilizan grandes cantidades de material que requieren maquinaria pesada y equipos industriales para procesar el mineral. Las pilas o depósitos de desechos contienen partículas pequeñas que pueden ser fácilmente dispersadas por el viento.

Las mayores fuentes de contaminación del aire en operaciones mineras son:

Material particulado transportado por el viento como resultado de excavaciones, voladuras, transporte de materiales, erosión eólica (más frecuente en cielos abiertos), polvo proveniente de los depósitos de relaves, escombreras, caminos. Las emisiones de los gases de escape de fuentes móviles (vehículos, camiones, maquinaria pesada) también contribuyen a aumentar el nivel de material particulado, aunque bien es cierto que este tipo de contaminación se da más cuando estamos en la etapa de operación de la mina.

Cuando una fuente emite contaminantes en la atmósfera, los contaminantes son transportados en el aire, se diluyen y son sujetos a cambios (físicos y químicos) en la atmósfera y finalmente alcanzan al receptor. Estos contaminantes pueden causar serios efectos en la salud de las personas y en el ambiente.

La siguiente figura resume el camino que siguen las emisiones contaminantes hasta llegar al receptor final.

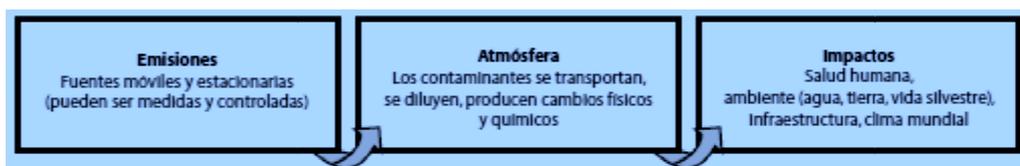


Fig. 6-3 Itinerario emisiones contaminantes.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Se puede concluir de lo anteriormente expuesto, que se hace necesario implementar un plan de vigilancia y control en el post cierre que asegure el cuidado del medioambiente.

En las siguientes tablas se resumen estos riesgos dependiendo del tipo de explotación minera, instalaciones e infraestructuras, las consecuencias que pueden tener y las acciones o técnicas recomendadas para minimizarlos o en el mejor de los casos eliminarlos.

Minería Subterránea		
Riesgos	Consecuencia	Acciones y técnicas recomendadas
Colapso de las estructuras, pilares o huecos producidos por los minados	Subsidencia	Relleno de los huecos con esteril o pasta durante la operación
Subsidencia de la superficie planificada	Impactos sobre las aguas superficiales	Desviar el cauce de los ríos. Intentar integrar la subsidencia en la morfología final del terreno.
Drenaje ácido y contaminación por hidrocarburos	Contaminación de las aguas subterráneas, degradación de la calidad del agua	Recuperar nivel freático, tratar y controlar el agua ácida. Segregar acuíferos conocidos. Sellado y confinado de estructuras.
Falta de medidas de seguridad, hacia las personas y animales	Lesiones y muertes de personas y fauna	Evitar el acceso a las labores de interior, sellando bocaminas, pozos, pozos de ventilación etc
Cambios en el medio	Pérdida de fauna y flora	Estudios sobre la fauna y flora. Programas de revegetación y creación habitas.

**Tabla. 6.1 Minería subterránea. Elaboración propia.**



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Minería Cielo Abierto		
Riesgos	Consecuencia	Acciones y técnicas recomendadas
Drenaje de rocas ácidas y producción de lixiviados a partir de paredes expuestas.	Mala calidad del agua subterránea.	Recoger y tratar el agua drenada. Restauración adecuada de las superficies potenciales de producir lixiviados y agua ácida. Sellado de superficies, balsas etc. Llenado del
Mala estabilidad de taludes.	Desplomes, flechas, hundimientos etc	Disminución de altura del banco y adecuar el ángulo en busca de una mayor estabilidad. Revegetación.
Mala delimitación y adecuación del perímetro de seguridad.	Lesiones, muertes o accidentes tanto de personas como de animales.	Mantener el perímetro de seguridad adecuadamente. Montaje de barreras, incluso con el propio material. Señalización que avise de los peligros.
Aspectos estéticos, paisajísticos.	Alto impacto visual.	Estudios de IA adecuados. Participación social. Revegetación de terrenos. Creación

**Tabla. 6.2 Minería a cielo abierto. Elaboración propia.**

Infraestructuras		
Riesgos	Consecuencia	Acciones y técnicas recomendadas
Tendidos e instalaciones eléctricas. Carreteras. Líneas de ferrocarril. Pistas de aterrizaje. Puertos.	Contaminación ambiental. Pérdida de la vegetación y fauna. Modificación de la morfología del terreno. Impactos visuales.	Aprovechamiento para otras actividades de la comunidad. Eliminar las infraestructuras y rehabilitar el terreno.
Salidas de ventilación, túneles de servicio, vías de escape.	Lesiones o muertes en personas y animales.	Restringir acceso. Señalar. Rellenar. Cubrir.
Infraestructuras Subterráneas ( Líneas eléctricas, tuberías, ventilación etc)		Las operaciones de acondicionamiento y recuperación de estas infraestructuras se ha de realizar simultáneamente con las labores de cierre de la mina, con el posterior tratamiento de los residuos y

**Tabla. 6.3 Infraestructuras. Elaboración propia.**



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Instalaciones de almacenamiento de lodos (balsas)		
Riesgos	Consecuencia	Acciones y técnicas recomendadas
Erosión e inestabilidad estructural.	Desborde por inundación debido a lluvias. Incremento del nivel freático. Rotura de tuberías causando infiltraciones en el terreno. Incremento de la sedimentación.	Gestión integral desde la fase de construcción. Control geotécnico / evaluación de riesgos continuada. Tipo de roca sobre el que se encuentra el depósito. Control del sistema de drenaje. Cubierta resistente a la erosión integrándola en el medio.
Drenaje ácido de rocas.	Inestabilidad interna y externa. Impacto sobre las aguas. Suelos ácidos. Toxicidad para los sistemas bióticos. Emisión de gases y focos de calor. Deterioro y rotura de la cubierta.	Caracterización geoquímica y descarga selectiva. Reducción de las reacciones agua y oxígeno. Identificación de la fuente de drenaje ácido. Monitorizar parámetros de control. Utilización de materiales como cal o bacterias reductoras de sulfuros.
Polvo	Impacto visual. Contaminación en áreas relativamente cercanas. Efectos sobre la flora y fauna.	Revegetar la superficie. Hidrosiembra. Sistemas de riego para mantener la superficie húmeda.
Aguas subterráneas	Contaminación de acuíferos. Beneficio limitado del agua. Arrastre de materiales.	Reducir el vertido de aguas. Implementar sistemas de detección de liberación de agua. Promover la evotranspiración. Neutralización y desintoxicación de lodos. Filtación de
Estado final del terreno	Impacto visual. Impacto negativo de la industria en la sociedad. Efectos negativos sobre hábitas.	Diseño adecuado del estado final del terreno. Revegetación de la superficie.
Seguridad hacia personas y fauna.	Lesiones, incluso la muerte de personas y animales.	Información de las medidas adoptadas a la sociedad. Acceso restringido. Señalización. Diseño eficaz de las
Viabilidad a largo plazo de la rehabilitación.		Seguimiento, planes de control. Control de la fauna y flora.

**Tabla. 6.4 Balsas de lodos. Elaboración propia.**



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Escombreras		
Riesgos	Consecuencia	Acciones y técnicas recomendadas
Erosión. Inestabilidad.	Seguridad en el entorno. Sedimentación. Ruptura de talud si lo hubiera.	Revegetación. Diseño apropiado del acopio según el tipo de material. Gestión adecuada de las aguas
Aguas superficiales.	Incremento del arrastre y sedimentación de materiales. Contaminación de cauces y acuíferos. Impacto visual.	Caracterización del material. Revegetación. Controles de drenajes. Medidas y control de la erosión producida. Implantar sistemas de filtrado de aguas. Barreras de
Aguas subterráneas.	Contaminación de acuíferos. Aprovechamiento limitado de los recursos hídricos. Arrastre y acumulaciones de material.	Caracterización del material, incluso geoquímica. Selección adecuada del emplazamiento de la escombrera, forma del terreno y tipo del material sobre el que se depositan los estériles. Estudios hidrogeológicos
Drenaje de rocas ácidas.	Inestabilidad interna y externa de la escombrera. Impacto sobre las aguas. Creación de suelos ácidos. Toxicidad en los sistemas bióticos. Emisiones de gas y focos de calor.	Caracterización del material, incluso geoquímica. Selección adecuada del emplazamiento de la escombrera, forma del terreno y tipo del material sobre el que se depositan los estériles. Estudios encaminados a minimizar las reacciones agua oxígeno. Revegetar con material adecuado. Monitorizar y controlar el comportamiento de la escombrera. Usar el material como relleno de huecos tanto a cielo abierto como subterráneo. Tratar y neutralizar el material (reducción de los sulfuros mediante bacterias). Aislar y
Polvo	Impacto visual. Contaminación del aire. Impactos sobre la flora y fauna.	Cubierta superficial para prevenir la erosión del viento. Riego de la superficie. Adecuar la forma del terreno circundante, creación de barreras. Revegetar. Informar a las partes interesadas de las medidas que se llevarán a cabo para prevenir los
Estado final del terreno	Impacto visual. Impacto negativo de la industria en la sociedad. Efectos negativos sobre hábitas.	Diseño adecuado del estado final del terreno. Revegetación de la superficie. Informar a las partes interesadas de las medidas a tomar.

**Tabla. 6.5 Escombreras. Elaboración propia.**



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Presas o balsas de almacenamiento de agua.		
Riesgos	Consecuencia	Acciones y técnicas recomendadas
Alteración de ecosistemas	Impactos en flora y fauna. Impactos sobre la cuenca hídrica.	Vallar las instalaciones. Construir diques de contención. Rehabilitar. Restablecer el drenaje natural de las
Balsas de almacenamiento de agua de proceso.	Contaminación de agua y suelos.	Tratar el agua y rehabilitar, descontaminar.
Sedimentación.	Acumulación de materiales. Daños al sistema de drenaje.	Control de la sedimentación. Instalación de sistemas que la impidan
Desbordamiento, aguas abajo.	Pérdida de vegetación. Degradación del suelo.	Sistemas de control de calidad de las aguas de la cuenca afecta. Sistemas de drenaje adecuado.
Calidad del agua.	Salinidad. Nutrientes.	Sistemas de control de calidad de las aguas de la cuenca afecta.
Seguridad.	Lesiones o muertes de personas y animales.	Restringir el acceso a las instalaciones. Señalización.
Durabilidad.	Fallo de estructuras.	Revisiones geomecánicas. Evaluación de riesgos. Plan de emergencia.

