

Delphos: Laboratorio de Planificación Minera

Enrique Rubio, PhD Ingeniería de Minas

Nelson Morales, Docteur en Science

Fernando Peirano, MASc (candidato)

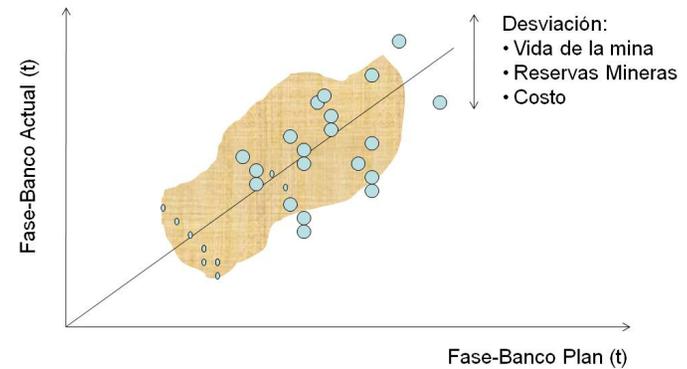
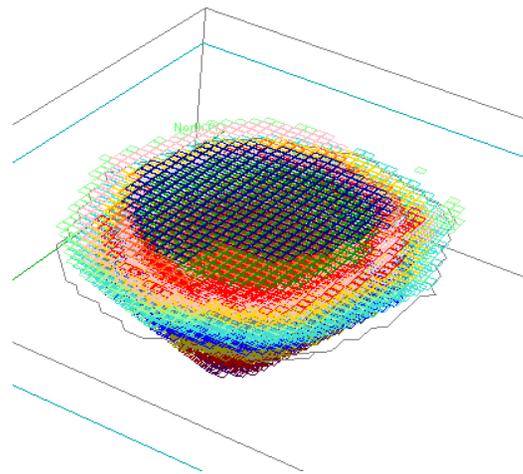
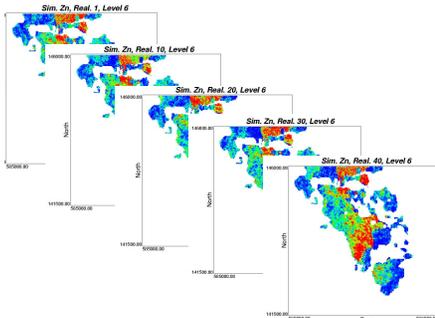
Marcelo Vargas, MASc (candidato)



Contenido

- Visión de Delphos
- Desafíos de la Planificación Minera
 - HPC en Delphos
 1. Enfoque Integrado
 2. Mezclas
 3. Incertidumbre
- Investigación Actual
- CubeMine

