

Optimización y Simulación como Herramientas de Planificación Bajo Incertidumbre

Preparado por: Gonzalo Nelis S.



fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



DELPHOS
Laboratorio de Planificación Minera

amtc
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

Agenda

- Introducción
- Tipos de Incertidumbre
- Optimización y Simulación
- Técnicas de Optimización
 - Minimización de Desviaciones
 - Planificación Aversa al Riesgo
 - Programación Estocástica
- Simulaciones
 - Aplicaciones
 - Dsim
- Conclusiones



Introducción



Incertidumbres

Geológica

- Ley de mineral
- Contenido de contaminantes
- Tipo de roca/mineralurgia

Operacional

- Rendimientos de equipos
 - Fallas/Eventos
 - Interferencias

Mercado

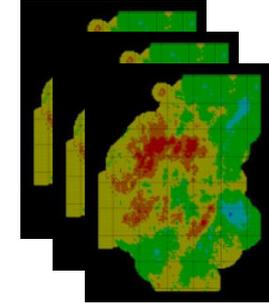
- Precio de commodities
 - Costo de insumos
 - Tasas de cambio



Incertidumbres

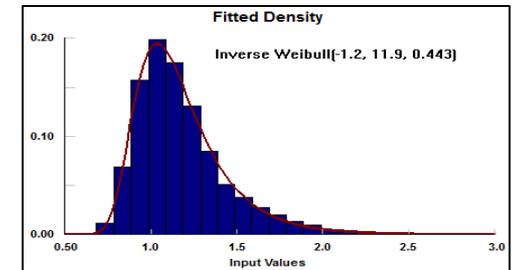
Geológica

- Simulación Geoestadística



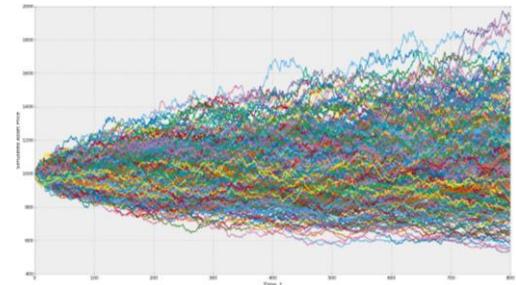
Operacional

- Distribuciones de probabilidad
- Modelo de Indisponibilidad



Mercado

- Curvas de precio/costos
- Tasas de cambio



Optimización y Simulación

- **Optimización** → Busca **la mejor solución** para alcanzar un **objetivo** sujeto a ciertas **restricciones**.

¿Qué es lo mejor que puedo hacer?

- **Simulación** → Muestra **la respuesta** de un **sistema** bajo ciertas **condiciones**.

¿Qué pasa sí?



fcfm

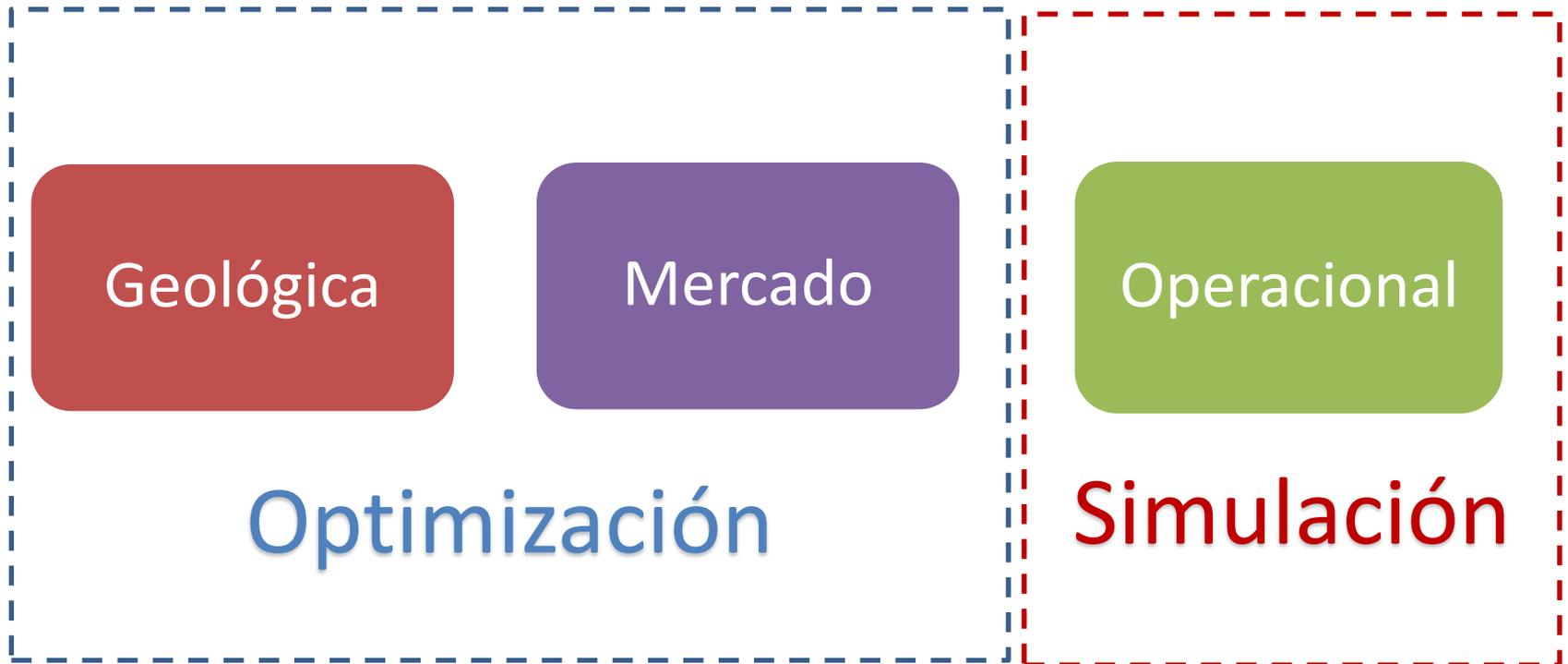
Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



