



COMISIÓN CALIFICADORA DE COMPETENCIAS  
EN RECURSOS Y RESERVAS MINERAS



# **Importancia de la variabilidad geometalúrgica en la determinación de reservas mineras**

Presentación para la Comisión Minera de Chile, 6 de abril del 2022

Romke Kuyvenhoven – MDE Minerals Consulting

# Contenido y énfasis de la presentación



1. Introducción
2. Que se entiende por variabilidad geometalúrgica
3. Que dice la norma NI43-101 sobre la variabilidad geometalúrgica
4. La relación entre la variabilidad geometalúrgica y la determinación de Reservas Mineras

 Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas Mineras		<b>TALLER ONLINE</b> <b>REPORTABILIDAD DE PROCESOS METALURGICOS</b> 6 de abril de 2022	
HORA	ACTIVIDAD		
08:50 – 09:00	<b>Contacto y Coordinación del Taller</b> Gladys Hernández, Secretaria Ejecutiva Comisión Minera		
09:00 – 09:10	<b>Palabras de Bienvenida</b> Aquiles González, Presidente Comisión Minera		
09:10 – 09:50	<b>Impacto de los procesos metalúrgicos en la estimación de reservas</b> Juan Pablo González, Consultor Principal en Minería, Geomine Associates SpA		
09:50 – 10:30	<b>Revisión de los procesos metalúrgicos en los Reportes Técnicos NI-43-101</b> Sergio Lagos, Líder Ingeniero de Procesos y Nicolás Lorca, Ing. de Procesos, Ausenco		
10:30 – 11:10	<b>Importancia de la variabilidad geo metalúrgica en la determinación de reservas mineras</b> Romke Kuyvenhoven, Consultor Senior, MDE Minerals Consulting		
11:10 – 11:20	<b>RECESO</b>		
11:20 – 12:00	<b>Evaluación de la disposición de relaves en la estimación de reservas</b> Álvaro Huerta, Jefe de Área Servicios Mecánica de Suelos y Relaves, SRK		
12:00 – 12:40	<b>Procesos metalúrgicos en la estimación de reservas de minerales de hierro</b> Luis Bernal, Consultor Senior de Procesos, Process Minerals Consulting		
12:40 – 13:00	<b>Comentarios y Conclusiones</b>		



# Sección 1

## Introducción

## AT THE PEAK

From initial private offerings at 30 cents a share, Bre-X stock climbed to more than \$250 on the open market. Near the peak of Bre-X share prices, major banks and media were on board.



Egizio Bianchini, stock broker and one of Canada's top gold analysts, said "What most people are now realizing is that Bre-X has made one of the great gold discoveries of our generation."



J.P. Morgan bankers talked up Busang in a conference call in which Bre-X's top geologist predicted the deposit might contain a staggering 200 million oz of gold, worth over \$240 billion in 2014 prices. Morgan declined to comment.



Major mining companies such as Barrick Gold, Placer Dome, and Freeport-McMoRan Copper & Gold, among other top producers, fought an epic battle to get a piece of Bre-X's Busang deposit.



Fidelity Investments, Invesco Funds Group, and other mutual-fund companies piled into the stock.



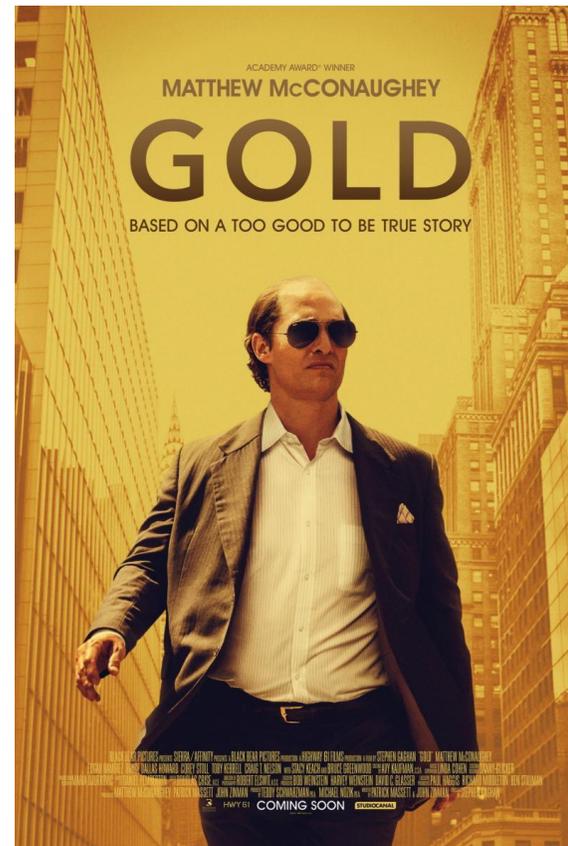
Indonesia's Suharto regime managed to grab 40% of the deposit for Indonesian interests.

In December 1996, Lehman Brothers Inc. strongly recommended a buy on "the gold discovery of the century."

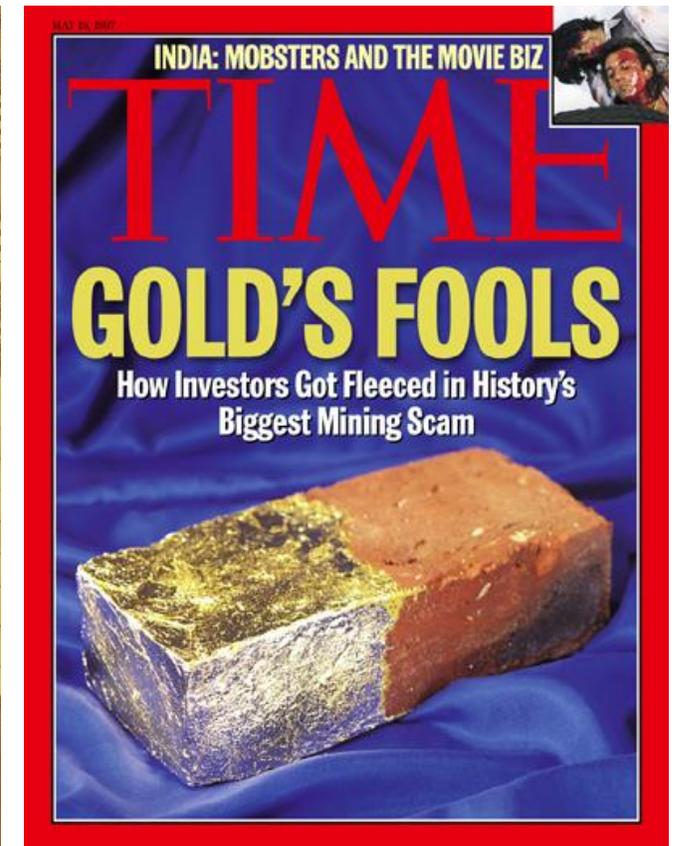
\$ 288



# El caso BRE-X (1997): el origen del NI43-101



Fuente: Film Affinity



Fuente: Time Magazine

Fuente: [www.valuewalk.com/bre-x-scandal/](http://www.valuewalk.com/bre-x-scandal/)

