

Cierre de Minas: Cambio Climático en la Evaluación y Gestión del Riesgo



CEPAL

Seminario:

Acción Preventiva de los Efectos del Cambio Climático
en el Cierre de Minas en los Países Andinos

Septiembre 2023

Allan Beltran

University of Birmingham

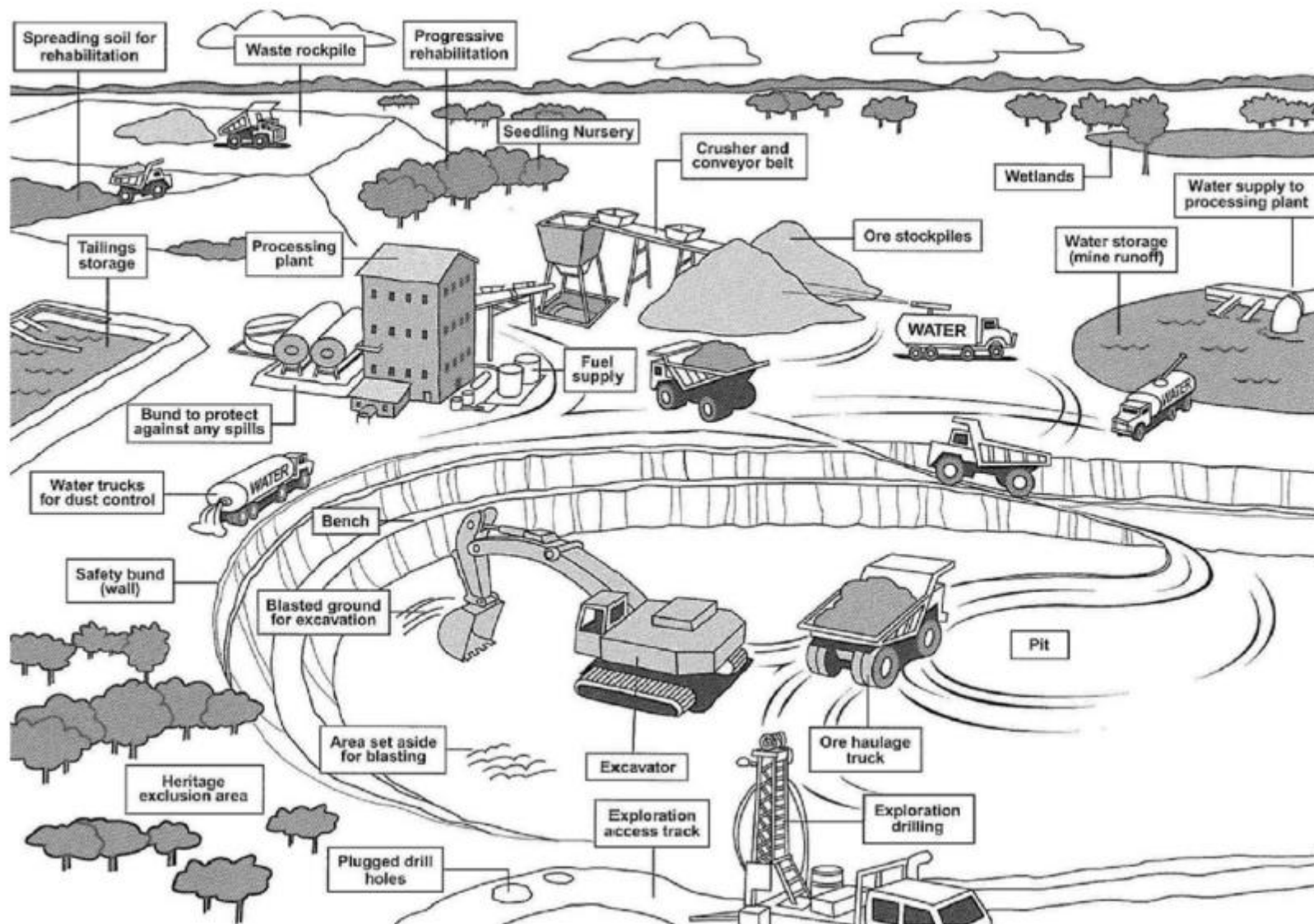
Department of Economics

a.i.beltranhernandez@bham.ac.uk

Presentación:

- Cambio climático y el ciclo de vida de la mina
- Impactos del cambio climático en el cierre de minas:
 1. Gestión de relaves y contaminación polimetálica
 2. Generación de drenaje ácido
 3. Erosión de minas rehabilitadas
- Metodología: Cierre de minas – Cambio climático en la evaluación y gestión del riesgo.
- Aplicación: Cambio climático y el cierre de minas – Ranger, Australia
- Retos y recomendaciones.