**Tabla. 6.6 Instalaciones almacenamiento de agua. Elaboración propia.**

Plantas de tratamiento de mineral, edificios de oficinas e instalaciones de mantenimiento		
Riesgos	Consecuencia	Acciones y técnicas recomendadas
Metales pesados, hidrocarburos, sales.	Contaminación de suelo y aguas.	Gestión adecuada de residuos. Eliminación. Encapsular y aislar. Tratar.
Maquinaria	Contaminación de suelo y aguas.	Vender. Reciclar.
Infraestructuras y edificios	Falta de seguridad en las inmediaciones. Contaminación. Estado final del terreno.	Adecuar las instalaciones a usos de la comunidad. Turismo. Venderlas para otra actividad. Derribar y reciclar (hierro, hormigón, cable, telecomunicaciones etc). Adecuación del terreno y revegetar en caso de

**Tabla. 6.7 Plantas de tratamiento e instalaciones. Elaboración propia.**



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **6.2. Riesgos Sociales.**

El aspecto social es, por lo general, un tema muy sensible en el cierre de explotaciones mineras y que hay que tratar con la mayor atención, pues afecta a los intereses y al bienestar de las personas.

En muchos casos donde se produjo actividad minera, las poblaciones crecieron alrededor de esta actividad y el cierre de las minas puede causar efectos negativos en la sociedad o por el contrario suponer el inicio de nuevas actividades económicas.

Esto se puede minimizar con un plan de cierre donde se incluyan una serie de medidas enfocadas al medio social como pueden ser:

- Realizar Evaluaciones de Impacto Social (EIS) a través de todas las etapas de la vida de la explotación y considerarlas al formular el plan de cierre final.
- El plan de cierre debe considerar efectos y soluciones no sólo para los trabajadores de la empresa, sino también, para las comunidades cercanas o lejanas involucradas directa o indirectamente en sus actividades.
- La política de recursos humanos de la empresa debe considerar el futuro laboral de los trabajadores.
- La empresa debe prevenir, tanto durante la explotación como después del cierre, cualquier daño a otras actividades productivas de la zona, como puede ser la agricultura.
- El plan de cierre puede considerar usos alternativos para las instalaciones de la empresa, con el objeto de promover nuevas actividades.
- Es necesario tener la mayor participación posible de la comunidad en la preparación del futuro cierre.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Además de las medidas tomadas por parte de la empresa minera, en ocasiones, el estado también proporciona ayudas dirigidas a financiar costes de las posibles reconversiones y cierres.

Un buen ejemplo de esto último, ocurre en España con el programa **MARCO DE ACTUACIÓN PARA LA MINERÍA DEL CARBÓN Y LAS COMARCAS MINERAS EN EL PERÍODO 2013-2018**, que establece un régimen de ayudas dirigido a financiar, en todo o en parte, costes excepcionales que figuran en el anexo de la Decisión 2010/787/UE del Consejo, de 10 de diciembre de 2010.

Este régimen de ayudas se concretaría en las siguientes actuaciones:

- Ayudas sociales por costes laborales para trabajadores de edad avanzada.
- Ayudas sociales por costes laborales mediante bajas indemnizadas.

El Gobierno también aporta diferentes mecanismos para el fomento de nuevos proyectos creadores de empleo en las zonas mineras, entre otros:

- Orden IET/1157/2014, de 30 de junio, por la que se aprueban las bases reguladoras para la concesión de ayudas dirigidas a pequeños proyectos de inversión generadores de empleo, que promuevan el desarrollo alternativo de las zonas mineras, para el período 2014-2018.
- REAL DECRETO 675/2014, de 1 de agosto, por el que se establecen las bases reguladoras de ayudas para el impulso económico de las comarcas mineras del carbón, mediante el desarrollo de proyectos de infraestructuras y proyectos de restauración de zonas degradadas a causa de la actividad minera.

En la siguiente tabla se resumen los principales riesgos sociales y las técnicas recomendadas para atenuarlos.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Poblaciones mineras		
Riesgos	Consecuencia	Acciones y técnicas recomendadas
Deslocalización social.	Desempleo.	Participación de la parte social para buscar alternativas al empleo. Recolocación en otros sectores. Planes sociales. Asesoramiento. Formación,
Retroceso de la economía de la zona.	Cierre de pequeños negocios alrededor de la actividad de la mina.	Ayudas y financiación estatal encaminadas a promover la instalación de nuevas industrias. Promover industrias sostenibles. Implicación de la sociedad en el nuevo
Servicios sociales.	Pérdida de los beneficios sociales (economatos, centros de salud).	Participación e información a las partes interesadas de los planes de cierre donde se deben de hacer constar las medidas sociales a tomar en su momento. Apoyar ideas
	Infraestructuras y edificios.	Venta de edificios e infraestructuras. Demolición. Reciclaje. Otros usos.

**Tabla. 6.8 Riesgos poblaciones mineras. Elaboración propia.**

Las decisiones tomadas a lo largo de la vida de la mina pueden afectar a las responsabilidades de cierre asociadas a la mina, que a menudo, se pasan por alto con facilidad si el enfoque en ese momento es el de las ganancias de producción a corto plazo.

Una manera de focalizar la atención en las repercusiones de las decisiones clave en las responsabilidades de cierre es considerar una evaluación de riesgo comercial periódica de forma cíclica.

En general, estas evaluaciones de riesgo tienen en cuenta el rango completo de riesgos que surgen durante y después del cierre como consecuencia de las decisiones sobre infraestructura y planificación minera, incluidos los riesgos medioambientales, de seguridad, sociales/comunitarios, técnicos, financieros y de reputación.

Para facilitar la comparación de costes y riesgos asociados a las diferentes decisiones que afectan a las responsabilidades de cierre de minas, las evaluaciones de riesgos comerciales suelen expresar cada categoría de riesgo en términos financieros.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Por ejemplo, los riesgos medioambientales que surgen del cierre pueden cuantificarse por los costes para el negocio en:

- Reparación de impactos medioambientales.
- Reingeniería de superficies para evitar la recurrencia de problemas.
- Multas por incumplimiento.
- Impactos debidos a una mala reputación medioambiental con los inversores.

Por lo general, las compañías utilizan las evaluaciones de riesgos comerciales para desarrollar un sistema de gestión enfocado a aquellas decisiones que tienen el mayor potencial de afectar a las responsabilidades de cierre de la mina.

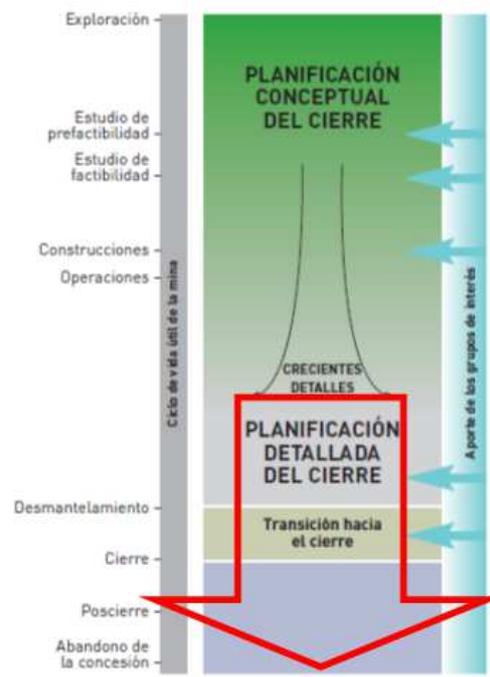
Un objetivo a largo plazo que requiere consideración en la etapa de diseño del proyecto es el uso del suelo tras la explotación minera, que debe analizarse en consulta con los grupos de interés correspondientes para evitar el aumento de los costes generales durante la vida de la mina.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### 7. Ejecución del Proyecto de Cierre. Vigilancia.

Una vez que se llega al final del ciclo de vida del proyecto minero se ha de ejecutar el cierre como tal. Para ello es necesaria la elaboración del Proyecto de Cierre de la Mina donde se detalle las tareas y cronograma de las mismas, recursos humanos y materiales, hitos, etc.



**Fig. 7-1 Planificación del cierre. International Council on Mining & Metals, ICMM.**

Dependiendo del tipo de explotación y de la magnitud de la misma la ejecución del cierre puede llevar años. Como se comentó con anterioridad, lo lógico es llegar a este punto del ciclo de vida con todo preparado para ejecutar el cierre de manera ordenada, pero la realidad es que en muchas ocasiones no es así. Ni se fue planificando el cierre y mucho menos haciendo dotaciones al mismo durante la actividad.

Uno de los incentivos comerciales más fuertes para la rehabilitación progresiva y la gestión de cierre sistemática de la mina es el conocimiento bien documentado del enorme coste incurrido si las operaciones mineras no se cierran correctamente.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Realizar una rehabilitación progresiva antes del cierre puede ayudar a reducir la responsabilidad y al mismo tiempo proporciona una mayor certeza de que existe una fórmula de rehabilitación sostenible. El argumento comercial a favor de la rehabilitación progresiva tiene múltiples facetas, con aspectos tangibles e intangibles. Los beneficios tangibles incluyen una garantía financiera más baja, el cumplimiento de los requisitos legislativos y un coste más preciso para la rehabilitación sostenible en el aprovisionamiento de cierre.

Los beneficios intangibles incluyen los relacionados con los plazos y aprobaciones del proyecto.

También hay barreras potencialmente significativas en la formulación de un argumento comercial convincente a favor de la planificación temprana del cierre y la rehabilitación progresiva.