# Norma NI43-101



- La norma 43-101 es un instrumento canadiense que regula la publicación de información técnica de empresas mineras que transan en la bolsa de valores en Canadá.
- El objetivo de la norma NI43-101 es finalmente **financiero**
  - Establece entre otras cosas, el rol de la *Persona Competente*, quien – al firmar un informe técnico o una sección de éste – asume la responsabilidad legal por la veracidad de la información publicada, ya que esta información influye directamente en el valor bursátil de la minera
- La definición de reservas mineras es una definición **financiera**
  - Las Reservas Mineras corresponden a los Recursos Medidos y/o Indicados, que pueden ser explotados *de forma económica*
- Cualquier parámetro del proceso metalurgico, que puede cambiar el OPEX y/o el CAPEX del proyecto, tiene potencial de cambiar la utilidad, y podría impactar en la definición de las Reservas Mineras, y entonces es regulado implícitamente por la norma NI43-101.

# Definición *simplificada* de Recursos y Reservas



La clasificación de los recursos minerales es la clasificación de los depósitos minerales basado en su **certeza geológica** y **valor económico**

## Recursos Mineros

- Ocurrencias de mineral o prospectos **de interés geológico, pero no necesariamente de interés económico**. Sí deben tener una razonable posibilidad de poder ser explotados económicamente.

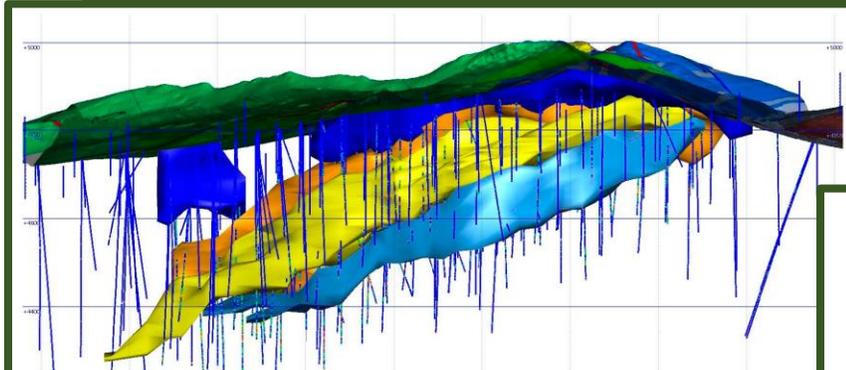
## Reservas Mineras

- Es la parte **económicamente explotable o extraíble** de un Recurso Mineral Indicado y en algunas circunstancias Recurso Mineral Medido, cuya factibilidad de explotación ha sido establecida con un moderado nivel de confianza.

# Interacción geología - mina - planta



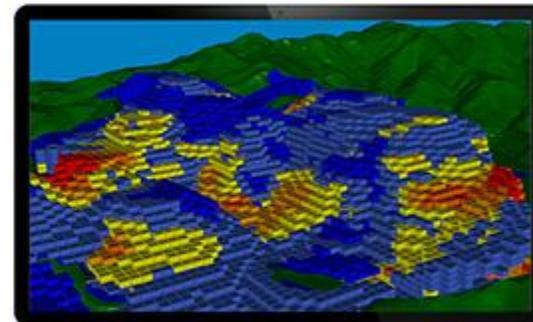
6. Los bloques que restan y no suman al VAN quedan fuera de las reservas



Geometalurgy—A Route to More Resilient Mine Operations (Dominy, O'Connor, Parbhakar-Fox, Glass, Purevgerel)

1. Definición de recursos mineros en función del modelo geológico

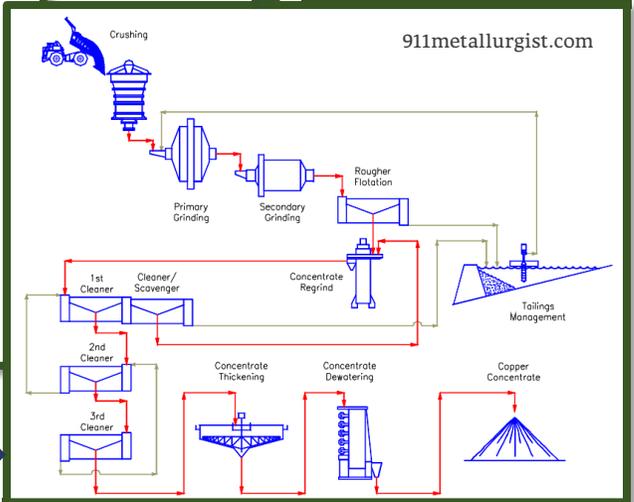
5. El plan minero busca maximizar VAN en base al costo y beneficio de minado y procesamiento de cada bloque