Cambio climático y el ciclo de vida de la mina:



Fuente: Phillips, J. (2016)

Cambio climático y el ciclo de vida de la mina (I)

- Impacto del cambio climático en el ciclo de vida de la mina:

Exploración



Factibilidad



Planificación y diseño



Construcción



Operación



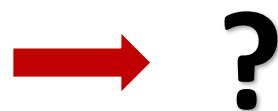
Cierre



Poscierre



- Rutas de transporte y la infraestructura de la mina son susceptibles a los eventos climatológico extremos.
- Cambios en la disponibilidad de agua afectan el procesamiento y funcionamiento de la mina.



Fuente: CEPAL (2020)

Cambio climático y el ciclo de vida de la mina (II)

- La mayoría de las minas tiene un ciclo de vida corto -> No estarán en operación cuando se materialicen las consecuencias más extremas del cambio climático.
- Las actividades de poscierre pueden considerar períodos entre 300 y 400 años.
- Las estructuras que permanecen después del cierre de la mina deberán ser diseñadas para soportar condiciones de cambio climático en el muy largo plazo.

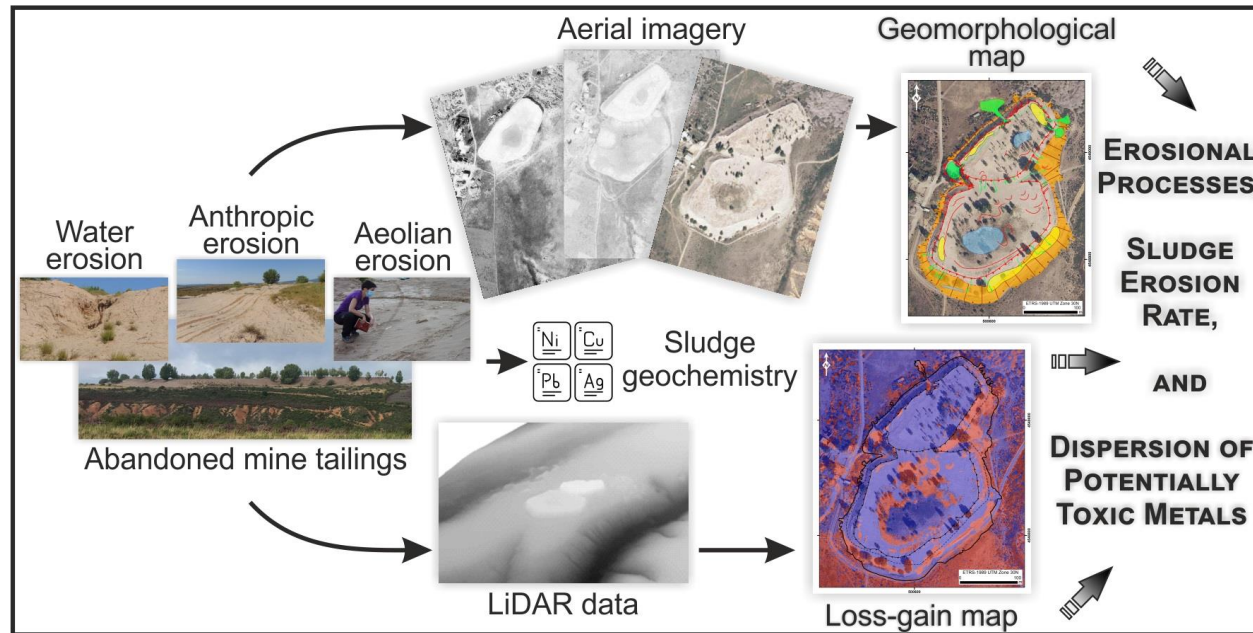


Cierre: Período activo de rehabilitación, remediación y cierre de actividades.