Visión de Delphos

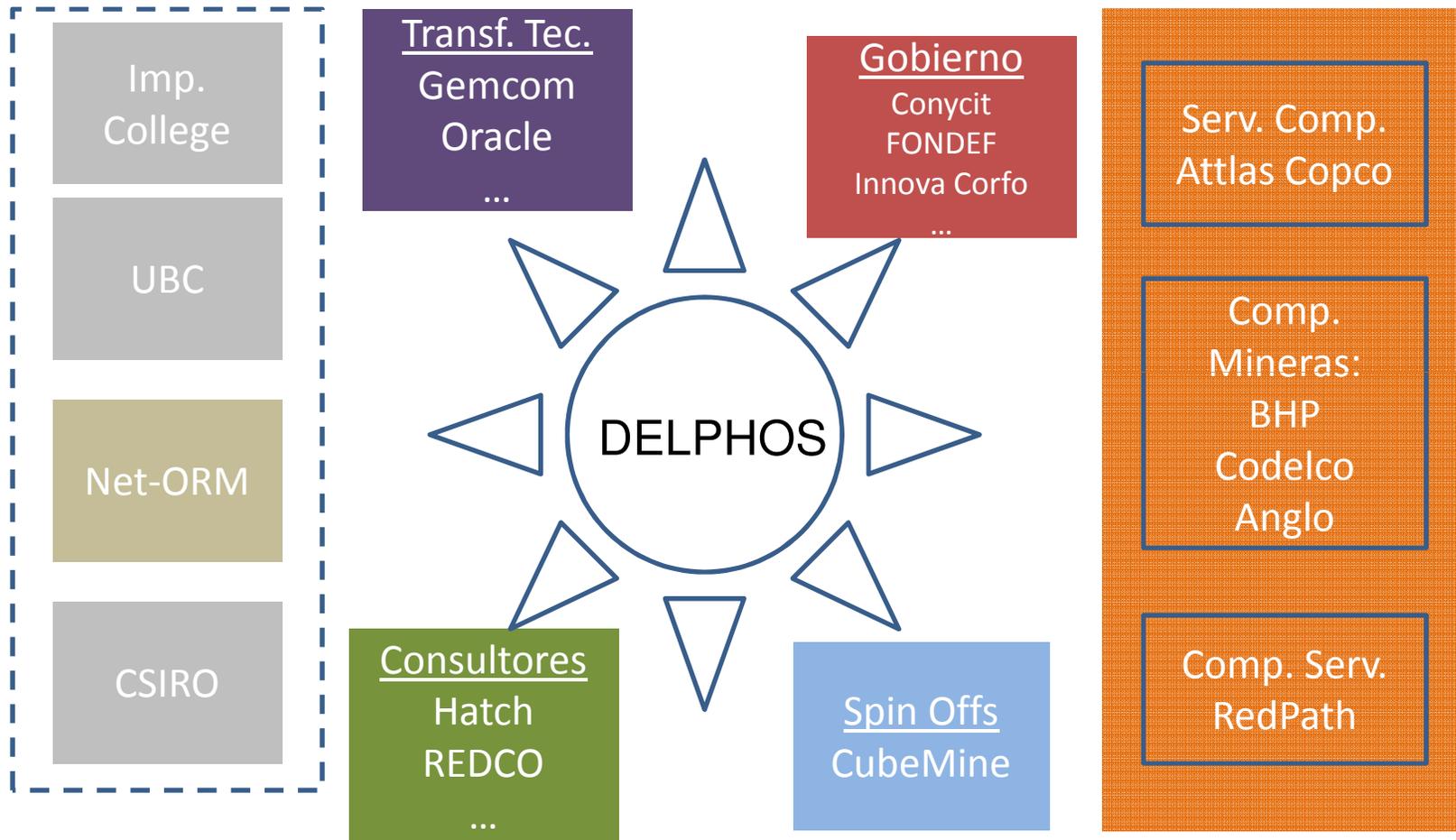


Transformarse en una institución académica de clase mundial que delinea las **mejores prácticas en planificación minera** que apoyan la nueva generación de sistemas mineros sustentables

Delphos

- Puente de conexión entre la Industria Minera y la Academia
- La Misión es proveer de instancias para:
 - Discutir el marco Conceptual de la Planificación Minera
 - Desarrollar métodos, modelos, algoritmos para mejorar la actual productividad y calidad de la planificación minera
 - Construir experimentos a escala mina que permitan a académicos y profesionales ensayar diferentes herramientas y métodos y desarrollar nuevas métricas
 - Proporcionar un lugar de formación y perfeccionamiento en la Planificación Minera

Enfoque Colaborativo



Proyectos

- Los Bronces Sequence Optimization, Anglo
- Underground development optimizer, AMTC-Fondef
- Sequence under uncertainty, AMTC
- Short term planning model with blending, Spence (BHPB)
- Drilling and blasting on demand for large open pit mines, AMIRA