Hexagon Mining

2. Plan minero convierte recursos en reservas y define la capacidad nominal de la planta

4. El mineral y el diseño planta definen el costo planta para el plan minero



3. El diseño planta se basa comúnmente en los distintos UGM identificados

# Plan minero e input planta

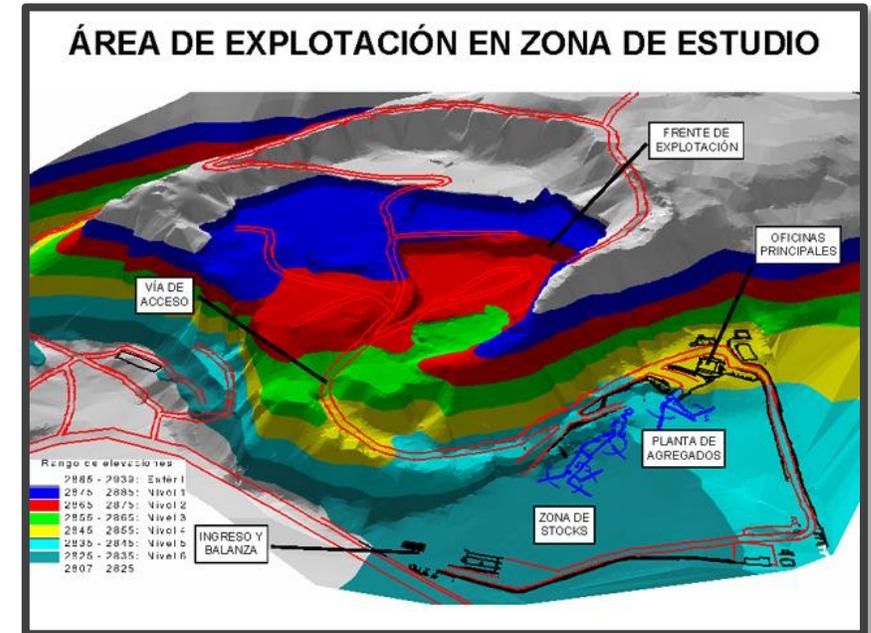


- Las Reservas Mineras corresponden a los Recursos que pueden ser explotados de forma económica (*Beneficio > Costo*)
- El plan minero optimiza la secuencia minera para que los bloques con mayor valor sean explotados primeros con tal de maximizar el VAN del proyecto

$$\text{Valor} = \text{Beneficio} - \text{Costo}$$

$$\text{Beneficio} = \text{tonelaje} \times \text{recuperación Cu} \times \text{valor Cu}$$

$$\text{Costo} = \text{costo mina} + \text{costo planta} + \text{costo comercialización}$$



Monografias.com



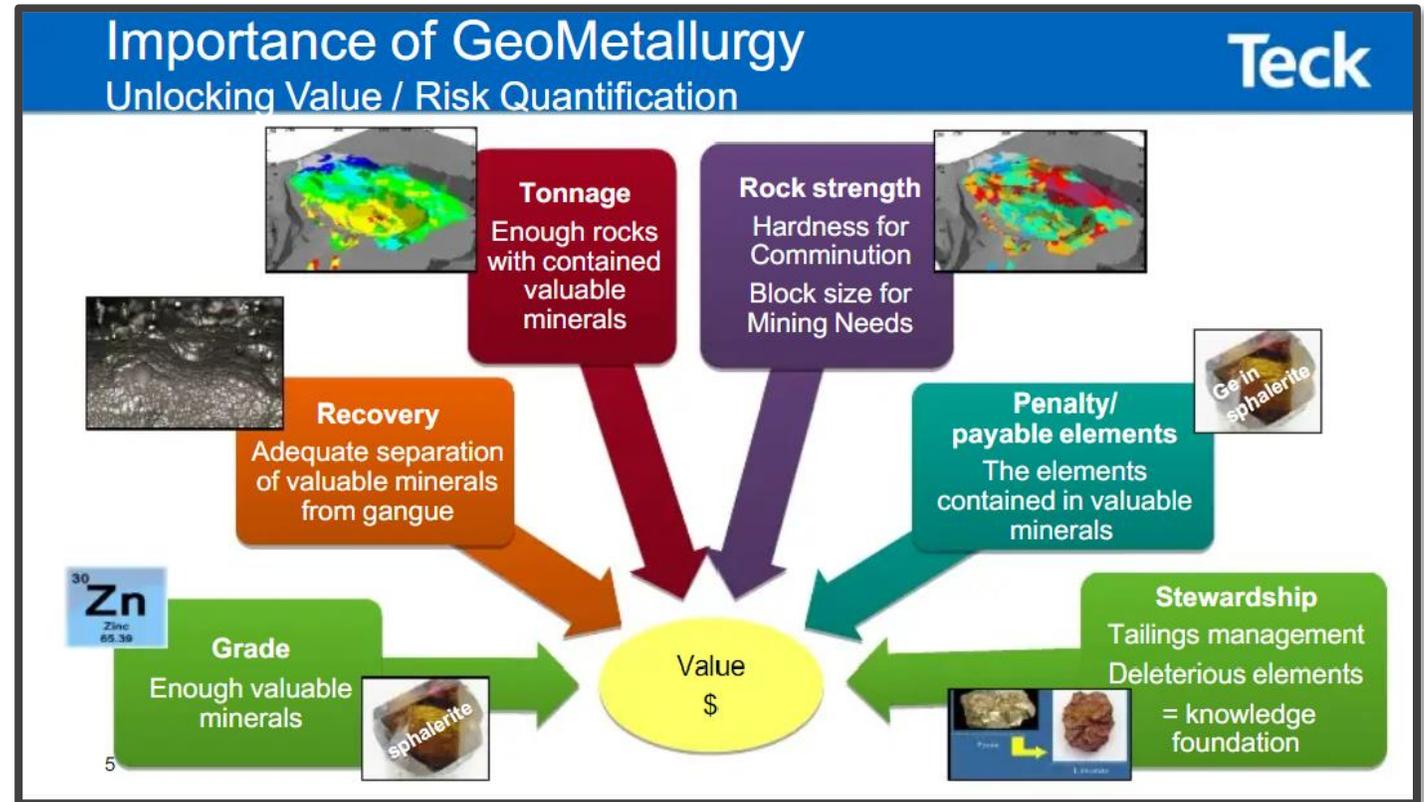
## Sección 2

El impacto de la variabilidad geometalúrgica

# Los parámetros principales



1. Ley de mineral
2. Recuperación de elementos valiosos
3. Tonelaje (tph)
4. Dureza
5. Penalties y créditos
6. Gestión de relaves



# El valor que puede generar la geomet



## 1. Diseño de una planta de flotación de Mo

- Tamaño de grano
- Presencia de minerales de ganga hidrofóbicos

## 2. Freeport planta 96 ktpd

- Variabilidad de dureza hace mas atractivo la opción HPGR vs SAG a pesar de que los valores de dureza de los compositos favorecían la opción SAG

## 3. Pórfido de Cu con Mo/Ag

- Limite de precisión en análisis Ag por método empleado
- Cambio de método demostró aumento de recuperación de Ag (15 millones oz life-of-mine)

Caso	Descripción	Costo	Valor Generado
1	Geometalúrgia de filosilicatos en concentrados colectivos	\$1 millón	\$100 millones (CAPEX de una planta de moly, o 1 año de producción)
2	Geometalúrgia de dureza en estudios comparativos HPGR	\$0.5 millón	\$50 a 80 millones (VAN)
3	Ensayos de plata de alta precisión	\$5K	\$150 millones (VAN)
	<b>Promedio</b>	<b>~\$0.5M</b>	<b>~\$105 Millones</b>