Poscierre: El sitio ha sido completamente rehabilitado y estabilizado y únicamente se lleva a cabo un monitoreo del sitio.

Impactos del cambio climático en el cierre de minas:

- La erosión en el sitio de la mina puede aumentar debido a la actividad humana, y el aumento en la frecuencia en sequía y lluvias torrenciales.



Fuente: Martínez-Velázquez et al. (2022)

- Los metales contaminantes se emiten en el área de minas y se dispersan a través del viento y erosión hídrica.
- Históricamente: Balances hídricos se realizan considerando características topográficas y geotérmicas estacionarias de largo plazo.

(I) Gestión de relaves y contaminación polimetálica:

- Doumas et al. (2018) - Mediterráneo.
- Los metales contaminantes se emiten en el área de minas y se dispersan a través del viento y erosión hídrica.
- Partículas menores a 1mm -> Pequeñas y débil cohesión.
- Condiciones climáticas como: inviernos templados, veranos calientes y secos, y lluvias escasas pero intensas (*first flush*), favorecen el esparcimiento de contaminantes -> Clima árido y semi-árido.
- Riesgos a la salud: Exposición crónica a metales tóxicos – (polimetales?).
- Potencial daño a fauna, agricultura y vegetación.
- La fitoestabilización de relaves representa una medida efectiva para evitar al dispersión de metales en otros ecosistemas.

(II) Generación de drenaje ácido:

- Rayane et al. (2009) - Yellowknife, Canadá.
- Efectos del cambio climático (T y P) en balances hídricos que contienen drenaje ácido -> Cierre y Poscierre.
- Efecto del incremento de T en tasas de oxidación:
2050: +15%; 2100: +28%
Para 2100 la tasa de oxidación es 1.3 veces mayor que el período 1971 – 2000.
- Aumento de precipitación compensa incremento de temperatura para la mayor parte del año.
- Efecto de eventos extremos (1 en 200 años)
Calor extremo (mayor oxidación) + Precipitación promedio: OK
Sequía extrema (menor escorrentía) + Temperatura promedio: **Julio** -> +60% drenaje ácido.
- Escenario objetivo para estabilización química ante eventos extremos.

(III) Erosión de minas rehabilitadas

- Proceso de rehabilitación: Implica la estabilización física del terreno, el paisajismo y la reconstrucción y establecimiento de un ecosistema estable.



- Lluvias extremas pueden erosionar áreas que han sido rehabilitadas.
- A largo-plazo, el cambio climático puede afectar el establecimiento de la vegetación y disminuir la eficacia de acciones para restaurar la biodiversidad.

Cierre de minas: Cambio climático en la evaluación y gestión del riesgo

- Planear el cierre de minas en el muy largo plazo implica una mayor posibilidad de observar eventos catastróficos extremos (e.g. inundaciones).
- ICMC (2019) – Integrated Mine Closure Good Practice
Modelo de riesgo de cierre de mina desarrollado por Laurence (2006).
- Para prevenir impactos ambientales relacionados con el cierre de minas:
 1. Identificar peligros emergentes.
 2. Analizar y evaluar los riesgos asociados con el proceso de cierre.
 3. Evaluar la probabilidad y consecuencias potenciales de los impactos.

1. Identificar peligros emergentes

- Consultas con un equipo multidisciplinario de expertos para asegurarse que todos los riesgos sean considerados.



Erosión



Generación de drenaje ácido



Gestión de relaves



Erosión de minas rehabilitadas

2. Analizar y evaluar los riesgos: Probabilidad

- Indicar la probabilidad de ocurrencia para cada uno de los peligros identificados.

Likelihood Rating of the Risk Occurring

Likelihood	
Almost Certain (5) >90%	Greater than 90% likelihood of occurring Has happened, will probably happen during the mine life and there is no reason to suspect it won't happen
Likely (4) 30%–90%	Likelihood of occurring is equal to or more than 30% and less than 90% This consequence is not uncommon in the mining and metals industry/area
Possible (3) 10%–30%	Likelihood of occurring is equal to or more than 10% and less than 30% There is a possibility of this risk occurring as it has occurred before (albeit infrequently) in the mining and metals industry/area
Unlikely (2) 3%–10%	Likelihood of occurring is more than or equal to 3% and less than 10% There are no specific circumstances to suggest this could happen
Improbable (1) <3%	Likelihood of occurring is less than 3% It would require a substantial change in circumstances to create an environment for this to occur, and even then, this is a rare occurrence

- ¿Cómo evaluar la probabilidad de riesgo climático? -> Incertidumbre profunda

2. Analizar y evaluar los riesgos: Consecuencias

- Evaluar las consecuencias en caso de que se materialice el riesgo señalado.