DELPHOS
Laboratorio de Planificación Minera

amtc
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

Optimización o Simulación



Optimización en Planificación Minera

- Técnicas de Optimización:
 - Minimización de desviaciones
 - Aversa al Riesgo
 - Programación Estocástica



fcfm

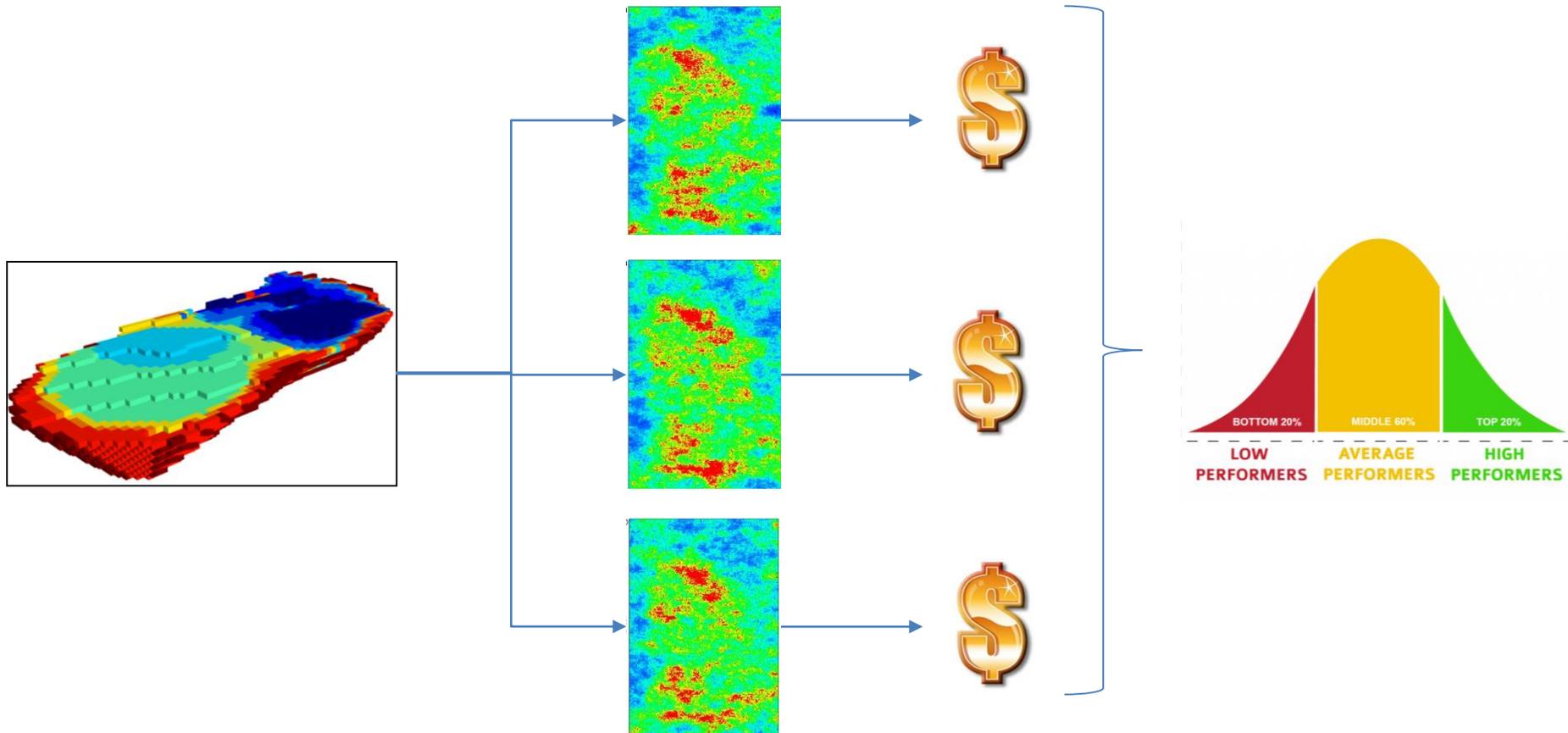
Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