Fuente: El costo y el valor de programas geometalúrgicos, **Peter Amelunxen**

[www.mdmineralsconsulting.com](http://www.mdmineralsconsulting.com)

# Ejemplos de “Red flags” o banderas rojas



## Mirando solo el circuito de flotación & relaves

- Contenido de arsénico en un concentrado de cobre
  - Define el **penalty que recibe la minera por comercializar un concentrado que** sobrepasa el límite máximo
  - En caso extremo, **puede generar un concentrado que no se comercializable**
- Contenido de arcilla en los relaves que limitan recuperación de agua
  - Afecta directamente el **agua disponible para procesar mineral fresco** y por ende, el TPH de la planta
- Variaciones en cantidad de concentrado o mineral en el ducto
  - Ej: Un concentraducto tiene una muy limitada capacidad de manejar cambios en densidad de concentrado, % de sólidos y reológicos de pulpa
  - El mal manejo de la variabilidad en el ducto puede llevar a contingencias operacionales mayores (parada planta) o **riesgos ambientales** tales como rotura del concentraducto, o necesidad de “llenar” el ducto con agua.

Impacta directamente la utilidad al bajar los ingresos de la minera

Impacta directamente la producción y por ende la venta de finos de cobre

Impacta directamente el costo operacional, la disponibilidad de concentrado final e implica riesgos ambientales

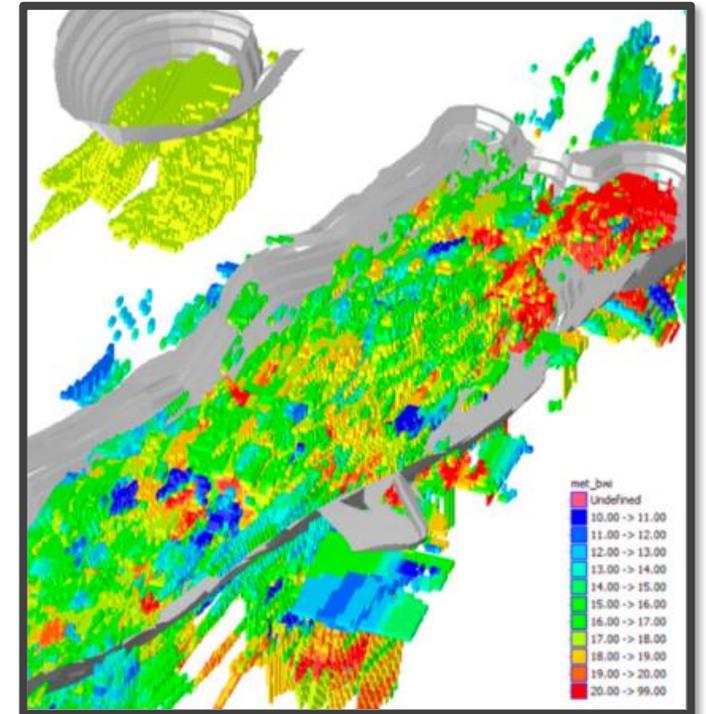
# Geomet en la planta de molienda



## La mirada del geometalurgista:

¿Qué pasa si...se logra conocer en etapa temprana del proyecto u operación, la alta variabilidad en dureza?

- Se considera un diseño planta de conminución apto para minerales altamente variables en CEE (kWh/t)
- Se puede hacer ajustes a tiempo para minimizar eventuales debilidades en el diseño planta
- Se da mayor robustez al plan de producción y la operación dará mayor cumplimiento de este plan



Fuente: Geometallurgy—A Route to More Resilient Mine Operations (Dominy, O'Connor, Parbhakar-Fox, Glass, Purevgerel)

# Geomet en la planta de molienda



Gerente:

¿Qué pasa si...se logra conocer en etapa temprana del proyecto u operación, la alta variabilidad en dureza?

- Se considera un diseño planta de conminución apto para minerales altamente variables en CEE (kWh/t)
- Se puede hacer ajustes a tiempo para minimizar eventuales debilidades en el diseño planta
- Se da mayor robustez al plan de producción y la operación dará mayor cumplimiento de este plan

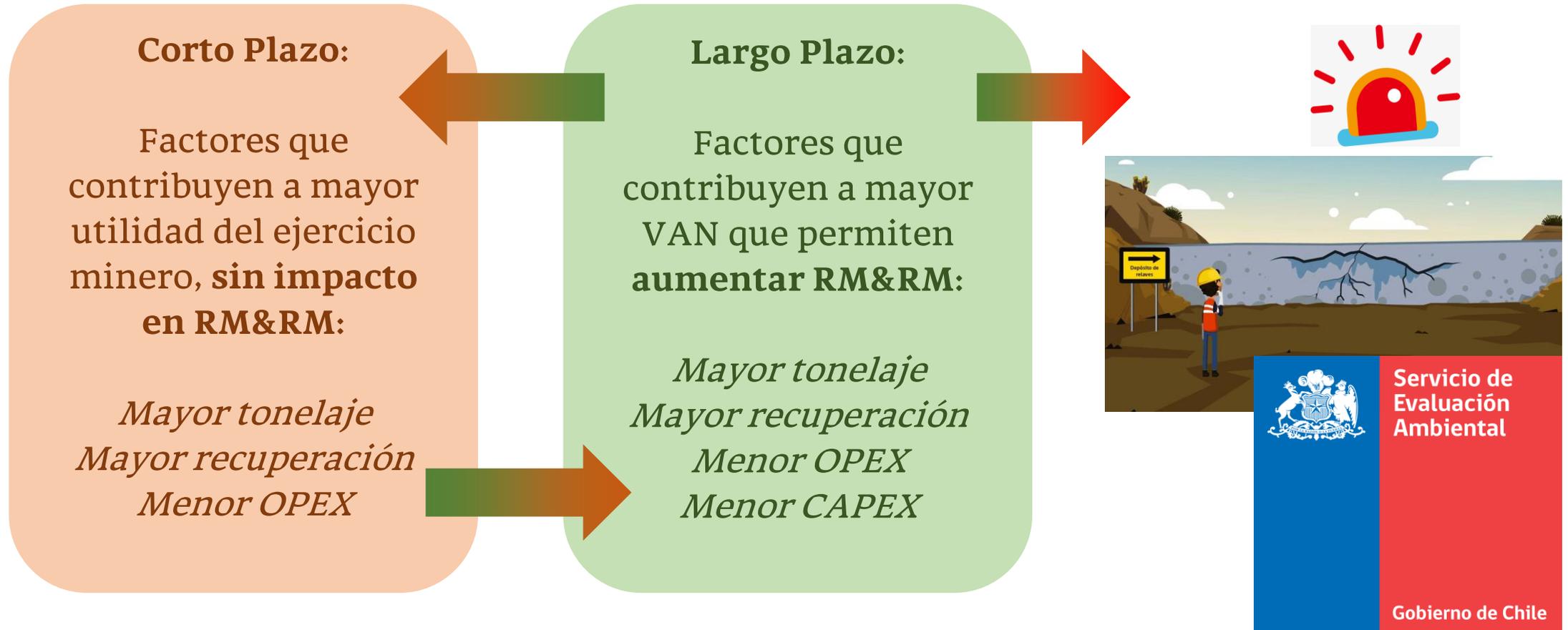
¿Cuanto cuesta?