HPC en Delphos

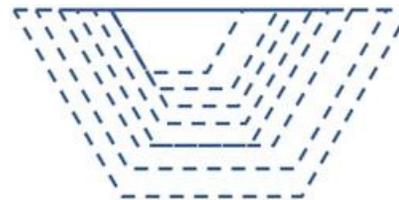
- Cluster:
 - 5 nodos, 8 cores Xeon 1,8Ghz = 40 cores.
 - 4 Gb por nodo
- Software:
 - Lerchs & Grossman Paralelo
 - Solver de optimización de última generación (CPLEX 12 8 Threads)
- Aplicaciones Paralelas:
 - Calculador de precedencias rápido.
 - UCF (Secuenciador basado en penalización por Gershon y Pit Final)
- Aplicaciones Distribuidas:
 - uBOS2

Actuales Líneas de Investigación

1. Planificación Minera Integrada y Holística
2. Mezcla
3. Secuenciamiento bajo Incertidumbre

Problema 1: Integración

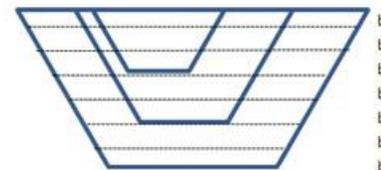
- El procedimiento actual es desintegrado



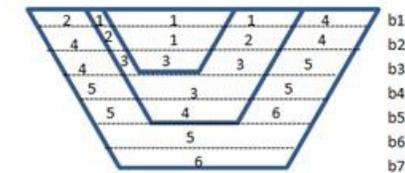
Nested Pits: L&G



Puschbacks/ Bench: Whittle

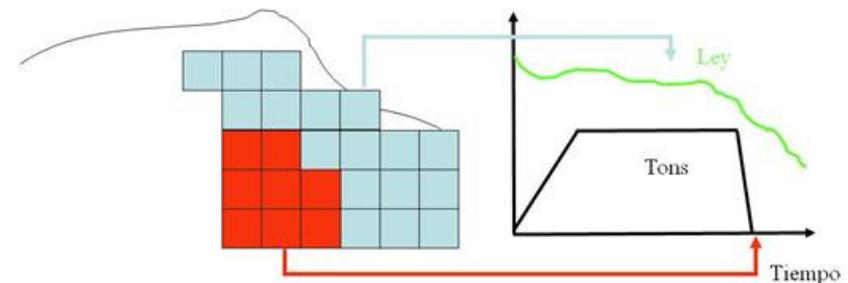


Bench/ Phase: Milawa



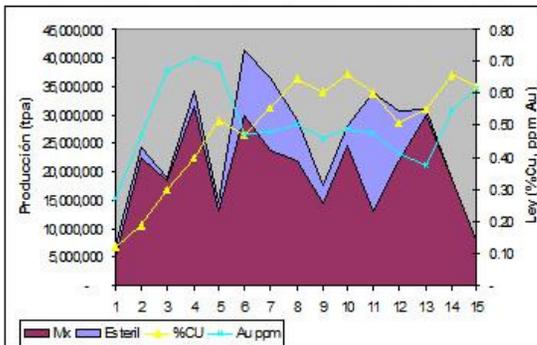
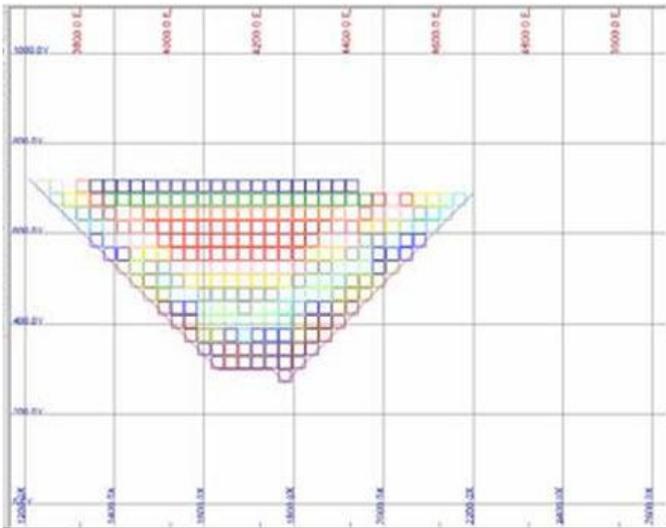
Production Scheduling: Lane