En general, están centradas en las realidades económicas, la falta de incentivos para lograr que salga correctamente, o la falta de consecuencias en caso de salir mal. Por ejemplo, el enfoque en el valor actual neto (VAN) por parte de la mayoría de las compañías significa que hay un fuerte desincentivo para introducir los costes asociados con el cierre, incluidos los costes de la rehabilitación progresiva. Además, aunque el VAN reduce la responsabilidad asumida en cualquier momento (potencialmente en más del 50 % en algunos casos), las tasas de interés bajas para garantías bancarias (0,5–2 %) hacen que el incentivo para reducir la responsabilidad por factores puramente financieros pueda ser un argumento difícil de defender.

La tentación, dadas las barreras descritas, es trabajar lo mínimo en la planificación de cierre hasta lo más tarde posible durante la vida de la mina.

Las prácticas líderes conllevan la integración total de la planificación e implementación del cierre a lo largo de todas las fases de la vida de la mina, desde la exploración hasta el cese. Al intentar defender un argumento comercial a favor de la planificación temprana del cierre, se debe hacer hincapié en el aumento del nivel de precisión que se produce desde las



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

actividades iniciales de desarrollo de una mina, hasta el cese de operaciones. Esto garantiza que no se desperdicien los escasos recursos al desarrollar con demasiado detalle los planes tempranos cuando los principios fundamentales pueden cambiar y producir resultados de cierre significativamente distintos. No obstante, esto también garantiza que las actividades de planificación con plazos prolongados de ejecución comiencen en una etapa adecuada del proceso de cierre, incrementando la precisión según sea necesario.

En esta etapa de cierre, que entendemos que incluye tanto el cierre en sí mismo, como el post cierre y abandono definitivo de la concesión, se hace imprescindible contar con planes de control y vigilancia mediante los cuales podamos dar cuenta del desempeño de las medidas adoptadas o en su caso definir nuevas actuaciones.

En los apartados siguientes presentaremos dos casos de estudio, uno para pozos mineros y otro para una escombrera de estériles de carbón.

### **7.1. Casos de estudio sobre planes de control y vigilancia.**

#### **CONTROL Y VIGILANCIA DE POZOS MINEROS.**

La solución adoptada para este caso sería un Sistema de Control y Vigilancia Inalámbrico que tiene por objetivo la adquisición de datos relativos a la seguridad de las personas y al medioambiente en cuanto a localización, control ambiental y sistemas eléctricos o maquinaria si los hubiera.

Posteriormente, estos datos se transmiten a un centro de control donde se procesan y de acuerdo con los protocolos establecidos en el software de aplicación, generar las señales de alarma o proporcionar la medición de parámetros establecidos. En su caso, generar un plan de actuación.

El objetivo en concreto del sistema de control sería:

- Monitorización de detectores de gases.
- Control sondas de nivel (nivel de agua alcanzado en la caña del pozo).



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

- Control de acceso.
- Control de presencia.
- Transmisión de las imágenes captadas por las cámaras.

El sistema se puede adaptar dependiendo del tipo de instalación y necesidades de control de la misma.

Los principales componentes del sistema de control son:

Estación Central, formada por la Sala de Control y un Ordenador Principal de Supervisión, Monitorización y Control que recogerá los datos provenientes de las instalaciones de los pozos y generaría las órdenes de actuación necesarias, según la lógica especificada por el usuario de la instalación.

Este ordenador dispondría de capacidad gráfica de representación de variables, almacenamiento de históricos y posibilidad de generación de avisos a responsables de seguridad.

La Unidad de Control del sistema, que es a donde se conectan todos los periféricos, que serán los diferentes sensores, captadores, actuadores etc, que se pretenden controlar y que a su vez les proporciona alimentación eléctrica.

El sistema de comunicación entre cada instalación y la Estación Central, que se realizaría mediante conexión a una red 3G con IP estática que estaría formada por:

- Router (7).
- Equipo 3G (8).
- Ordenador central (9).
- Cámara (10).

La siguiente figura muestra un esquema de la instalación:



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras



Fig. 7-2 Esquema instalación de comunicación. Adaro Tecnología.

El sistema ofrece una arquitectura de red lo suficientemente flexible como para poder ser modificada o ampliada en el futuro en función de las posibles necesidades que se presenten. Igualmente permite la extracción o inserción de nuevos elementos de control (sensores y actuadores) sin interferir en la operación del resto del sistema.

Como sistemas de alimentación eléctrica de la instalación se proponen la convencional, mediante tendido eléctrico, o mediante paneles fotovoltaicos en el caso de que las instalaciones no tengan acceso a la red eléctrica.

### **PLAN DE VIGILANCIA DE UNA ESCOMBRERA DE ESTÉRILES DE CARBÓN.**

A continuación se muestra los principales aspectos del Plan de Vigilancia Ambiental para una escombrera de estériles de carbón, agentes a controlar y los objetivos del control establecido sin especificar las actuaciones concretas en cada caso, pues se ha de adaptar particularmente a cada escombrera.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE.

Objetivos de los controles establecidos:

- Mantener el aire y zonas aledañas al vertedero libre de polvo.
- Minimizar la presencia de polvo en la vegetación.

### PROTECCIÓN DE LOS SISTEMAS FLUVIALES Y DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS.

Objetivos de los controles establecidos:

- Ejecución y Seguimiento de los dispositivos de decantación.
- Verificación de la continuidad de los cauces. Seguimiento de obras de drenaje.
- Mantenimiento de la calidad de las aguas superficiales en los cauces próximos.
- Evitar vertidos a cauces.

### CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE SUELOS.

Objetivos de los controles establecidos:

- Retirada de suelos vegetales para su conservación.
- Vigilancia del correcto acopio y mantenimiento de la tierra vegetal, evitando rechazos.

### PROTECCIÓN DE LA VEGETACIÓN.

Objetivos de los controles establecidos:

Protección de la vegetación en zonas sensibles y/o exteriores al vertedero.

### SEGUIMIENTO DE LAS TAREAS DE LA REVEGETACIÓN E INTEGRACIÓN.

Objetivos de los controles establecidos:

- Preparación de la superficie del terreno para plantaciones y siembras.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

- Control de hidrosiembras.
- Seguimiento de la estabilidad superficial de los taludes proporcionado por las hidrosiembras.

#### VIGILANCIA DE LA APARICIÓN DE NUEVOS IMPACTOS AMBIENTALES.

A lo largo de la fase de ejecución, y en paralelo a los trabajos de vigilancia de la ejecución de las medidas protectoras y correctoras y de su evolución, se vigilará la aparición de impactos ambientales no previstos. Los resultados del seguimiento se incluirán en los informes ordinarios, o bien, en razón de la importancia de los impactos y urgencia de las medidas a tomar, a fin de tomar las soluciones oportunas.

En particular se controlarán los siguientes aspectos:

- Vigilancia relativa a la prevención de la erosión
- Vigilancia relativa a la prevención de la inestabilidad del terreno
- Vigilancia relativa a la protección del sistema hidrológico
- Vigilancia relativa a la aparición de efectos no previstos sobre la vegetación, la fauna y la población

Objetivo del control establecido: Detectar la aparición de afecciones no contempladas.

#### CONTROL DE LAS LABORES DE MANTENIMIENTO DE LAS ÁREAS RESTAURADAS.

Objetivo del control establecido:

- Seguimiento del mantenimiento de las restauradas.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### CONTROL DE LA EVOLUCIÓN DE LAS ÁREAS RESTAURADAS.

Periódicamente, y coincidiendo con las fases de desarrollo de la vegetación, se controlará el desarrollo y vigor de las plantaciones efectuadas en las distintas unidades superficiales y se procederá a la reposición de aquellas plantas que por diversas circunstancias no hayan alcanzado el resultado previsto.

Objetivos de los controles establecidos:

- Seguimiento de las plantaciones y zonas restauradas.
- Seguimiento de la estabilidad superficial de los taludes proporcionada por la revegetación.

Estos dos casos de estudio muestran de modo general las tareas a realizar durante la ejecución del cierre y el post cierre.

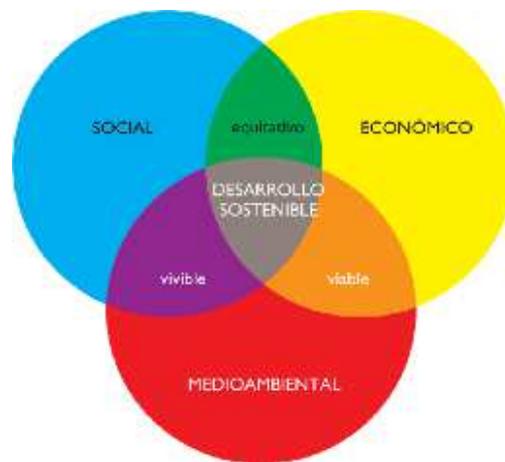


## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **8. Metodología para la Evaluación de Proyectos de Cierre.**

En este apartado se describirá la metodología para la evaluación de los proyectos de cierre de minas.

Como se ha comentado con anterioridad, los proyectos mineros han de ser sostenibles y para ello tienen que ser viables socialmente, ambientalmente y económicamente.



**Fig. 8-1 Desarrollo sostenible.**

La planificación del cierre a lo largo del ciclo de vida de la explotación minera va a tener una clara repercusión en el cierre de la misma. Si bien el proyecto global de la mina ha de responder a los tres factores citados, en este trabajo se concluye que, el proyecto de cierre ha de responder sobre todo al aspecto social y medioambiental, ya que en muchas ocasiones si se analiza el proyecto de cierre en sí, no va a ser económicamente viable. De ahí, la importancia de las dotaciones destinadas al cierre a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

La metodología será de aplicación tanto a los proyectos a cielo abierto como a los de minería de interior.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **8.1. Descripción del método de evaluación.**

La evaluación se realiza a través de una matriz en la que se evalúa cuatro indicadores. Indicadores de Proyecto (P), Indicador Social (S), Indicador Ambiental (A) e Indicador Económico (E). Para cada uno de ellos se definen una serie de evidencias que se evalúan según la existencia (SI) o no de las mismas (NO) y que pueden tener un valor que va desde cero (0), en el caso de que no haya evidencia probada de la misma, hasta tres (3). La determinación de la valoración 1,2 o 3 dependerá de cómo considere el evaluador el nivel o desarrollo de dicha evidencia. Cada indicador tendrá una puntuación final resultado de la suma de valores de sus evidencias.