¿Funciona de verdad?

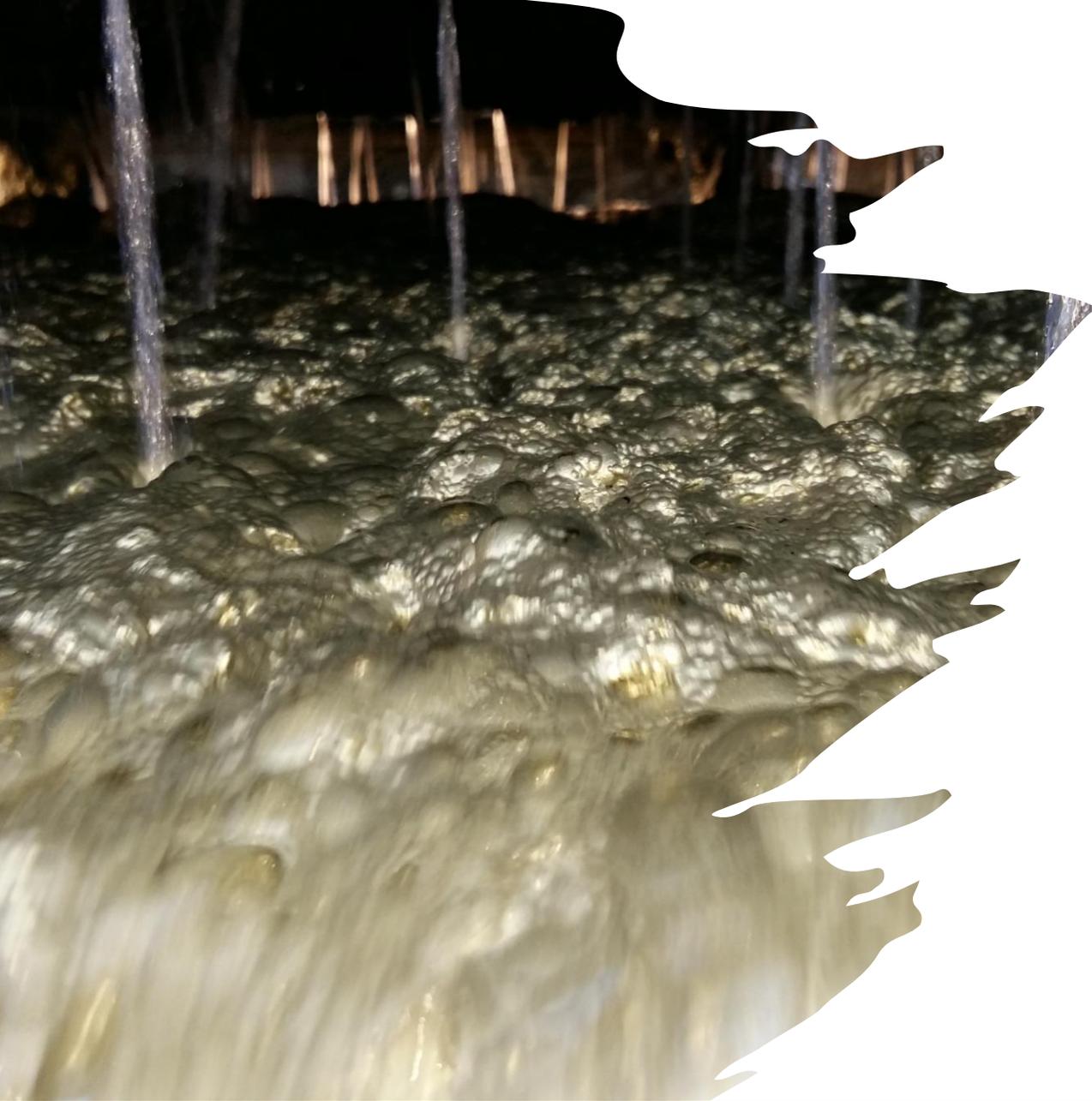
¿Qué pasa si no hacemos esto?

¿Tengo un mejor destino para los recursos que se necesitan?