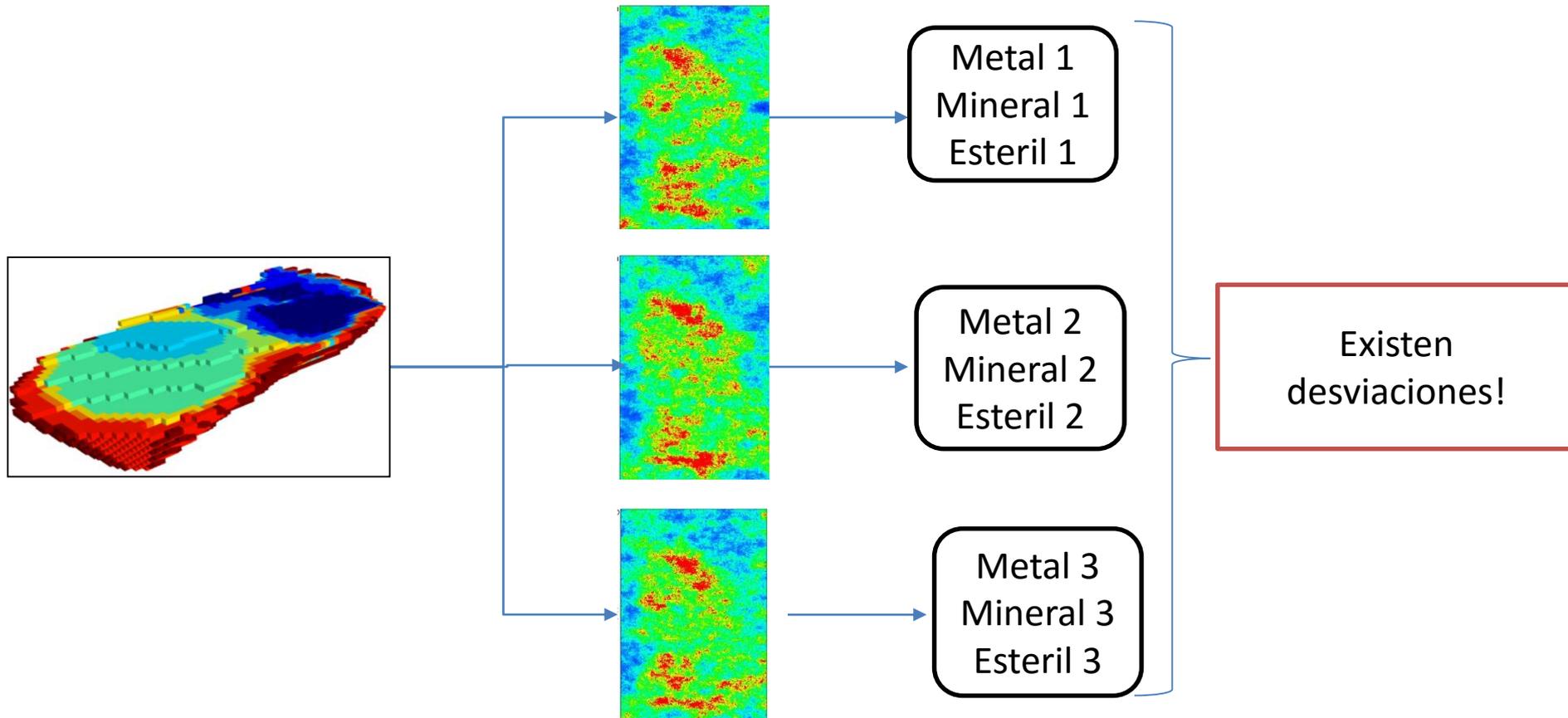
DELPHOS
Laboratorio de Planificación Minera