- Modelo Holístico con enfoque en el secuenciamiento de bloques



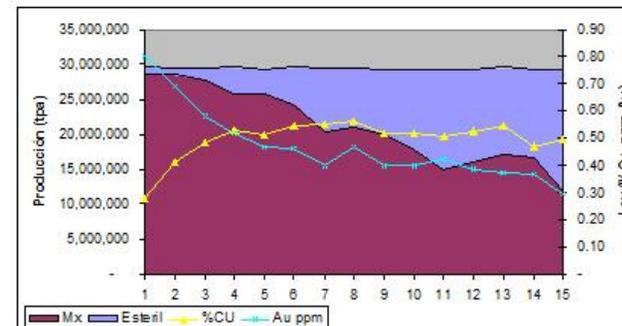
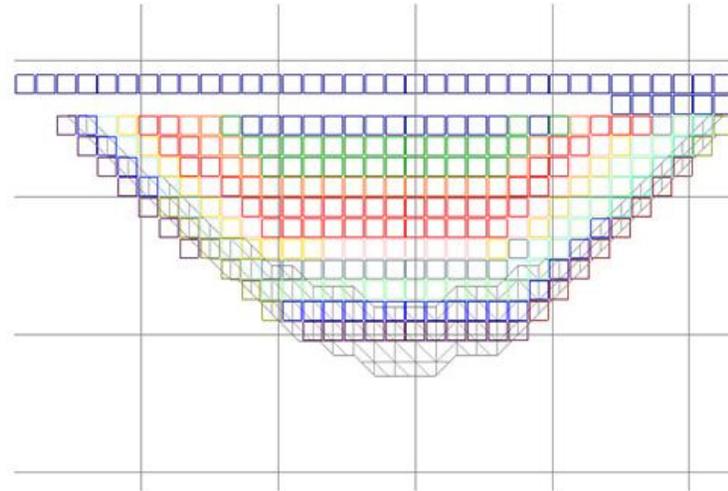
Problema 1: Ejemplo de Optimización en el Secuenciamiento de Bloques