Además ha de tenerse en cuenta el contexto en el que se desarrolla cada proyecto, que será único.

Los indicadores de cumplimiento de normativa tendrán únicamente valor cero (0) si no hay evidencia y valor tres (3) en caso contrario.

Estos indicadores serán críticos, pues en el momento que alguno de ellos tenga valor cero (0) el proyecto automáticamente será evaluado como “Inviabile”.

Se establecen cuatro niveles de calificación final (**CF**):

- Inviabile.
- Viable.
- Sostenible.
- Sostenible plus.

Los indicadores de proyecto (P) tendrán una ponderación del 20 %, los sociales (S) tendrán una ponderación del 30 %, los ambientales (A) del 30 % y los económicos (E) del 20 %.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Por lo tanto se aplicará la siguiente ecuación para obtener la puntuación final (PF): **PF= 20%\*P + 30%\*S + 30%\*A + 20%\*E.**

De acuerdo a los criterios adoptados la PF máxima será de 22 puntos.

La matriz utilizada será la siguiente.

		(VALOR: NO=0; SI= 1,2 o 3, SEGÚN EVALUADOR)			
INDICADOR		EVIDENCIA	SI	NO	VALOR
P	Planificación conceptual del cierre	El cierre está contemplado desde el inicio del proyecto			
	Planificación detallada del cierre	Proyecto de cierre			
	Dotaciones al cierre a lo largo del ciclo de vida del proyecto	Media % Presupuesto anual dotado			
	Cumplimiento Legal Normativa Minera	Resolución Autoridad Competente (Valor: 0-3)			
	Cumplimiento Legal Normativa Ambiental	Resolución Autoridad Competente (Valor: 0-3)			
	Cumplimiento Legal Normativa Urbanística	Resolución Autoridad Competente (Valor: 0-3)			
	Gasto I+D+i	Media % Presupuesto anual dotado			
S	Social	Evaluación Impacto social			
		Medidas preventivas adoptadas			
		Formación impartida			
		Promoción Industrias Alternativas			
		Financiación de proyectos			
		Servicios sociales			
		Consultas a la comunidad			
		Usos alternativos de edificios			
A	Ambientales	Usos alternativos de terrenos			
		Evaluación de riesgos derivados del tipo de explotación			
		Medidas preventivas adoptadas			
		Evaluación de riesgos derivada de infraestructuras e instalaciones			
		Medidas preventivas adoptadas			
		Plan de Vigilancia Ambiental			
		Control y seguimiento. Registros			
E	Económicos	Sistema Gestión Ambiental Implantado			
		Revalorización de activos mineros. Ingresos.			
		Aprovechamiento de residuos. Ingresos.			
		Usos de terrenos. Ingresos.			
		Empresas nueva creación			
		Nº puestos de trabajo creados.			

**Fig. 8-2 Matriz evaluación. Elaboración propia.**



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

La calificación final obtenida dependerá de la puntuación y de acuerdo al siguiente cuadro.

		CALIFICACIÓN FINAL			
		INVIABLE ( 0-5)	VIABLE (5-12)	SOSTENIBLE (12-18)	SOSTENIBLE PLUS ( > 18)
PUNTUACIÓN					

**Cuadro. 8.1 Calificación Final.**

A modo de ejemplo, a continuación se muestra la matriz con valores de un proyecto de cierre real para obtener su Calificación Final (**CF**).



*Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras*

**Evaluación de un Proyecto de Cierre de una Mina de Carbón.**

		(VALOR: NO=0; SI= 1,2 o 3, SEGÚN EVALUADOR)			
INDICADOR		EVIDENCIA	SI	NO	VALOR
P	Planificación conceptual del cierre	El cierre está contemplado desde el inicio del proyecto	x		1
	Planificación detallada del cierre	Proyecto de cierre	x		1
	Dotaciones al cierre a lo largo del ciclo de vida del proyecto	Media % Presupuesto anual dotado	x		1
	Cumplimiento Legal Normativa Minera	Resolución Autoridad Competente (Valor: 0-3)	x		3
	Cumplimiento Legal Normativa Ambiental	Resolución Autoridad Competente (Valor: 0-3)	x		3
	Cumplimiento Legal Normativa Urbanística	Resolución Autoridad Competente (Valor: 0-3)	x		3
	Gasto I+D+i	Media % Presupuesto anual dotado	x		1
S	Social	Evaluación Impacto social		x	0
		Medidas preventivas adoptadas		x	0
		Formación impartida		x	0
		Promoción Industrias Alternativas		x	0
		Financiación de proyectos		x	0
		Servicios sociales		x	0
		Consultas a la comunidad		x	0
		Usos alternativos de edificios		x	0
Usos alternativos de terrenos		x	0		
A	Ambientales	Evaluación de riesgos derivados del tipo de explotación	x		2
		Medidas preventivas adoptadas	x		1
		Evaluación de riesgos derivada de infraestructuras e instalaciones		x	0
		Medidas preventivas adoptadas		x	0
		Plan de Vigilancia Ambiental	x		2
		Control y seguimiento. Registros	x		1
		Sistema Gestión Ambiental Implantado	x		1
E	Económicos	Revalorización de activos mineros. Ingresos.	x		1
		Aprovechamiento de residuos. Ingresos.	x		1
		Usos de terrenos. Ingresos.		x	0
		Empresas nueva creación		x	0
		Nº puestos de trabajo creados.	x		1

**Fig. 8-3 Matriz Valores. Proyecto de Cierre Mina de Carbón.**

Los valores obtenidos para cada indicador son:

**P=13; S=0; A=7; E=3.**



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Por lo tanto la puntuación final será:

$$PF = 20\% * P + 30\% * S + 30\% * A + 20\% * E = 5$$

Y teniendo ahora en cuenta el cuadro de calificación tenemos:

		CALIFICACIÓN FINAL			
		INVIABLE (0-5)	VIABLE (5-12)	SOSTENIBLE (12-18)	SOSTENIBLE PLUS (> 18)
PUNTUACIÓN			5		

Cuadro. 8.2 Calificación final.

**CF=VIABLE**

Así pues, la calificación final (CF) da como resultado un proyecto viable sin más.

Cumpliría con los mínimos exigidos pero queda lejos de los criterios de sostenibilidad que hoy en día se persiguen en la industria minera ya que como se puede apreciar en la matriz de evaluación se ve muy penalizado por el desempeño de los indicadores sociales (**S**) que obtienen una puntuación de cero puntos.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **9. Conclusiones y líneas de futuro.**

Después de una visión general de la minería y las diferentes etapas por las que pasan los proyectos ligados a esta y especialmente los relacionados con el cierre de las explotaciones mineras podemos concluir que:

- Los proyectos mineros tienen una gran complejidad.
- Tienen altos niveles de riesgo.
- Requieren de grandes inversiones.
- Están afectados por un gran número de variables que en ocasiones están fuera del alcance de los gestores.
- Es muy difícil establecer con claridad el ciclo de vida de los mismos. Lo que dificulta aún más planificar el cierre.
- Tienen un gran impacto social y medioambiental.
- Han de ser ambientalmente, socialmente y económicamente viables.
- Gran importancia de la transparencia y participación social en los proyectos. Las empresas tienen que ser claras y transparentes.

En cuanto a los proyectos de cierre propiamente dichos:

- El método de evaluación presentado nos permite clasificar el proyecto de cierre dentro del marco global de la sostenibilidad.
- El cierre ha de contemplarse conceptualmente desde las etapas iniciales. Lo contrario conduce al fracaso en muchos casos.
- Tiene que ser planificado.
- Es necesario, a lo largo de la vida del proyecto, hacer dotaciones al cierre.
- El plan de cierre ha de contemplar no sólo el aspecto ambiental, sino el aspecto social.
- Se han de establecer planes de vigilancia para cuantificar el desempeño de las medidas adoptadas.
- En muchas ocasiones, es posible revalorizar los activos mineros como quedó demostrado con los casos de estudio presentados.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

- La investigación en este sentido será un aspecto crucial para el uso de los activos mineros en el post cierre.

Respecto a las líneas de futuro, y siguiendo con el propósito de este Trabajo Final de Master, las líneas de investigación deberían desarrollar herramientas que permitan la evaluación global de modo continuo del proyecto desde las fases iniciales.

El método propuesto para la evaluación del proyecto mediante la matriz de evaluación, se puede decir que es a posteriori, y si bien nos clasifica el proyecto no lo hace de modo continuo a lo largo del ciclo de vida del mismo, lo que nos permitiría tomar las medidas, hacer correcciones o en su caso ajustes de parámetros implicados.

Para esto se propone el desarrollo de Software específico que nos permita mejorar el método de evaluación, monitorizar en continuo y que de alguna manera haga partícipe a la sociedad en el proyecto.