Ejemplo:

Consequence Rating					
Consequence Type	Insignificant (1)	Minor (2)	Moderate (3)	High (4)	Major (5)
Environment	Lasting days or less; affecting small area (metres); receiving environment altered with no sensitive habitats and no biodiversity value (eg urban/industrial areas)	Lasting weeks; affecting limited area (hundreds of metres); receiving environment altered with little natural habitat and low biodiversity value	Lasting months; affecting extended area (kilometres); receiving environment comprising largely natural habitat and moderate biodiversity value	Lasting years; affecting area on sub-basin scale; receiving environment classified as having sensitive natural habitat with high biodiversity value	Permanent impact; affecting area on a whole basin or regional scale; receiving environment classified as highly sensitive natural habitat with very high biodiversity value

- Riesgos evaluados considerando: Duración, Área afectada; Características naturales del ecosistema.
- Otras categorías que pueden verse afectadas por el cambio climático: Planeación financiera; Seguridad; Comunidades; Reputación. (ver ICMM, 2019)

3. Evaluar la probabilidad y consecuencias potenciales de los impactos

- Evaluar el nivel de riesgo utilizando una matriz de riesgo.

Risk-Level Matrix

Likelihood	Consequence Scale				
	Insignificant	Minor	Moderate	High	Major
Almost Certain >90%	11 (Medium)	16 (Significant)	20 (Significant)	23 (High)	25 (High)
Likely 30%–90%	7 (Medium)	12 (Medium)	17 (Significant)	21 (High)	24 (High)
Possible 10%–30%	4 (Low)	8 (Medium)	13 (Significant)	18 (Significant)	22 (High)
Unlikely 3%–10%	2 (Low)	5 (Low)	9 (Medium)	14 (Significant)	19 (Significant)
Improbable <3%	1 (Low)	3 (Low)	6 (Medium)	10 (Medium)	15 (Significant)

Evaluación de riesgo: Limitaciones

- Las respuestas se basan en la percepción de los participantes.
- Problemas políticos o conflictos de interés pueden impactar el proceso.
- El resultado representa opiniones y percepciones al momento de la evaluación.

Cambio climático y el cierre de minas: Ranger Mine, Australia

(Rissik and Iles, 2022)

- Evaluación del riesgo de cambio climático siguiendo metodología de ICMM (2019)
- Escenarios climáticos: RCP 4.5 (mid-range); RCP 8.5 (BAU)

- 37 riesgos identificados en 4 áreas:

- Actividades en sitio (administración y monitoreo)
- Revegetación
- Cantidad y calidad de agua
- Erosión y sedimento

- Requisitos ambientales para el cierre de mina:

- Proteger la salud de la población y el ecosistema.
- Minimizar erosión.
- Establecer vegetación similar a los alrededores de forma de establecer un ecosistema único con estabilidad de largo plazo.
- Asegurar que los relaves permanezcan encerrados sin causar daños por 10,000 años.



Ranger Mine, Australia

Evaluación de riesgo y vulnerabilidades

(Rissik and Iles, 2022)

- Horizonte temporal para la evaluación:
2030 (termina fase de cierre); 2050; 2100 (disponibilidad de escenarios climáticos)
- Resumen de riesgos potenciales considerando variables de estrés climático relevantes

Climate stressor	Revegetation and terrestrial ecology (and onsite activities)	Onsite and receiving water quantity, quality and aquatic ecology	Erosion and sediment
Increased heat	Workforce heat exposure. Species tolerance, survival and growth rates. Weeds and pest. Soil biota and nutrient cycling.	Increased contaminant mobility and toxicity (toxicity-based guideline values set for 30°C). Increased evaporation (see lower water levels below). Decreased dissolved oxygen, increased algal blooms. Shift to heat tolerant species. Change to reptile sex ratio.	Loss of protective vegetation cover.
Sea level rise and salinity	N/A	Loss of downstream freshwater refugia. Shift to saline tolerant species. Change to ionic strength (toxicity guideline values set for low ionic conditions). Reduced gradient alters hydraulic head (implications for solute transport modelling).	Wave action causing erosion (if reaching mine site).