Software Comercial



507 MUS\$

C-Pit

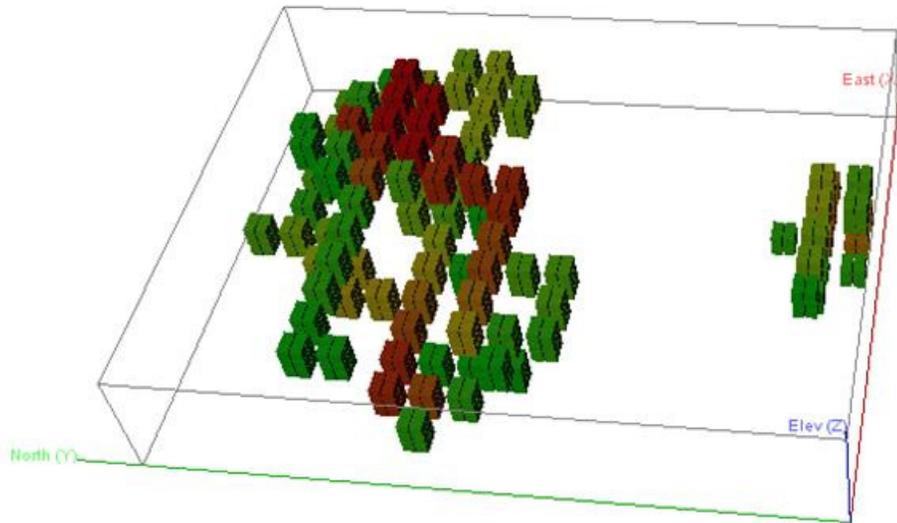


633 MUS\$

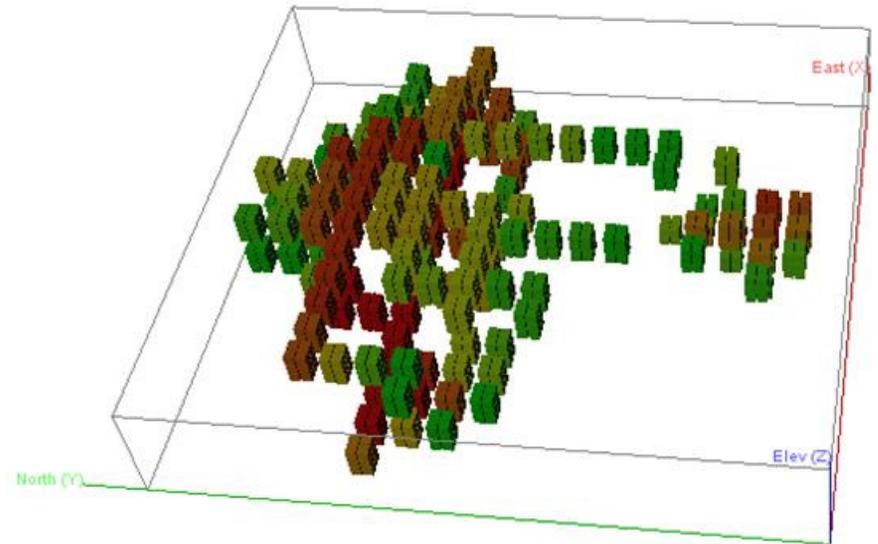


Problema 1: Ejemplo de Diseño y Secuencia de Caserones en Mina Muzo

Optimizador de Secuencia



Optimizador de Diseño + Secuencia



➔ ➤ 15% más de Kilates

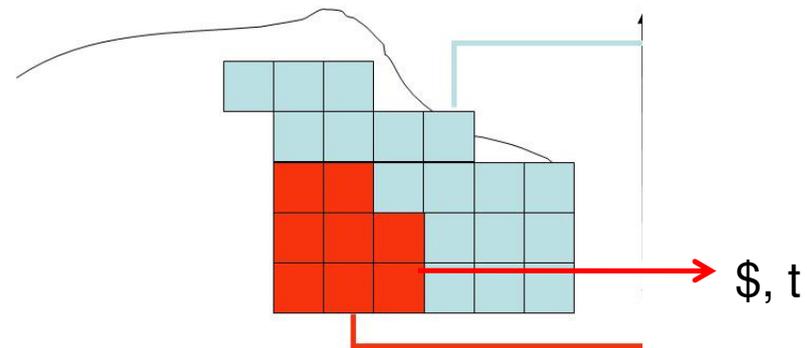
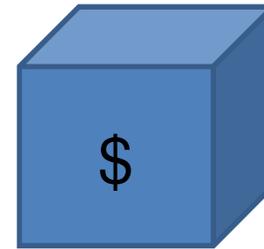
Critical Path (en desarrollo)

- Cálculo distribuido de matriz de Pits
RevFactor/Floating
Band (distintos colores en máquinas diferentes).
- Selección de mejor ruta para secuencia.