Es muy importante la transparencia de este tipo de proyectos respecto a la sociedad y a las organizaciones interesadas. Por ello la herramienta desarrollada debería de tener bloques abiertos donde las partes interesadas puedan interactuar e influir en el resultado de la evaluación en continuo que se propone.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **10. Bibliografía y Referencias.**

- LEY 22/1973. DE 21 DE JULIO, DE MINAS.
- REAL DECRETO 2857/1978, DE 25 DE AGOSTO, POR EL QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO GENERAL PARA EL RÉGIMEN DE LA MINERIA.
- REGLAMENTO GENERAL DE NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD MINERAS Y SUS CORRESPONDIENTES INSTRUCCIONES TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS.
- Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.
- Real Decreto 777/2012, de 4 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por las actividades mineras.
- Project Management Institute “A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)” .Project Management Institute, Inc. Pennsylvania, 2008.
- Apuntes de las asignaturas del Master de Dirección de Proyectos.
- Manual de Evaluación Técnico-Económica de Proyectos Mineros de Inversión. Instituto Tecnológico Geominero de España. ITGE.
- Towards Sustainable Mining: The Corporate Role in the Construction of Global Standards. <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm>
- Sustainable cost reduction in the mining sector. <https://www.pwc.com/ca/en/mining/publications/cost-reduction-mining-sector>
- Sustainable Development and Industry Self-Regulation: Developments in the Global MiningSector. <http://www.scopus.com/inward/record.url>
- Environmental analysis of mining operations: Dynamic tools for impact assessment. Castilla-Gómez, Jorge .Herrera-Herbert, Juan.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

- Metodología para la ejecución de un cierre de minas sustentable. Guerrero-almeida, Diosdanis Chacón, Yanetsis Fonseca-Potrillé, Doreyis Court-potrillé, Mario.
- Abandoned mines drainage. Banks SB, Banks D.
- Strategies and tactics to control seismic risks in mines. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Potvin, Y.
- Mine Closure and Completion. Australian Government. Agosto, 2016.
- Adaro Tecnología. <http://www.adaro.es/ADR/>
- Grupo Hunosa. <http://www.hunosa.es/inicio>
- <http://www.sciencealert.com/germany-is-converting-a-coal-mine-into-a-massive-renewable-energy-battery>.
- <http://www.ey.com/gl/en/industries/mining---metals/business-risks-in-mining-and-metals>.
- <https://www.pwc.com/mining>.
- <https://www.sciencealert.com/abandoned-mine-management-in-australia>.
- <http://www.carbunion.com/>
- <http://www.minetad.gob.es/energia/mineria/Estadistica/Paginas/Consulta>
- <https://www2.deloitte.com/global/en/pages/energy-and-resources/articles/tracking-the-trends.html>.
- <http://www.sciencealert.com/>
- <https://www.icmm.com/en-gb>
- <https://www.im4dc.org>
- <https://www.matsamining.com/>



*Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras*

**11. Anexos.**



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **11.1. Anexo 1. Aprovechamiento de activos mineros. Casos de estudio.**

Uno de los objetivos del cierre de las explotaciones mineras, además de hacerlo de forma ordenada asegurando la sostenibilidad ambiental y social, tiene que ser también el uso futuro de las instalaciones o terrenos por parte de otras actividades o industrias.

Con una minería que cada vez se encamina hacia modelos sostenibles de forma decidida, las empresas con esta política buscan alternativas de uso a las instalaciones mineras después del cierre.

En este aspecto, a continuación se mostrarán casos de estudio de explotaciones subterráneas y a cielo abierto, donde queda de manifiesto la posibilidad de aprovechamiento después de la actividad minera.

#### **CASO DE ESTUDIO. ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO EN MINA DE CARBÓN.**

A continuación se muestra un proyecto de uso de una antigua mina de carbón para almacenamiento energético en Alemania después de su cierre programado para 2018.



**Fig. 11-1 Mina convirtiéndose en una gran batería. Fuente Science Alert.**



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Alemania está convirtiendo una de sus antiguas minas de carbón en una gigantesca "estación de baterías" que almacenará energía hidroeléctrica y suministrará energía a unas 400.000 viviendas, con la esperanza de lanzar instalaciones similares en todo el país en los próximos años.

Después de medio siglo de servicio, la mina de carbón Prosper-Haniel en el noroeste del país se cerrará en 2018, cuando comenzará la tarea de convertirla en una instalación de energía limpia.

Investigadores de varias universidades alemanas están trabajando con firmas privadas de ingeniería y el gobierno en el proyecto, y llevan a cabo estudios de factibilidad en el sitio desde 2012. Si el proyecto es un éxito, más minas como esta podrían ser adaptadas.

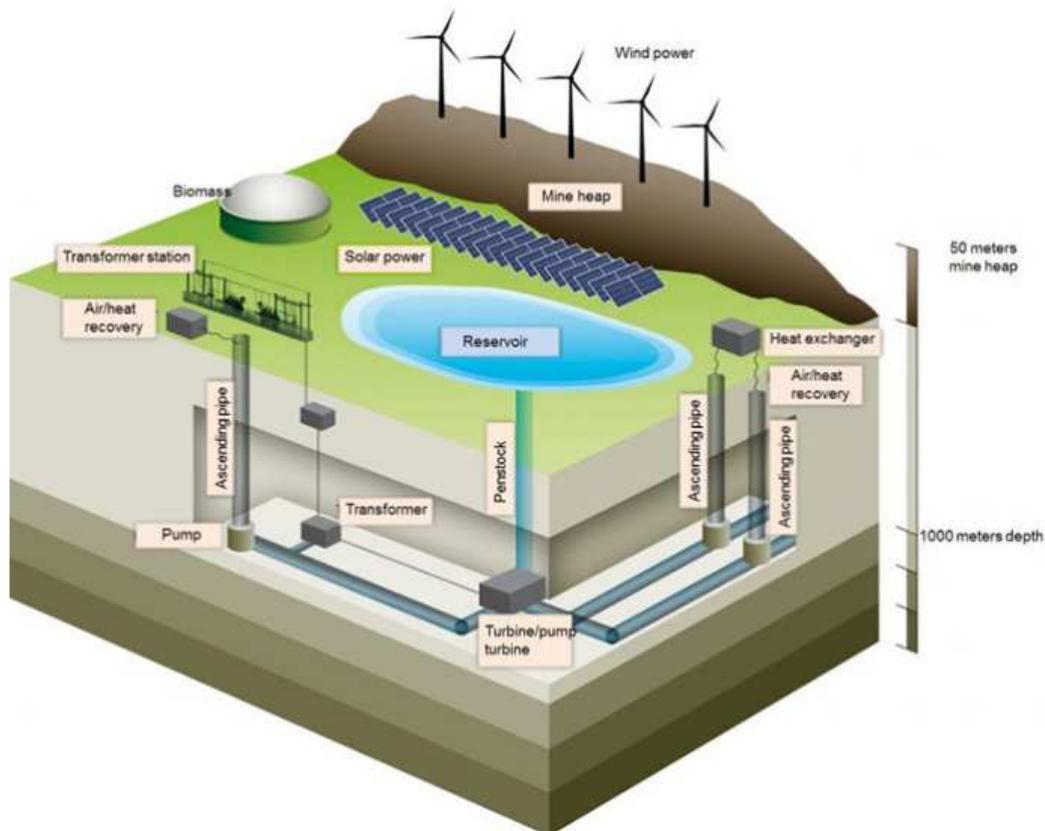


Fig. 11-2 Esquema instalación. Fuente .University of Duisburg-Essen.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Como muestra la figura anterior, la instalación lleva asociadas una planta de biomasa, una planta solar y un parque eólico.

La mina de 600 metros de profundidad ofrece lo equivalente a un salto de agua en las centrales hidroeléctricas, la posibilidad de bombeo y almacenamiento. Durante periodos de baja demanda, o en días ventosos o muy soleados el agua se bombea a superficie quedando almacenada como energía potencial para su uso cuando fuera necesario.

La subestación eléctrica transformadora, de 200 megavatios, absorbería energía de turbinas eólicas, paneles solares y fuentes de biomasa instaladas en la superficie de la mina.

Este tipo de instalaciones pueden ser muy interesantes para equilibrar las cargas de electricidad durante las horas punta, cuando otras fuentes de energía renovable como el sol y el viento no estén disponibles.

Si la planta de Prosper-Haniel se pone en línea como estaba previsto, ayudará a la región de Renania del Norte-Westfalia a cumplir su objetivo de que el 30 por ciento de su energía provenga de fuentes renovables para 2025.

Además se crearán nuevos puestos de trabajo y generará actividad económica en una región donde tradicionalmente la gente ha confiado en la producción de combustibles fósiles para su sustento.

Un beneficio añadido de la conversión de minas en desuso es que no interfiere con el paisaje natural y no requiere el desvío de ríos, creación de pantanos etc, que a menudo se da en este tipo de centrales eléctricas.



## **CASO DE ESTUDIO. APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA.**

Otro caso de estudio y éxito es el aprovechamiento de la energía geotérmica. La empresa estatal HUNOSA, ejecutó proyectos de aprovechamiento geotérmico de agua de mina en la localidad de Mieres en los pozos mineros, Barredo, Figaredo, San José y Santa Bárbara.

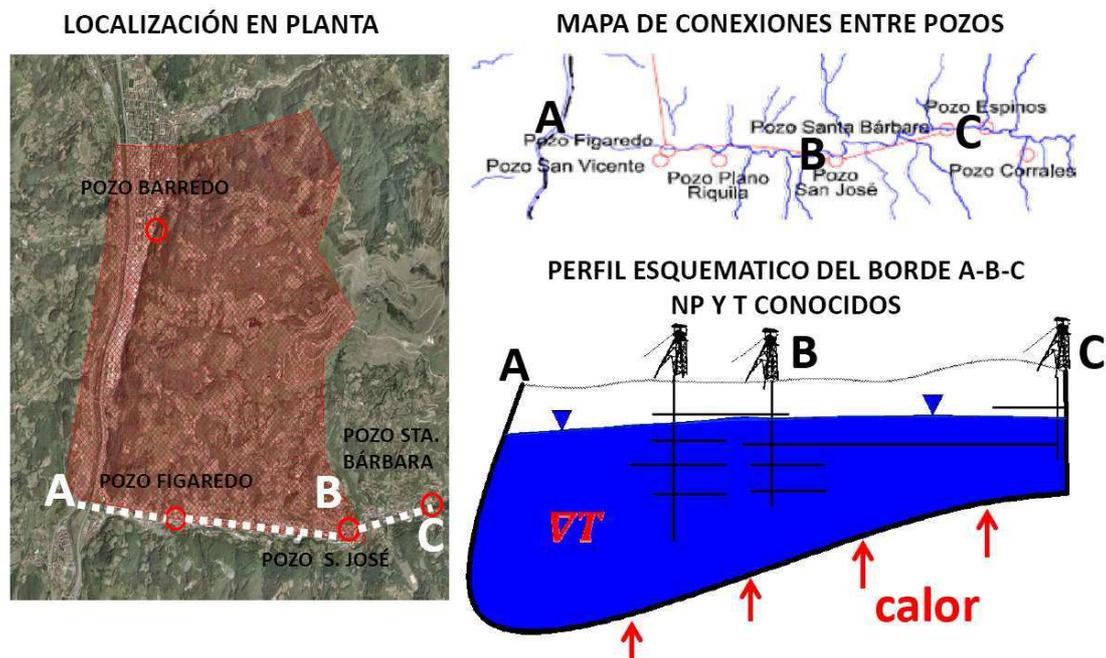


Fig. 11-3 Esquema conexión entre pozos. SEPI.