# Corto Plazo vs. Largo plazo



Fuente: Elaboración propia RK

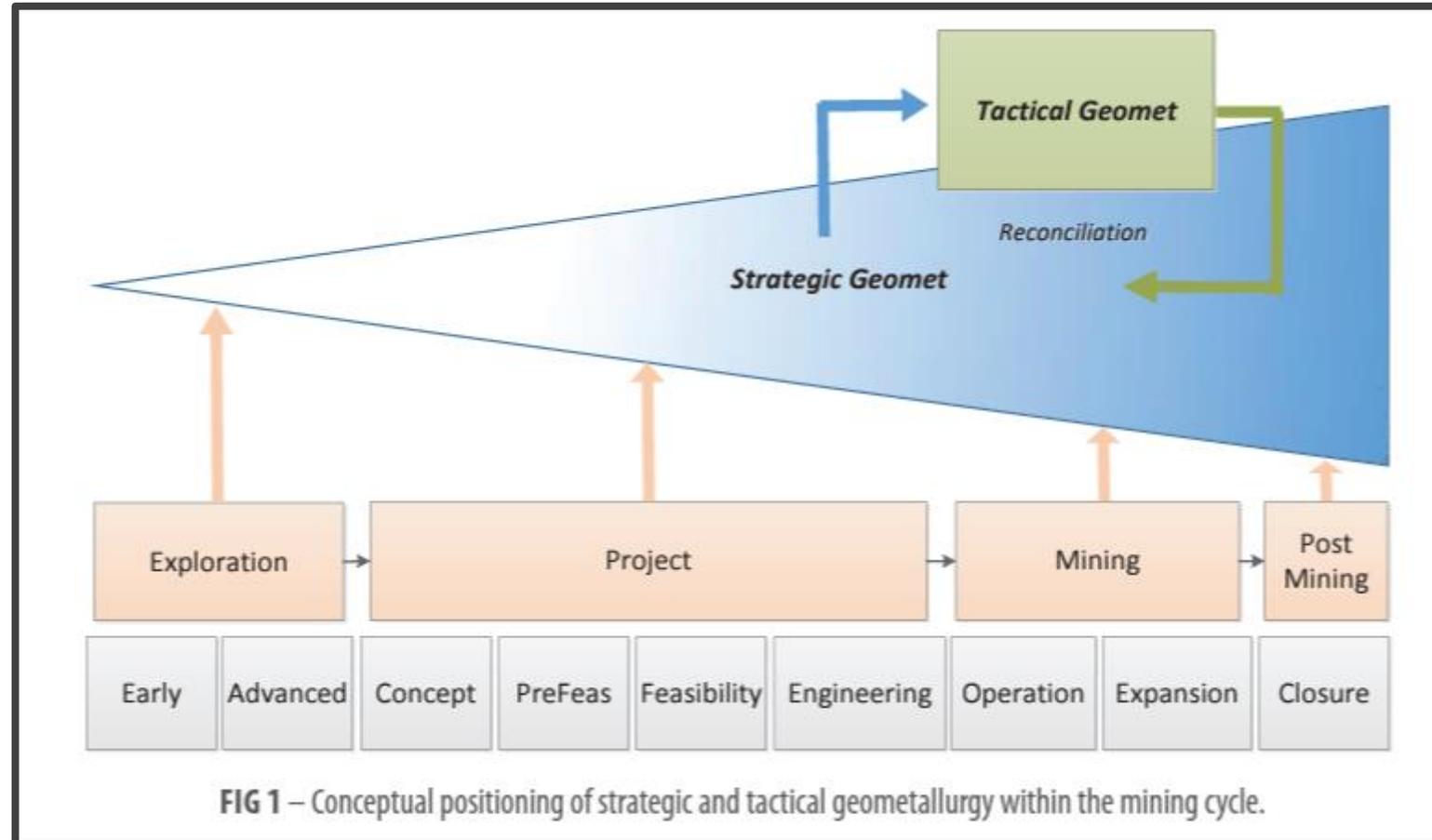
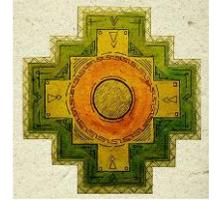


# Otro ejemplo: planta de flotación



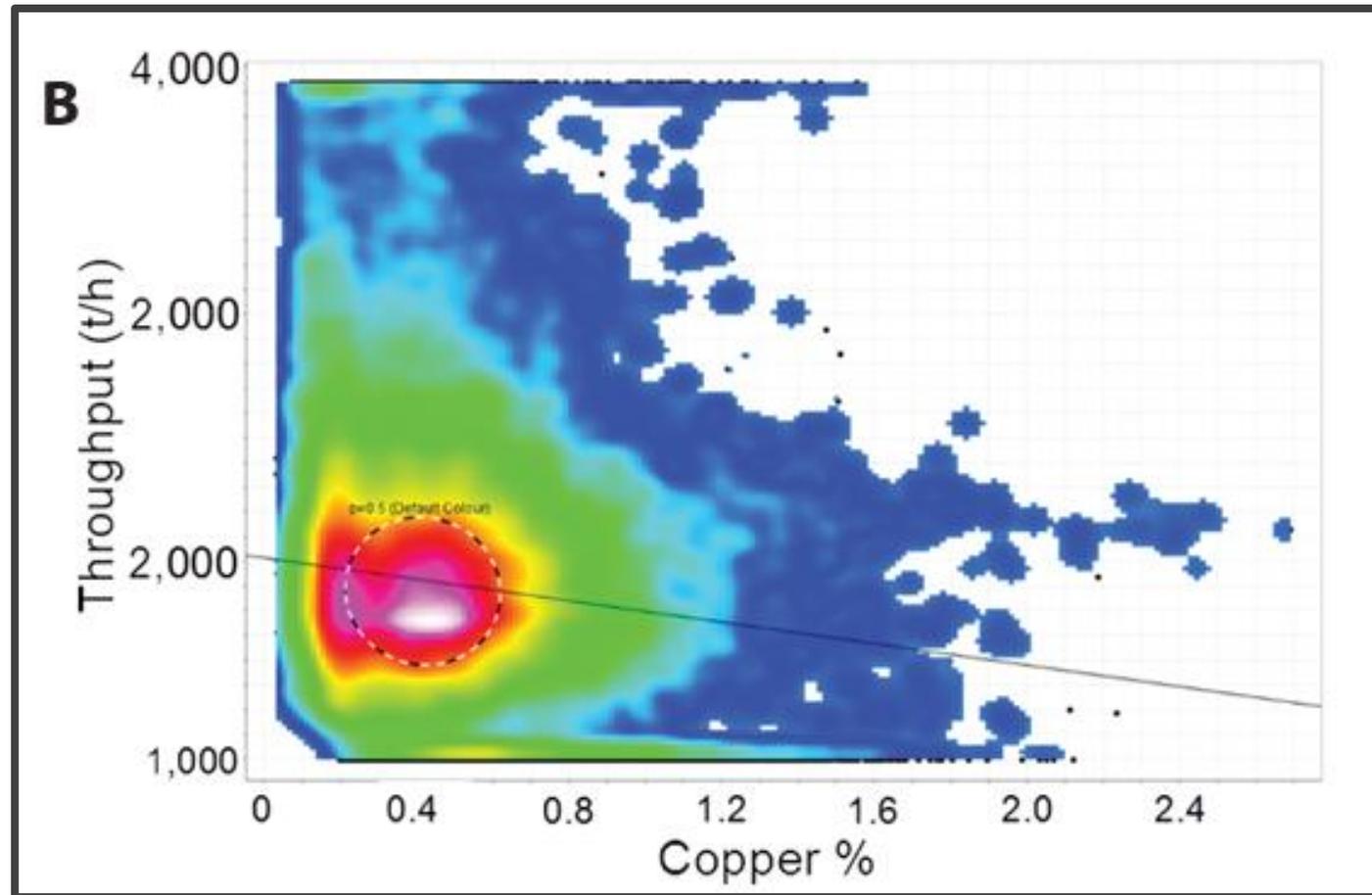
1. Se logra mayor recuperación de Cu al usar un reactivo novedoso. **¿Cual es el costo de lograrlo?**
2. Se produce mayor cantidad de Cu fino. **¿Cuanto mas?**
3. ¿El beneficio generado paga el costo asociado? **SI/NO**
4. ¿Aumento del valor por bloque permite procesar sectores de mas baja ley? **SI/NO** ¿El CEE (kWh/t) de los sectores de mas baja ley es igual, mayor o menor?
5. ¿Es significativo el volumen de los sectores nuevos que podrán ser procesados? **SI/NO**