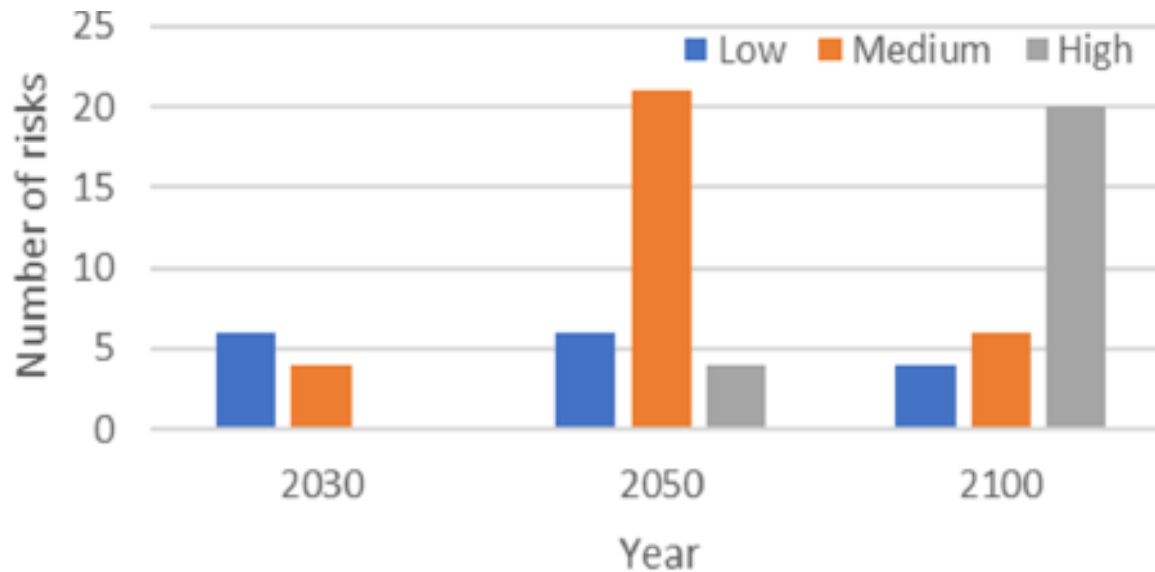
Evaluación de riesgo y vulnerabilidades

(Rissik and Iles, 2022)

Climate stressor	Revegetation and terrestrial ecology (and onsite activities)	Onsite and receiving water quantity, quality and aquatic ecology	Erosion and sediment
Rainfall and drought	Suitable planting conditions (schedule and worker health and safety). Plant survival. Irrigation requirements.	Lower water levels – loss of dilution, connectivity and dry season refugia sites, exposure of acid sulphate soils.	Erosion during extreme rainfall (landform design tested by modelling).
Cyclone and storms	Vegetation damage. Increase leaf litter (fire load).	Riparian damage.	Road damage. Loss of protective vegetation cover.
Bushfire	Changing fuel loads and vegetation community. Flora mortality (and implications for fauna). Susceptibility of revegetation community versus analogue community. Reduced length of season suitable for planned burns.	Riparian damage.	Loss of protective vegetation cover.

3. Evaluar la probabilidad y consecuencias potenciales de los impactos (Rissik and Iles, 2022)

- Número de riesgos de acuerdo a su nivel de impacto y horizonte temporal:



- La mayoría de los impactos a 2100 son riesgos que afectarán al ecosistema local en su conjunto. El Plan de Revegetación resultará en un ecosistema similar al natural con el mismo nivel de vulnerabilidad a largo plazo.