amtc
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

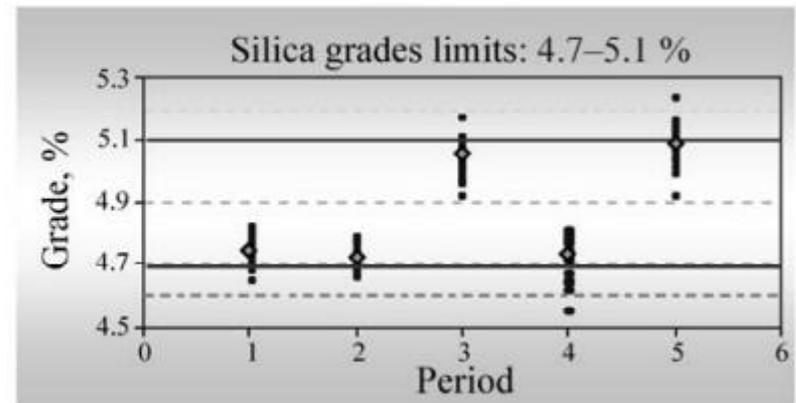
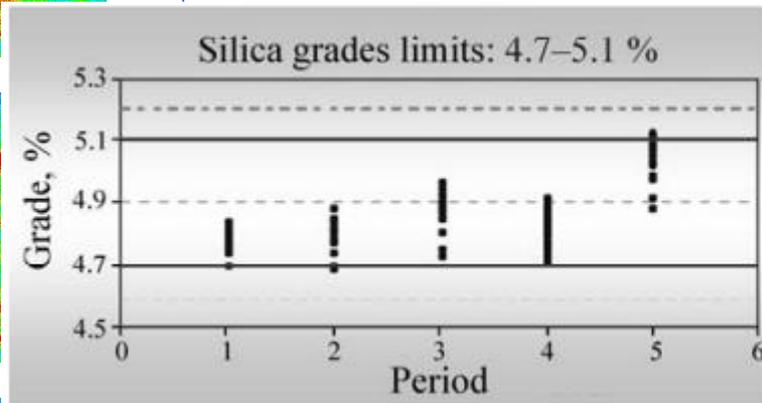
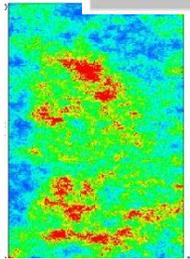
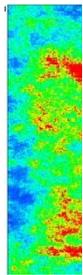
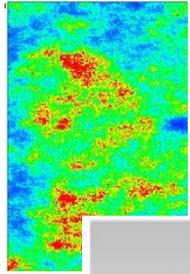
Análisis de Riesgo



Minimización de desviaciones



Minimización de Desviaciones

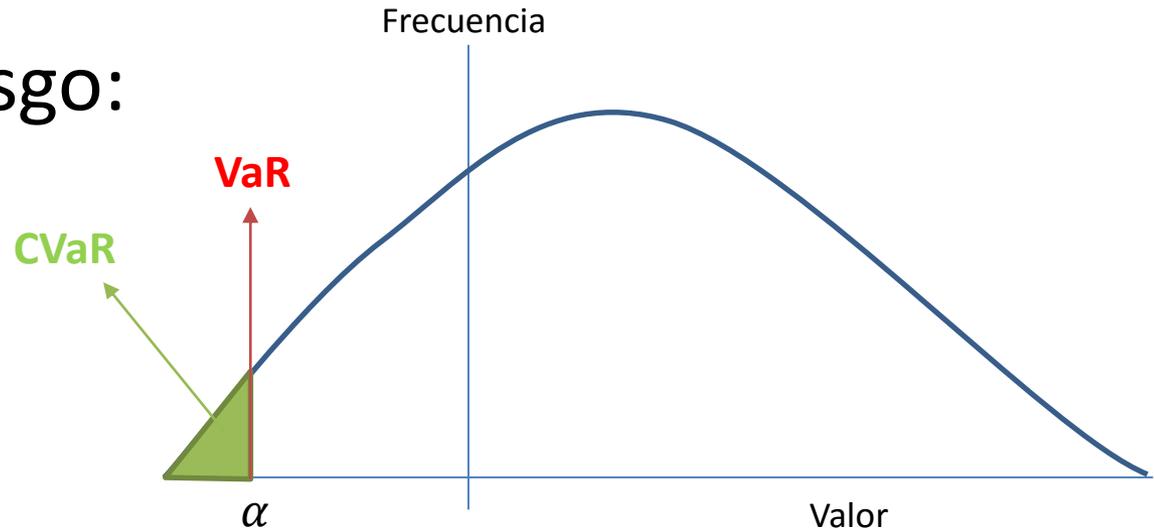


Obtengo un plan que **penaliza** las desviaciones de:

- Mineral
- Metal
- Movimiento Total

Aversión al Riesgo

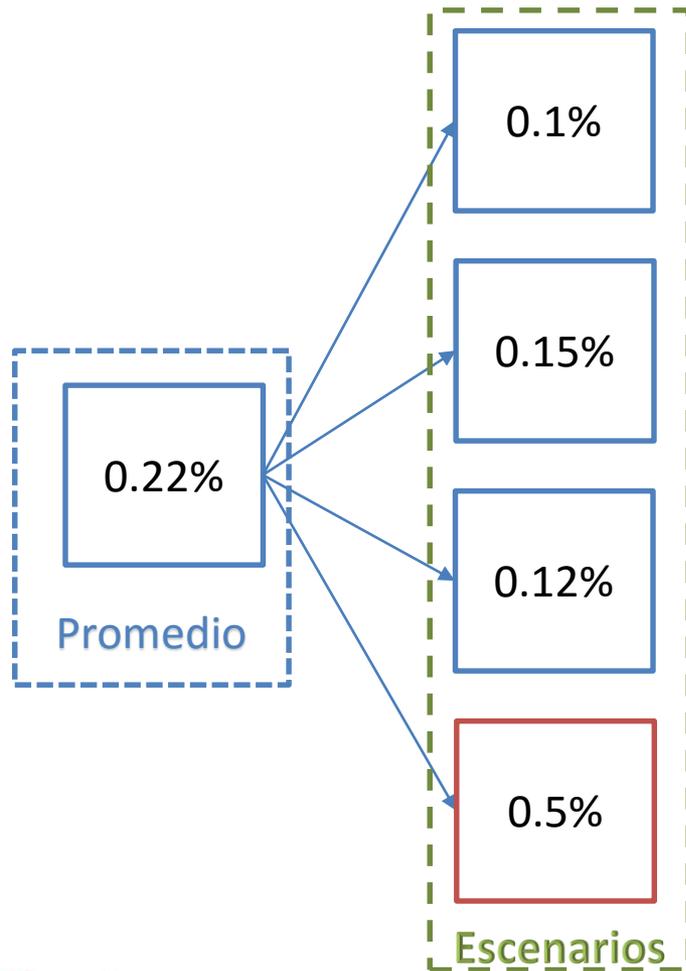
- Medidas de Riesgo:
 - VaR
 - CVaR



- Es posible **minimizar el CVaR** del pit final, sujeto a incertidumbre:
 - geológica 😊.
 - precios 😞.



Programación Estocástica



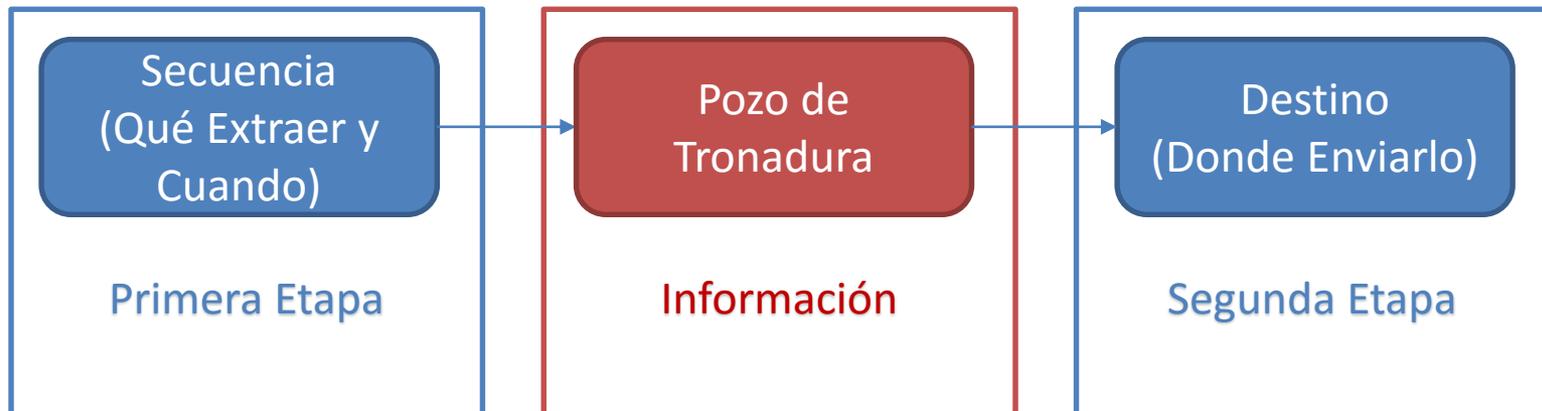
Si la ley de corte es de **0.25%** ...