# Geometalúrgia Estratégica vs Tática



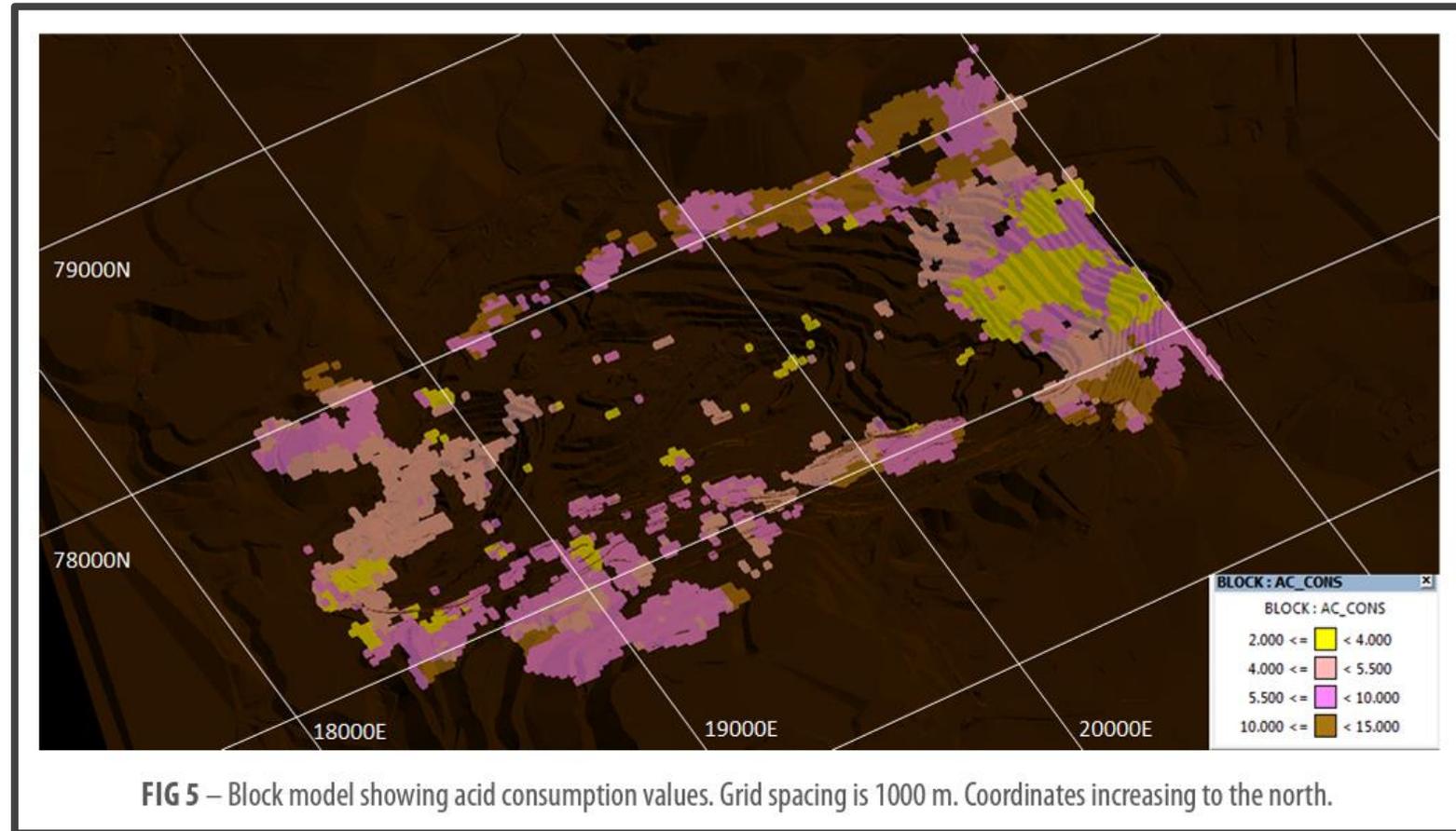
Fuente: Strategic and Tactical Geometallurgy at **Anglo American** – a Systematic Process to Add and Sustain Resource Value (McKay, Vann, Ware, Morley, Hodkiewicz)

# Ej. TPH en función de ley de Cu(%)



Fuente: The Business Case for Early-stage Implementation of Geometallurgy – an Example from the **Productora** Cu-Mo-Au Deposit, Chile (King and Macdonald)

# Ej. Consumo de acido en modelo de bloques



Fuente: Adding Copper Recovery and Acid Consumption Variables to the Geological Model of **Quebrada Blanca** (Chait and Schiller)



## Sección 3

Que dice la norma NI43-101 sobre la variabilidad  
geometalúrgica

# Información CIM Canadá sobre NI43-101



WhatsApp x CIM - The Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum x +

← → ↻ 🏠 cim.org/# 🔍 12

**CIM** Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum FR [Log in](#) [JOIN](#)

About Us **Membership** **Library** Events Communities Professional Development 🔍

**CIM MAGAZINE**  
COMPASS MINERALS  
Junior Financing  
Market upswing: 2022 looks bright for juniors that can capture the attention of both new investors and traditional players

**Technical Resources**

- Bookstore
- Canadian Metallurgical Quarterly
- CIM Academy
- CIM Journal
- CIM Technical Paper Library
- Conference Proceedings
- OneMine
- Reproduction Permission Request

**Industry Resources**

- Mining Industry Human Resources Council (MiHR)
- Global Action on Tailings
- Global Mining Guidelines Group
- Canada Mining Innovation Council
- Rare Earth Elements & Chromite

**MRMR**

STANDARDS, BEST PRACTICES & GUIDANCE FOR MINERAL RESOURCES AND MINERAL RESERVES

Standards

Best Practices

Guidance

Valuation

CRIRSCO

https://www.cim.org/#

Escribe aquí para buscar.