En la actualidad el aprovechamiento del potencial geotérmico de las aguas bombeadas por el Pozo Barredo se lleva a cabo mediante los siguientes proyectos ya ejecutados:

- Hospital Vital Álvarez Buylla
- Centro de Investigación de la Universidad de Oviedo en el Campus de Barredo
- Sede de la Fundación Asturiana de la Energía FAEN



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Estos proyectos se vinculan Contratos de Servicios Energéticos y reportan a HUNOSA ingresos ligados a una actividad, el bombeo de los pozos mineros derivado del mantenimiento de las cotas de seguridad, que representa un “coste eterno” ya que, independientemente del cese de la actividad extractiva, se debe mantener el bombeo para evitar futuras afecciones a las diferentes infraestructuras construidas durante más de un siglo en el que los niveles piezométricos estaban artificialmente deprimidos.

### **HOSPITAL ÁLVAREZ BUYLLA.**

Dispone de una instalación geotérmica que utiliza dos bombas de calor que pueden funcionar tanto en frío como en calor, y una bomba que funciona simultáneamente proporcionando calefacción y refrigeración, con una potencia total máxima de 3,081 MWt en frío y 2,903 MWt en calor.

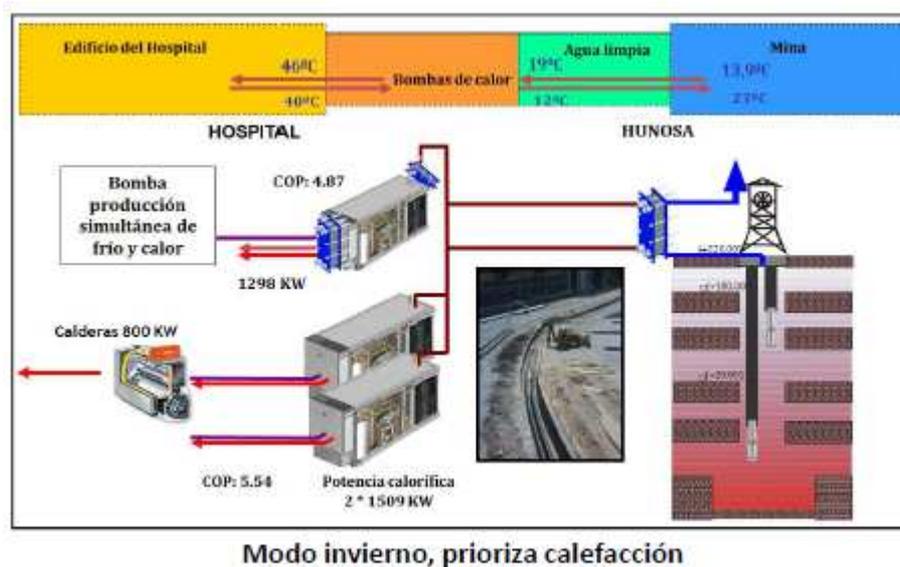


Fig. 11-4 Esquema instalación Hospital Álvarez Buylla.

Este proyecto permite al Hospital disfrutar de una fuente de energía renovable, disminuyendo sus emisiones de CO<sub>2</sub>, eliminar los riesgos de legionella asociados al funcionamiento de torres de refrigeración y obtener un beneficio económico en lo que a coste de combustible se refiere comparándolo con un sistema de producción de calor y frío convencional.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

El proyecto ha representado una inversión inicial que alcanzó 1.300.000 euros garantizando un ahorro promedio del 10% respecto a fuentes energéticas convencionales.

#### **1) Ahorro energético anual (energía primaria)**

Consumo energético total previsto anual (kwh/año)	7.173.376
Consumo energético total anual empleando geotermia (kwh/año)	2.711.442
<b>Ahorro energético total</b>	<b>62%</b>

#### **2) Reducción de emisiones\***

Emisiones de CO <sub>2</sub> total previsto anual (t/año)	1.488
Emisiones de CO <sub>2</sub> total anual empleando geotermia (t/año)	484
<b>Ahorro CO<sub>2</sub> total</b>	<b>67,5%</b>

#### **3) Ahorro económico: 10%**

Cuadro. 11.1 Ahorro energético y económico anual, emisiones. SEPI.

### **CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO EN EL CAMPUS DE BARREDO.**

Posee un sistema de distribución de calor/frío formado fundamentalmente por sistemas de fancoils a cuatro tubos, funcionando a 50°C para calefacción y 7°C en refrigeración.

En el caso de este edificio las necesidades térmicas de calor y frío pueden quedar totalmente cubiertas con el empleo del sistema geotérmico a excepción de la refrigeración requerida por los grandes equipos de tratamiento de datos, que debido a sus condicionantes particulares queda cubierta con sistemas autónomos.

El sistema de bombeo del Pozo Barredo, provee el caudal de agua necesario para el correcto funcionamiento del sistema geotérmico, 120 m<sup>3</sup>/h.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

El sistema de distribución del agua hasta los edificios (distancia aproximada 250 m). Se trata de tuberías revestidas enterradas que transcurren por zanja y las tuberías de salida de los edificios con objeto de verter de nuevo el caudal al río. En el caso del Centro de Investigación de utilizó diámetro 6". En las zonas en que la tubería no discurre por zanja se utiliza además un aislamiento de fieltro ligero de lana de vidrio, aglomerado de resinas termoendurecibles y se recubre de una chapa de aluminio para su protección.

Como sistemas de generación, dado que se necesita una alta simultaneidad en la demanda de frío y calor, se utiliza un sistema de generación compensado empleando dos enfriadoras RTWB 210 (potencia calorífica 362 KW cada unidad).



Fig. 11-5 Esquema acometidas. SEPI.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Como se muestra a continuación, igual que en el caso del hospital, el ahorro energético en las instalaciones del centro de investigación ha sido considerable.

#### **1) Ahorro energético anual**

Consumo energético total previsto anual (kwh/año)	1.515.792
Consumo energético total anual empleando geotermia (kwh/año)	403.742
<b>Ahorro energético total</b>	<b>73%</b>

#### **2) Reducción de emisiones\***

Emisiones de CO <sub>2</sub> total previsto anual (t/año)	249
Emisiones de CO <sub>2</sub> total anual empleando geotermia (t/año)	113
<b>Ahorro CO<sub>2</sub> total</b>	<b>68%</b>

#### **3) Ahorro económico : 18%**

Cuadro. 11.2 Ahorro energético y económico anual, emisiones. SEPI.



## *Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras*

### **CASO DE ESTUDIO. LAGO ARTIFICIAL MINA AS PONTES, ENDESA.**

Desde 1976 hasta 2007 Endesa explotó la Mina de As Pontes para suministrar combustible a la Central Térmica de su propiedad situada a pie de mina.

El yacimiento de lignito pardo consiste en una cuenca sedimentaria de edad terciaria (unos 40 millones de años), formada por una potente serie de lignito y arcillas. En total se contabilizan 19 capas de lignito con espesores entre 1 y 28 metros. La explotación tiene una longitud aproximada de 6 km y una anchura de 2,5 km, con un estrechamiento parcial en el centro, denominado umbral, que divide el área de explotación en dos campos: Oeste y Este. La profundidad máxima excavada es de 288 metros en el Campo Oeste y 235 metros en el este.



**Fig. 11-6 Vista general de la explotación.**



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

El yacimiento de lignito pardo consiste en una cuenca sedimentaria de edad terciaria (unos 40 millones de años), formada por una potente serie de lignito y arcillas. En total se contabilizan 19 capas de lignito con espesores entre 1 y 28 metros. La explotación tiene una longitud aproximada de 6 km y una anchura de 2,5 km, con un estrechamiento parcial en el centro, denominado umbral, que divide el área de explotación en dos campos: Oeste y Este. La profundidad máxima excavada es de 288 metros en el Campo Oeste y 235 metros en el este.

La geometría de la corta y las desfavorables condiciones geotécnicas no permitieron la construcción de escombreras interiores hasta 1999. Por ello, la mayor parte de los estériles se depositaron en una escombrera exterior ubicada en el borde sudoeste de la mina, fuera de la cuenca productiva.

En 1999 comenzó el vertido de estériles en el interior del campo este de la explotación, coexistiendo de esta forma las dos escombreras, interior y exterior, hasta el año 2002, a partir de ese año, todo el estéril se depositó únicamente en la Escombrera Interior.

Al tratarse de un yacimiento multicapa con carbón y estéril de muy diversos espesores, el laboreo se llevó a cabo mediante el denominado “método alemán”, basado en una extracción con excavadora de rodete, transporte mediante cinta y vertido con apiladora.

A lo largo del periodo de explotación se extrajeron 261,3 millones de toneladas de lignito y 697,3 millones de metros cúbicos de sedimentos arcillosos de la cuenca terciaria y pizarras del borde del yacimiento. La actividad minera supuso la creación de una escombrera exterior de 720 Mm<sup>3</sup>, una escombrera interior de 93 Mm<sup>3</sup> y un hueco final de 12 km<sup>2</sup> de superficie.

La restauración de la escombrera exterior se inició en 1985 y concluyó en 2006. La recuperación ambiental del hueco minero se inició en 2008 y finalizó en abril de 2012.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

La escombrera exterior finalmente, ocupa una superficie de 1.150 hectáreas, tiene un volumen de 720 millones de metros cúbicos y una altura de 160 metros.



**Fig. 11-7 Vista de la escombrera exterior en actividad.**

Tiene dos zonas claramente diferenciadas: la zona Este, más cercana a la explotación y la zona Oeste más lejana y de mayor extensión. En la zona Oeste los taludes alcanzan 150 m de altura y en la zona Este 130 m, llegando a 160 metros en algunos puntos dependiendo de la topografía del valle.



**Fig. 11-8 Estado final de un nivel de la escombrera.**



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Para proteger la escombrera de las escorrentías externas a su contorno se construyeron, antes de iniciar las labores de apilado, un conjunto de canales a lo largo del perímetro, alcanzando su longitud unos veinte kilómetros.

Para construir la escombrera de manera estable fue necesario diseñar taludes de poca pendiente, que van separados por plataformas horizontales constituyendo el conjunto de formas geométricas suaves acorde con el entorno.