- ¿Conviene extraer el bloque?
- ¿Qué pasa si consideramos que existe muestreo antes de la decisión de procesar?
- ¿Y si consideramos que este bloque tiene predecesores y sucesores?
- ¿Y el costo de oportunidad de dejar de extraer otros bloques?



Programación Estocástica

- Proceso de optimización en dos etapas:



- Puede elegir extraer un bloque malo **en promedio** pero con buen potencial.
- Enfoque **Neutro al riesgo**.
- **Valor: 10-15% NPV**



Limitantes de las técnicas

1. Complejidad computacional.
2. Falta de softwares/herramientas.
3. Inconsistencia en la academia.
4. Innovación en la industria.



fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



DELPHOS
Laboratorio de Planificación Minera

amtc
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

Simulación

- **Objetivo:** Evaluar la **productividad** de un sistema minero complejo.

Tradicional

- Se utilizan formulas matemáticas cerradas para calcular productividades
- Distancia equivalente, Velocidades promedio, Utilización

Simulación

- Los resultados del sistema minero son consecuencia **explícita** de las acciones de los equipos mineros.



Simulación

Aplicaciones:

- Evaluar capacidad de Transporte
- Dimensionamiento de flotas de equipo
- Detección de cuellos de botella
- Cuantificación de Incertidumbre
- Evaluar políticas de despacho
- Análisis de Sensibilidad en parámetros operacionales
- Evaluación de planes de contingencia
- Evaluar configuraciones de producción
- Cuantificación de pérdidas operacionales.



Simulación

- Las técnicas tradicionales de simulación son **complejas y intensivas en tiempo:**
 - Programación del motor de simulación
 - Validación y calibración de la lógica de simulación.
 - Adaptación de softwares generales a problemas mineros.