Retos: Incorporación de cambio climático en el cierre de minas

- La incertidumbre profunda y la complejidad del cambio climático representan retos para la evaluación del riesgo.
- Estimaciones confiables de temperatura de largo plazo.
- Gran incertidumbre en cambios locales de precipitación
- Poca disponibilidad de escenarios con información relevante como evaporación y evapotranspiración (depende en parte de temperatura y precipitación).
- Temperatura atmosférica vs temperatura del suelo -> tasa de oxidación.
- Resultados actuales no consideran cambios potenciales en la distribución intraanual de eventos extremos.
- Los impactos potenciales del cambio climático son específicos para cada mina.

Recomendaciones (I):

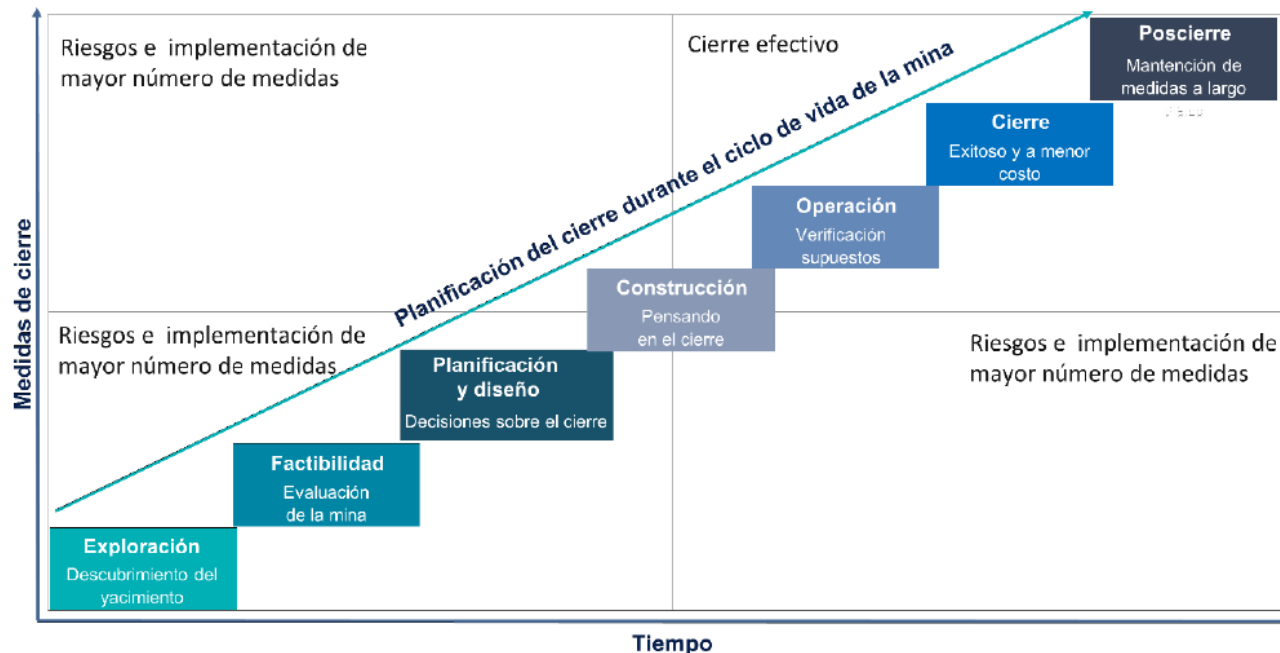
- Es fundamental que los gobiernos regulen la infraestructura y el cierre de minas para asegurarse que el diseño de minas sea apropiado considerando los efectos del cambio climático en el largo plazo.
- Incorporar impactos del cambio climático en la vegetación como parte de la estrategia de cierre de minas.
- Elaborar un presupuesto para el cierre de mina que considere una escala de tiempo de muy largo plazo y que incorpore los costos asociados a los riesgos potenciales del cambio climático.

Recomendaciones (II):

- Ciclo de vida y cierre progresivo de la mina:

El cierre se debe planear con anticipación, desde el inicio de la actividad minera
 -> Considerando efectos potenciales del CC desde etapa inicial.

Revisión y actualización frecuente del plan de cierre considerando monitoreo y cambios en condiciones climáticas.



Fuente: CEPAL (2020)

Cierre de Minas: Cambio Climático en la Evaluación y Gestión del Riesgo

¡ Gracias !

Allan Beltran
University of Birmingham
Department of Economics
a.i.beltranhernandez@bham.ac.uk