Su diseño es como una pirámide truncada y escalonada, formada por ocho niveles o escalones, los cuales a su vez, están formados por un talud de 20 metros de altura y 20% de pendiente y una plataforma de 80 a 100 metros de anchura y 2,5% de pendiente.

La escombrera en su situación actual y definitiva ocupa una superficie de 1.150 hectáreas, tiene un volumen de 720 millones de metros cúbicos y una altura de 160 metros.

La restauración de estas 1.150 hectáreas implicó que se realizasen del orden de 6.000 análisis físico-químicos de muestras de tierras y de aguas, se utilizaran más de tres millones de metros cúbicos de tierra vegetal o estériles seleccionados, se construyeran del orden de 100 kilómetros entre pistas y cunetas, se sembraran 130.000 kilos de semillas y se plantaran del orden de 600.000 árboles.

A continuación se muestra una fotografía de la totalidad de la escombrera restaurada.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras



**Fig. 11-9 Vista general de la escombrera.**

En cuanto a la restauración del hueco minero, la solución ambiental que se adoptó para rehabilitar este gran hueco fue la creación de un Lago artificial, tal como ya se recogía en el “Estudio de Impacto Ambiental de la Mina de Puentes de García Rodríguez (La Coruña)” presentado y aprobado por la administración correspondiente en 1983.

La inundación del hueco minero y la consiguiente creación del lago era la única solución viable para rehabilitar la zona afectada por la excavación. Las enormes dimensiones del hueco y el elevado régimen pluviométrico de la zona no permitieron contemplar otra opción, ya que su inundación se produciría en cualquier caso. Por lo tanto, fue preciso definir un proceso controlado de



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

llenado que garantizase que el resultado final fuese un Lago integrado en el medio, compatible con cualquier uso que se le pueda asignar.

Las características geográficas y geológicas de la explotación de As Pontes se presentan como las ideales para la creación de un lago artificial. La alta pluviometría y la situación de la explotación en una zona baja del valle próxima al río Eume hacen posible la captación de un volumen elevado de agua, que procederá de tres cuencas distintas: la escorrentía del propio hueco, la correspondiente a la escombrera exterior y el río Eume.

Los informes relativos al modelo hidroquímico y sus resultados, los proyectos relacionados con las obras necesarias para acometer el llenado del lago y los estudios justificativos de la conveniencia de utilizar el río Eume como aportación principal a dicho llenado, fueron presentados ante la Administración para obtener las autorizaciones y concesiones correspondientes.

De entre estas cabe destacar:

- Declaración de Impacto Ambiental, formulada mediante resolución de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental de la Consellería de Medio Ambiente de fecha 8 de julio de 2005, publicada en el D.O.G. de 11 de octubre de 2005, con corrección de errores de 18 de julio de 2005.
- Concesión para la captación de agua del río Eume en el azud de la Central Térmica en As Pontes para el llenado del hueco de la Mina, otorgada por resolución del organismo autónomo Aguas de Galicia, de 10 de agosto de 2005, publicada en el B.O.P.de A Coruña de 31 de agosto de 2005, con corrección de errores de 27 de septiembre de 2005.
- Autorización de vertido de aguas residuales procedentes del rebose producido por la creación de un lago artificial en el hueco de la mina de As Pontes, otorgada por resolución de Aguas de Galicia de 10 de Agosto de 2005.



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Asimismo, Aguas de Galicia impuso la necesidad de elaborar e implantar un Plan de Vigilancia Ambiental que afectase tanto al control del vertido como al medio receptor afectado. Dicho Plan de Vigilancia fue presentado ante Aguas de Galicia y la resolución de aceptación por parte de este organismo fue emitida el 20 de junio de 2007.

Por otra parte, se solicitó a la Consellería de Innovación e Industria de la Xunta de Galicia el abandono y cierre de la explotación minera “Mina de As Pontes”, que fue autorizado el 10 de noviembre de 2008. Dicho cierre debía realizarse en base a un segundo Plan de Seguimiento y Control del “Proyecto de Cierre de la Explotación de Lignito de As Pontes” que fue presentado el 12 de febrero de 2009 y aprobado el 20 de abril del mismo año por la Consellería de Innovación e Industria de la Xunta de Galicia.

El Lago de As Pontes alberga un volumen de 547 hm<sup>3</sup>. El periodo de llenado abarca desde los primeros días de Enero de 2008 hasta que la lámina de agua alcanzó la cota +332 m.s.n.m., en abril de 2012, momento en el cual el Lago comienza a verter en el cauce del río Carracedo, afluente del Eume.

Es evidente que la velocidad del llenado y, por lo tanto, el tiempo empleado en ello dependió fundamentalmente de la pluviosidad de los años durante los cuales se lleve a cabo.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras



**Fig. 11-10 Vista del lago artificial.**

Actualmente, la situación de llenado y apertura al público del lago se corresponde con creces con la previsión realizada desde comienzos del proyecto. A primeros de 2012, cuando el hueco de la vieja mina se encontró totalmente lleno, Endesa entregó estas aguas de dominio público a Augas de Galicia, ente dependiente de la Xunta de Galicia, órgano administrador autonómico.

En referencia a la escombrera, su total recuperación y puesta en valor está totalmente concluida, pudiéndose visitar actualmente este espacio donde la biodiversidad es reflejo del trabajo bien hecho, y donde el visitante percibe la gama de colores de nuestros parajes naturales, así como la combinación de flora y fauna.

En cuanto a actividades lúdicas, entre otros, ya han tenido lugar la celebración de diversos acontecimientos de interés general, tales como:



### Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

- Campeonato de España de Piragüismo
- Campeonato Gallego de Vela (modalidad Vaurien)
- Campeonato de Voley Playa
- Fiesta del Lago



**Fig. 11-11 Panorámica disfrutando de las aguas del lago.**

Aunque la inversión que requiere el proyecto no ha concluido hasta el momento, a continuación detallaremos las previsiones del desembolso final que está previsto para la ejecución y puesta en marcha de este proyecto: escombrera y lago.

El total de las inversiones realizadas en las obras del lago, ascienden a la cantidad de 35.000.000 de euros.

En cuanto a las obras e inversiones realizadas en la Escombrera ascienden a la cantidad de 15.000.000 de euros.

El presupuesto final alcanzado superará los 50.000.000 de euros.



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### 11.2. Anexo 2. Inventario de instalaciones de industrias extractivas cerradas y abandonadas.

Inventario de instalaciones de residuos de industrias extractivas cerradas y abandonadas en España (Actualización noviembre 2015) (que tienen un impacto medioambiental grave o que pueden convertirse a medio o corto plazo en una amenaza grave para la salud de las personas o para el medio ambiente)						
CÓDIGO	COMUNIDAD AUTÓNOMA	PROVINCIA	MUNICIPIO	ESCOMBRERA	PRESA	TIPO DE MINERÍA
880 II 2 001	ANDALUCÍA	CORDOBA	ALCARACEJOS		X	METÁLICA
858 IV 3 002	ANDALUCÍA	CORDOBA	ALCARACEJOS		X	METÁLICA
879 I 4 001	ANDALUCÍA	CORDOBA	FUENTE OBEJUNA		X	METÁLICA
858 IV 3 003	ANDALUCÍA	CORDOBA	VILLANUEVA DEL DUQUE		X	METÁLICA
858 IV 3 004	ANDALUCÍA	CORDOBA	VILLANUEVA DEL DUQUE		X	METÁLICA
917 I 4 001	ANDALUCÍA	HUELVA	LA NAVA		X	METÁLICA
938 IV 4 002	ANDALUCÍA	HUELVA	NERVA		X	METÁLICA
938 IV 4 003	ANDALUCÍA	HUELVA	MINAS DE RÍO TINTO		X	METÁLICA
884 II 2 001	ANDALUCÍA	JAEN	LA CAROLINA		X	METÁLICA
884 II 1 002	ANDALUCÍA	JAEN	LA CAROLINA		X	METÁLICA
34 III 4 003	CANTABRIA	CANTABRIA	CARTES		X	METÁLICA
34 III 4 006	CANTABRIA	CANTABRIA	CARTES		X	METÁLICA
34 III 4 007	CANTABRIA	CANTABRIA	CARTES		X	METÁLICA
34 III 4 001	CANTABRIA	CANTABRIA	TORRELAVEGA		X	METÁLICA
34 III 4 002	CANTABRIA	CANTABRIA	TORRELAVEGA		X	METÁLICA
809 II 1 001	CASTILLA LA MANCHA	CIUDAD REAL	VILLAMAYOR DE CALATRAVA		X	METÁLICA
809 II 1 002	CASTILLA LA MANCHA	CIUDAD REAL	VILLAMAYOR DE CALATRAVA		X	METÁLICA
809 II 1 003	CASTILLA LA MANCHA	CIUDAD REAL	VILLAMAYOR DE CALATRAVA		X	METÁLICA
657 III 2 001	CASTILLA LA MANCHA	TOLEDO	MAZARAMBROZ		X	METÁLICA
835 III 1 001	CASTILLA LA MANCHA	CIUDAD REAL	ALMODÓVAR DEL CAMPO		X	METÁLICA
835 III 3 001	CASTILLA LA MANCHA	CIUDAD REAL	ALMODÓVAR DEL CAMPO	X		METÁLICA
835 III 3 002	CASTILLA LA MANCHA	CIUDAD REAL	ALMODÓVAR DEL CAMPO	X		METÁLICA
835 III 3 003	CASTILLA LA MANCHA	CIUDAD REAL	ALMODÓVAR DEL CAMPO	X		METÁLICA
861 II 3 001	CASTILLA LA MANCHA	CIUDAD REAL	MESTANZA	X		METÁLICA
861 II 3 002	CASTILLA LA MANCHA	CIUDAD REAL	MESTANZA	X		METÁLICA
126 II 3 001	CASTILLA LEÓN	LEON	FABERO	X		CARBÓN
126 II 3 004	CASTILLA LEÓN	LEON	FABERO	X		CARBÓN
126 II 3 005	CASTILLA LEÓN	LEON	FABERO	X		CARBÓN
126 II 3 006	CASTILLA LEÓN	LEON	FABERO	X		CARBÓN
126 II 3 007	CASTILLA LEÓN	LEON	FABERO	X		CARBÓN
126 II 3 014	CASTILLA LEÓN	LEON	FABERO	X		CARBÓN
158 III 3 001	CASTILLA LEÓN	LEON	SOBRADO		X	CARBÓN
158 III 3 002	CASTILLA LEÓN	LEON	SOBRADO		X	CARBÓN
159 III 3 016	CASTILLA LEÓN	LEON	TORRE DEL BIERZO	X		CARBÓN
95 IV 1 002	GALICIA	A CORUÑA	TOURO		X	METÁLICA
125 III 4 001	GALICIA	LUGO	PEDRAFITA DO CEBREIRO		X	METÁLICA
878 I 4 001	JUNTA DE EXTREMADURA	BADAJOS	AZUAGA		X	METÁLICA
805 II 4 001	JUNTA DE EXTREMADURA	BADAJOS	CASTUERA		X	METÁLICA
141 II 4 001	NAVARRA	NAVARRA	ARANGUREN-PAMPLONA		X	NO METÁLICA (POTASAS)
88 IV 3 001	PAÍS VASCO	GUIPUZCOA	MUTILOA - GABIRIA		X	METÁLICA
28 II 2 001	PRINCIPADO DE ASTURIAS	ASTURIAS	LLANERA		X	INDUSTRIAL (FLUORITA)
53 III 3 001	PRINCIPADO DE ASTURIAS	ASTURIAS	LENA	X		METÁLICA
53 III 2 001	PRINCIPADO DE ASTURIAS	ASTURIAS	MIERES	X		CARBÓN
77 II 1 001	PRINCIPADO DE ASTURIAS	ASTURIAS	QUIRÓS	X		CARBÓN