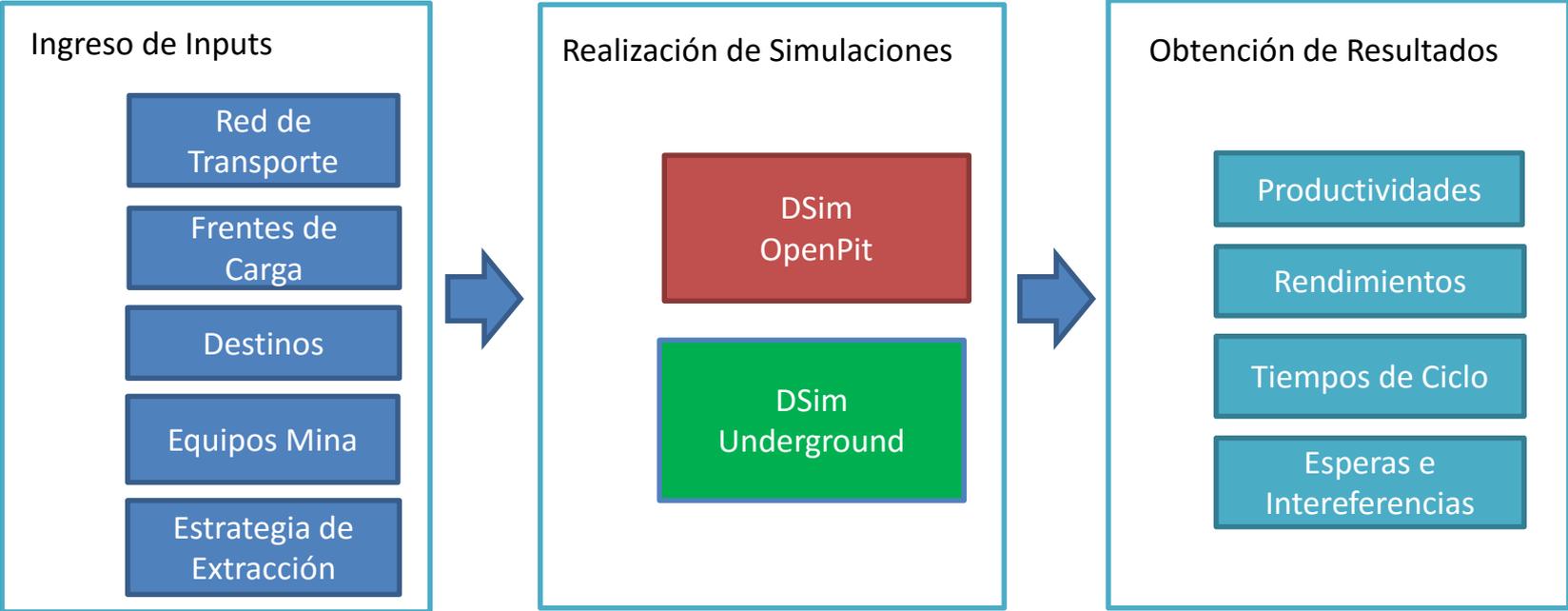


DSim: **D**elphos **S**imulator

- Para simplificar el proceso de simulación, el laboratorio Delphos desarrollo un software de simulación enfocado a la minería.
 - Flexible
 - Fácil de usar
 - No se requiere programar lógicas de movimiento
 - Reportes personalizados
 - Adaptabilidad