25°C Soleado 18:26 02/04/2022

# Norma NI 43-101 y Estándar MR&MR CIM



## Chapter 5

### Rules and Policies

---

5.1.1 NI 43-101 Standards of Disclosure for Mineral Projects, Form 43-101F1 Technical Report and Related Consequential Amendments

NATIONAL INSTRUMENT 43-101  
*STANDARDS OF DISCLOSURE FOR MINERAL PROJECTS*

## CIM Definition Standards for Mineral Resources & Mineral Reserves

---

Prepared by the  
CIM Standing Committee on Reserve Definitions

Adopted by CIM Council May 19, 2014

# Información CIM Canadá sobre NI43-101



## CIM Estimation of Mineral Resources & Mineral Reserves Best Practice Guidelines

---

Prepared by the  
CIM Mineral Resource & Mineral Reserve Committee

Adopted by CIM Council November 29, 2019

## 5.3. Geological Interpretation and Modelling

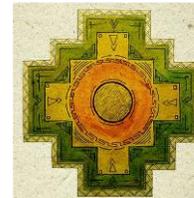


**Las características geometalúrgicas**, el grado de alteración superficial, y otras alteraciones secundarias asociadas a la mineralización, **comúnmente tienen implicancias importantes** para todo el Proyecto (minero) **desde la recuperación en la perforación hasta las características metalúrgicas de las zonas mineralizadas**. Como consecuencia, los profesionales **deben desarrollar un entendimiento de cómo el tipo y la intensidad de la alteración u otras características físicas o químicas, impacta potencialmente a las demás disciplinas mineras.**

## 7.8 Mineral Processing



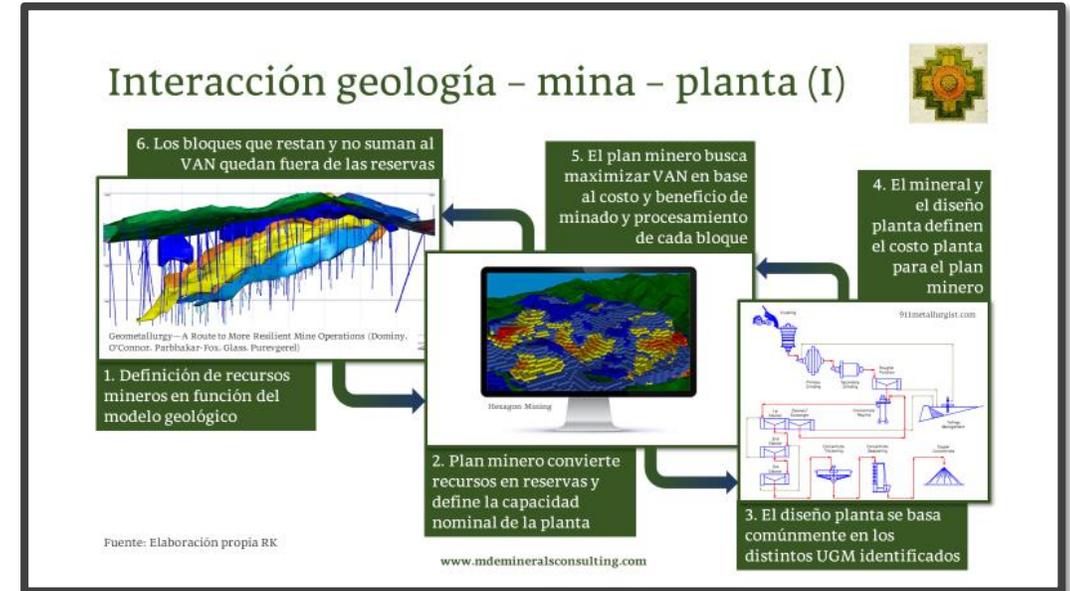
...proyectos en etapa de desarrollo **deben incluir trabajo experimental con muestra de mineral y muestras de estéril** para representar el material que razonablemente entrará a la planta de procesamiento. El objetivo del trabajo experimental es determinar la selección de proceso óptimo, **la naturaleza de variabilidad dentro del depósito**, la recuperación de metales o minerales... la dureza..., y los consumos requeridos de reactivos..., el manejo o el tratamiento de elementos nocivos... Una vez que se ha desarrollado un diagrama de flujo adecuado, **es importante determinar la respuesta de las muestras de variabilidad cubriendo un rango de leyes de alimentación... dominios del deposito, tipos litológicos, grado de alteración...**



## Sección 4

La relación entre la variabilidad geometalúrgica y la determinación de reservas

# Variabilidad Geometalúrgica y Reservas Mineras



Mayor recuperación de cobre; mayor recuperación de elementos valiosos (Au, Ag)

Mayor tonelaje y menor parada planta; mejor control sobre elementos nocivos;

Mayor beneficio (B↑)

...o menor costo (C↓)

Mayor valor por bloque (V↑)

Permite explotar bloques de mas baja ley de cobre

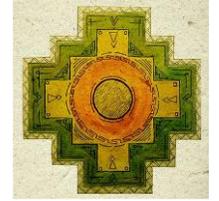
Aumentan los recursos que se convierten en reservas

# Unas palabras finales



- La clasificación Reservas Mineras es una **definición económica**
- Para que la geometalurgia impacte las reservas mineras, debe haber un **impacto económico demostrable**
- En el **corto plazo**, la geometalurgia tiene potencial de **mejorar el resultado financiero** de la operación minera, pero no la determinación de las reservas
- El valor mayor e intrínseco de la geometalurgia, mas allá de un eventual aumento en las Reservas Mineras, esta en la **mejor confiabilidad** del diseño planta y una **reducción de incertidumbre** asociado al plan de producción.

# Agradecimientos



- Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas Mineras, y en especial los participantes en el taller
- Varios de mis colegas y amigos por su apoyo técnico, en especial:
  - Steve Williams y Nicki McKay, de Blue Coast Canada; Alex Doll, Alex G. Doll Consulting; Peter Amelunxen, AMINPRO

- 2007 CMP Ore Characterisation of the Aqqaluk Deposit at...
- 2011 CIM Best Practice Guidelines for Mineral Processing
- 2011 NI\_43 101 Standards for Disclosure of Mineral Proje...
- 2014 CIM Definition Standards for Mineral Resources and...
- 2016 Adding Cu Recovery and Acid Consumption to the ...
- 2016 Business Case for Early Stage Implementation of Ge...
- 2016 Embedding Geometallurgy into Mine Planning Pract...
- 2016 Strategic and Tactical Geomet at Anglo American
- 2018 Geometallurgy—A Route to More Resilient Mine Op...
- 2019 CIM Estimation of Mineral Resources and Mineral R...
- 2019 Re-thinking complex orebodies\_ Consequences for t...
- 2021 The mechanisms of decision-making when applying...