**Tabla. 11.1 Inventario de instalaciones de residuos de Industrias Extractivas abandonadas y cerradas en España. Ministerio de Industria.**



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Inventario de instalaciones de residuos de industrias extractivas cerradas y abandonadas en España (Actualización noviembre 2015)  
(que tienen un impacto medioambiental grave o que pueden convertirse a medio o corto plazo en una amenaza grave para la salud de las personas o para el medio ambiente)

CÓDIGO	COMUNIDAD AUTÓNOMA	PROVINCIA	MUNICIPIO	ESCOMBRERA	PRESA	TIPO DE MINERÍA
978 I 1 001	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	CARTAGENA		X	METÁLICA
978 I 1 009	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	CARTAGENA		X	METÁLICA
977 II 4 017	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	CARTAGENA		X	METÁLICA
977 II 4 041	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	CARTAGENA		X	METÁLICA
977 II 4 043	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	CARTAGENA		X	METÁLICA
978 I 3 014	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
978 I 3 016	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
978 I 3 021	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
978 I 3 022	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
978 I 3 026	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
977 II 4 001	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
977 II 4 021	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
977 II 4 024	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
977 II 4 027	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
977 II 4 028	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
977 II 4 029	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
977 II 4 030	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
977 II 4 031	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
977 II 4 033	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
977 II 4 034	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION	X		METÁLICA
977 II 4 035	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION	X		METÁLICA
977 II 4 036	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION	X		METÁLICA
977 II 4 044	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION		X	METÁLICA
977 II 4 100	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	LA UNION	X		METÁLICA
976 II 3 003	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	MAZARRÓN	X		METÁLICA
976 II 3 004	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	MAZARRÓN		X	METÁLICA
976 II 3 005	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	MAZARRÓN		X	METÁLICA
976 II 3 006	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	MAZARRÓN		X	METÁLICA
976 II 3 007	REGIÓN DE MURCIA	MURCIA	MAZARRÓN		X	METÁLICA

**Tabla. 11.2 Inventario de instalaciones de residuos de Industrias Extractivas abandonadas y cerradas en España. Ministerio de Industria.**



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

### **11.3. Anexo 3. Índice de figuras.**

Fig. 2-1 Áreas innovación minera. Deloitte.....	6
Fig. 2-2 Riesgos industria minera. Fuente: EY Bussiness risks facing mining and metals 2015-2016.....	8
Fig. 2-3 Riesgos industria minera. Fuente: EY Bussiness risks facing mining and metals 2016-2017.....	9
Fig. 2-4 Valor de la producción mineral en M€. Ministerio de Industria.....	10
Fig. 2-5 Evolución de la producción de carbón nacional en los últimos años. Ministerio de Industria, Carbuni3n.....	11
Fig. 2-6 ERE Uminsa y Minera Astur Leonesa. Leonoticias.....	11
Fig. 2-7 Liquidaci3n HVL. Leonoticias.....	12
Fig. 2-8 Precio de carb3n internacional. La Voz de Asturias.....	12
Fig. 2-9 Evoluci3n producci3n minería metálica. Ministerio de Industria.....	13
Fig. 2-10 Evoluci3n del precio del Niquel. Infomine.....	13
Fig. 2-11 Evoluci3n precio del Cobre. Infomine.....	14
Fig. 2-12 Mina Aguablanca. El Pa3s.....	14
Fig. 2-13 Consumo Áridos. ANEFA.....	15
Fig. 2-14 Consumo áridos serie 1980-2017.ANEFA.....	16
Fig. 2-15 Ministerio de industria.....	17
Fig. 2-16 Mina Oro de Salave. La Nueva Espa3a.....	17
Fig. 3-1 Premisas proyecto minero sostenible.....	19
Fig. 3-2 Ciclo PDCA de mejora continua.....	20
Fig. 3-3 Indicadores de sostenibilidad.....	22
Fig. 3-4 Nivel de riesgo asociado a las diferentes etapas del proyecto minero. Instituto Tecnol3gico GeoMinero de Espa3a, ITGE.....	24
Fig. 3-5 Evoluci3n de los gastos e ingresos ligados al ciclo de vida de un proyecto minero. Instituto Tecnol3gico GeoMinero de Espa3a, ITGE.....	25
Fig. 3-6 Avioneta realizando labores de exploraci3n.....	26
Fig. 3-7. Participaci3n ciudadana. Geoalcali.....	28
Fig. 3-8 Inversiones de capital-proyecto. Instituto Tecnol3gico GeoMinero de Espa3a, ITGE.....	29



## Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

Fig. 3-9 Explotación a cielo abierto. Hullera Vasco Leonesa. León.....	31
Fig. 3-10 Instalaciones auxiliares y planta de tratamiento de MATSA. Huelva.	32
Fig. 3-11 Cantera de rocas industriales. Caleros de Brañes. San Cucao de Llanera, Asturias. ....	33
Fig. 3-12 Gravera El Puente, Aranjuez (Madrid). ....	34
Fig. 3-13 Explotación de carbón a cielo abierto “ Mina As Pontes” Endesa. ....	35
Fig. 3-14 Esquema Pozo Sotón.....	37
Fig. 3-15 Pozo Aurelio del Valle e instalaciones auxiliares en Santa Lucía de Gordón. ....	38
Fig. 3-16 Bocamina explotación subterránea. MATSA. Huelva.....	39
Fig. 3-17 Explotación mediante cámaras y pilares. ....	40
Fig. 3-18 Planificación del cierre de un proyecto minero.....	42
Fig. 3-19 Riesgos y contingencias en las operaciones mineras.....	43
Fig. 3-20 Interacción entre grupos de procesos. PMBOK, 2008. ....	45
Fig. 3-21 Grupos de procesos. PMBOK, 2008. ....	45
Fig. 6-1 Río Tinto,Huelva.....	60
Fig. 6-2 Rotura Balsa Mina Aznalcóllar. ....	64
Fig. 6-3 Itinerario emisiones contaminantes.....	65
Fig. 7-1 Planificación del cierre. International Council on Mining & Metals, ICMM.....	75
Fig. 7-2 Esquema instalación de comunicación. Adaro Tecnología. ....	79
Fig. 8-1 Desarrollo sostenible.....	83
Fig. 8-2 Matriz evaluación. Elaboración propia.....	85
Fig. 8-3 Matriz Valores. Proyecto de Cierre Mina de Carbón. ....	87
Fig. 11-1 Mina convirtiéndose en una gran batería. Fuente Science Alert. ....	94
Fig. 11-2 Esquema instalación. Fuente .University of Duisburg-Essen. ....	95
Fig. 11-3 Esquema conexión entre pozos. SEPI. ....	97
Fig. 11-4 Esquema instalación Hospital Álvarez Buylla.....	98
Fig. 11-5 Esquema acometidas. SEPI.....	100
Fig. 11-6 Vista general de la explotación. ....	102
Fig. 11-7 Vista de la escombrera exterior en actividad.....	104



*Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras*

Fig. 11-8 Estado final de un nivel de la escombrera.....	104
Fig. 11-9 Vista general de la escombrera.....	106
Fig. 11-10 Vista del lago artificial.....	109
Fig. 11-11 Panorámica disfrutando de las aguas del lago.....	110



Evaluación de Proyectos de Cierre de Explotaciones Mineras

**11.4. Anexo 4. Índice de tablas y cuadros.**

Tabla. 6.1 Minería subterránea. Elaboración propia.....	66
Tabla. 6.2 Minería a cielo abierto. Elaboración propia. ....	67
Tabla. 6.3 Infraestructuras. Elaboración propia.....	67
Tabla. 6.4 Balsas de lodos. Elaboración propia. ....	68
Tabla. 6.5 Escombreras. Elaboración propia.....	69
Tabla. 6.6 Instalaciones almacenamiento de agua. Elaboración propia.....	70
Tabla. 6.7 Plantas de tratamiento e instalaciones. Elaboración propia. ....	70
Tabla. 6.8 Riesgos poblaciones mineras. Elaboración propia. ....	73
Tabla. 11.1 Inventario de instalaciones de residuos de Industrias Extractivas abandonadas y cerradas en España. Ministerio de Industria.....	111
Tabla. 11.2 Inventario de instalaciones de residuos de Industrias Extractivas abandonadas y cerradas en España. Ministerio de Industria.....	112
Cuadro. 8.1 Calificación Final.....	86
Cuadro. 8.2 Calificación final.....	88
Cuadro. 11.1 Ahorro energético y económico anual, emisiones. SEPI. ....	99
Cuadro. 11.2 Ahorro energético y económico anual, emisiones. SEPI. ....	101