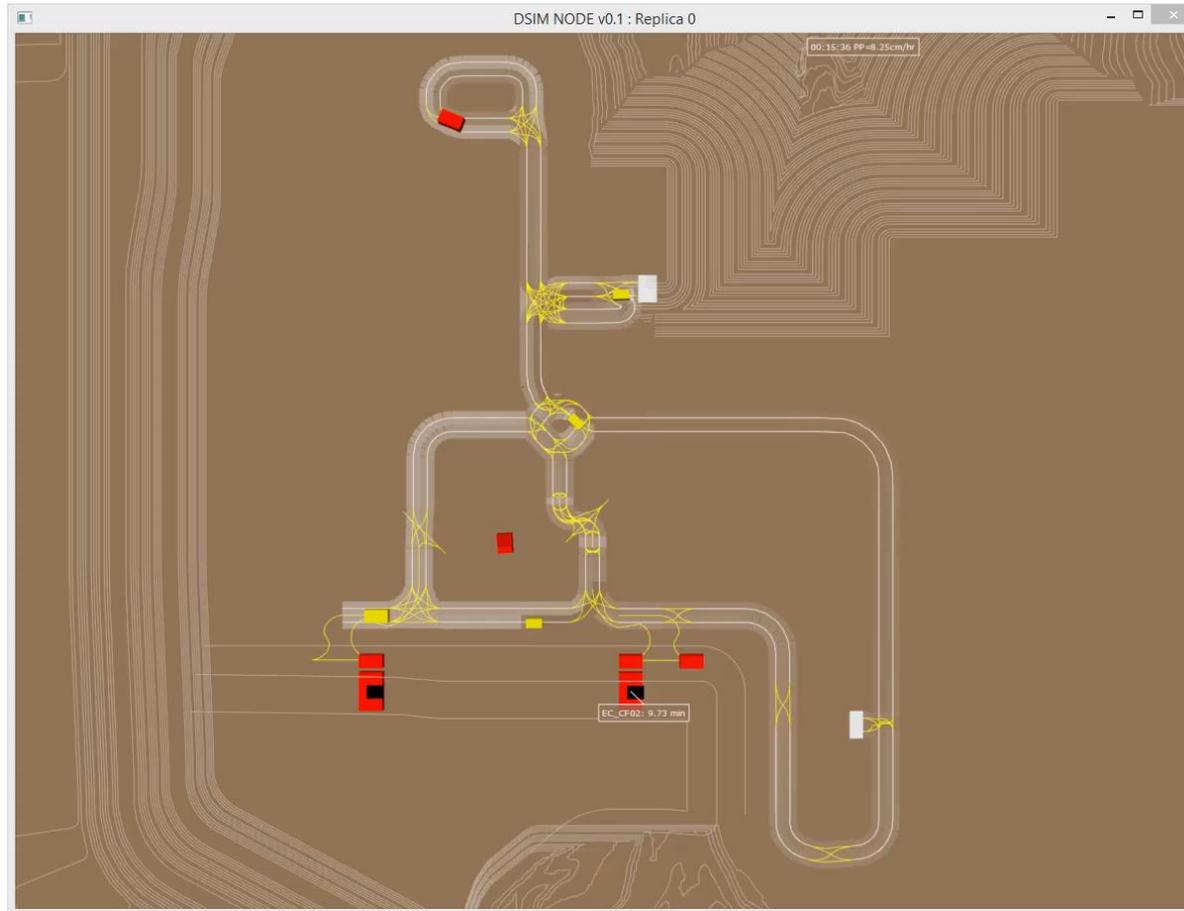
Dsim: Uso



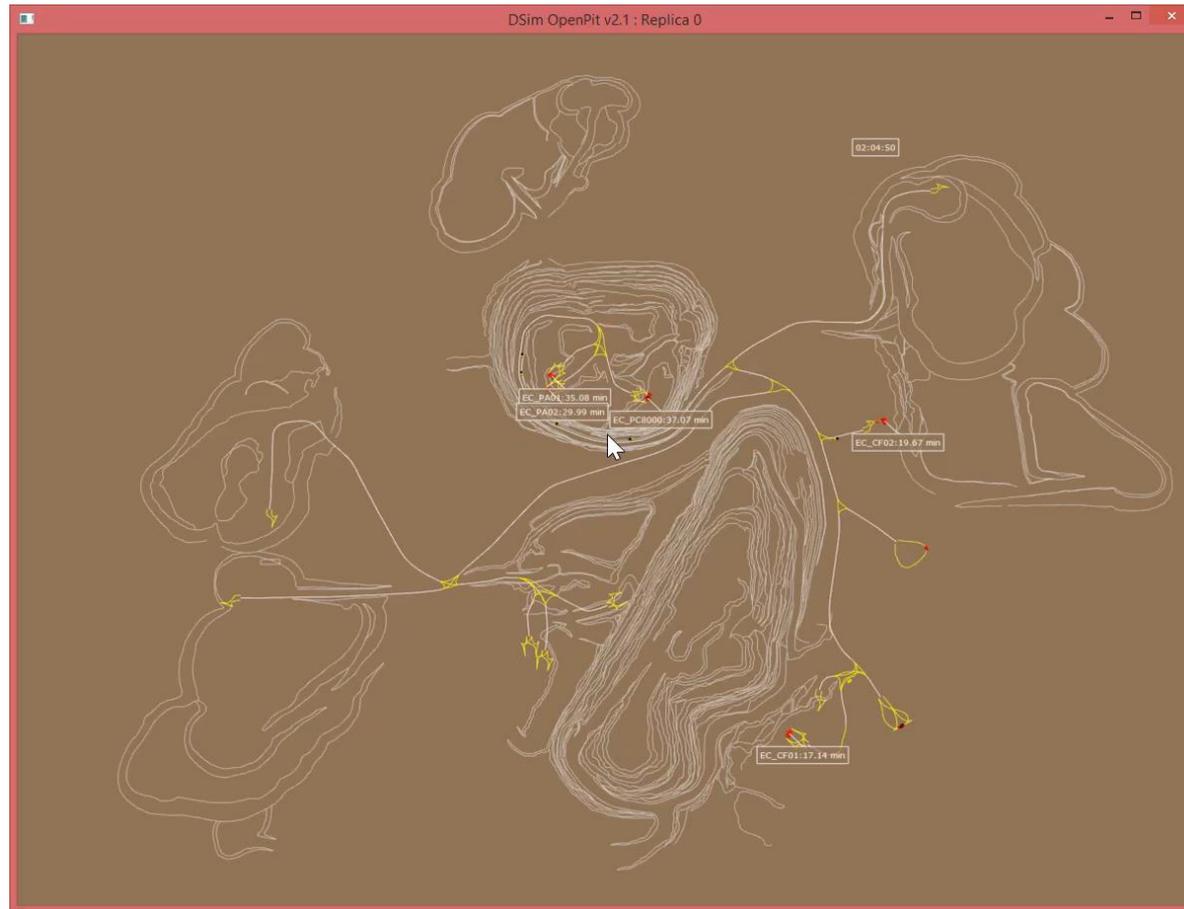
Dsim: Ejemplo 1



Dsim: Ejemplo 2



Dsim: Ejemplo 3



Limitantes de la simulación

1. Requiere datos históricos/distribuciones de probabilidad para parámetros*
2. Requiere modelo de fallas/mantenciones.
3. Es intensiva en tiempo.



fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



DELPHOS
Laboratorio de Planificación Minera

amtc
ADVANCED MINING TECHNOLOGY CENTER

Reflexión Final

Two-Dimensional Fit
Let us select the units u_i and v_j of a rectangular grid system such that

$\sum u_i = \sum v_j$

For each unit u_i and v_j let f_i and g_j be the quantities

Optimum Design of Open-Pit Mines

My increments of profit realized in extracting single units u_i and v_j are f_i and g_j respectively. In a certain sense, add the following quantities:

Joint C.O.R.S. and O.R.S.A. Conference,
Montreal, May 27-29, 1964