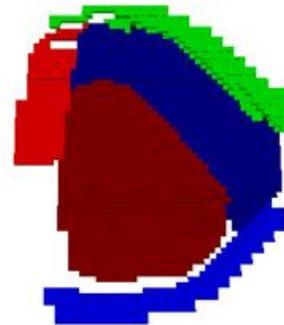
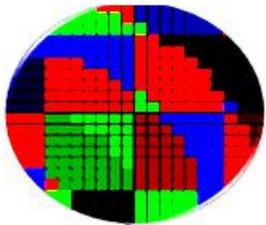
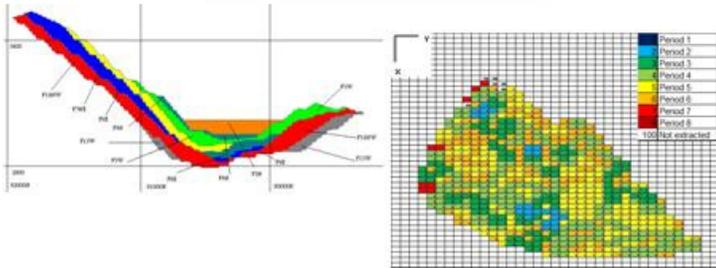
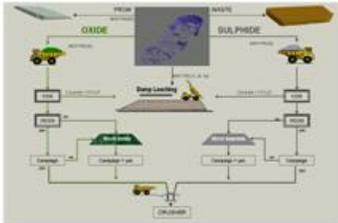
Rev Factor	Bancos 1-3	Bancos 1-6	Bancos 1-9
0.1	\$, PIT	\$, PIT	\$, PIT
0.3	\$, PIT	\$, PIT	\$, PIT
0.5	\$, PIT	\$, PIT	\$, PIT
0.7	\$, PIT	\$, PIT	\$, PIT
1.0	\$, PIT	\$, PIT	\$, PIT

Problema 2: Enfoque Mono vs *Multi Variable*

- Actual Práctica es basada en un valor de bloque pre-calculado
- Mezclamiento como parte del modelo



Problema 2: BOS2



Obj Max Cu

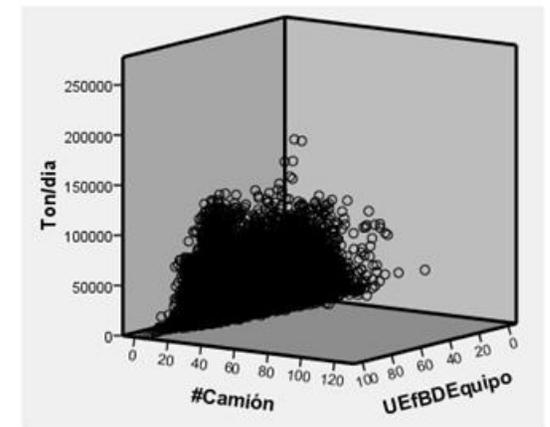
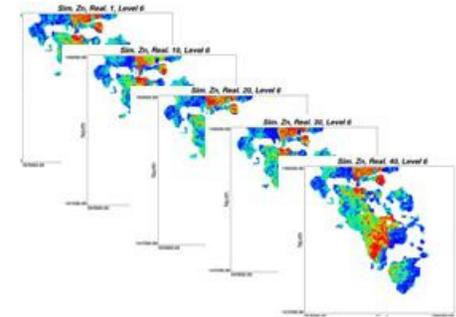
s. t.

- Precedencias
- Capacidades
- Mezclamiento
- Conectividad
- Campañas

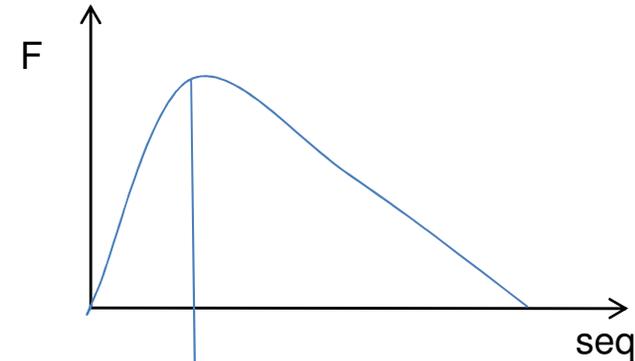
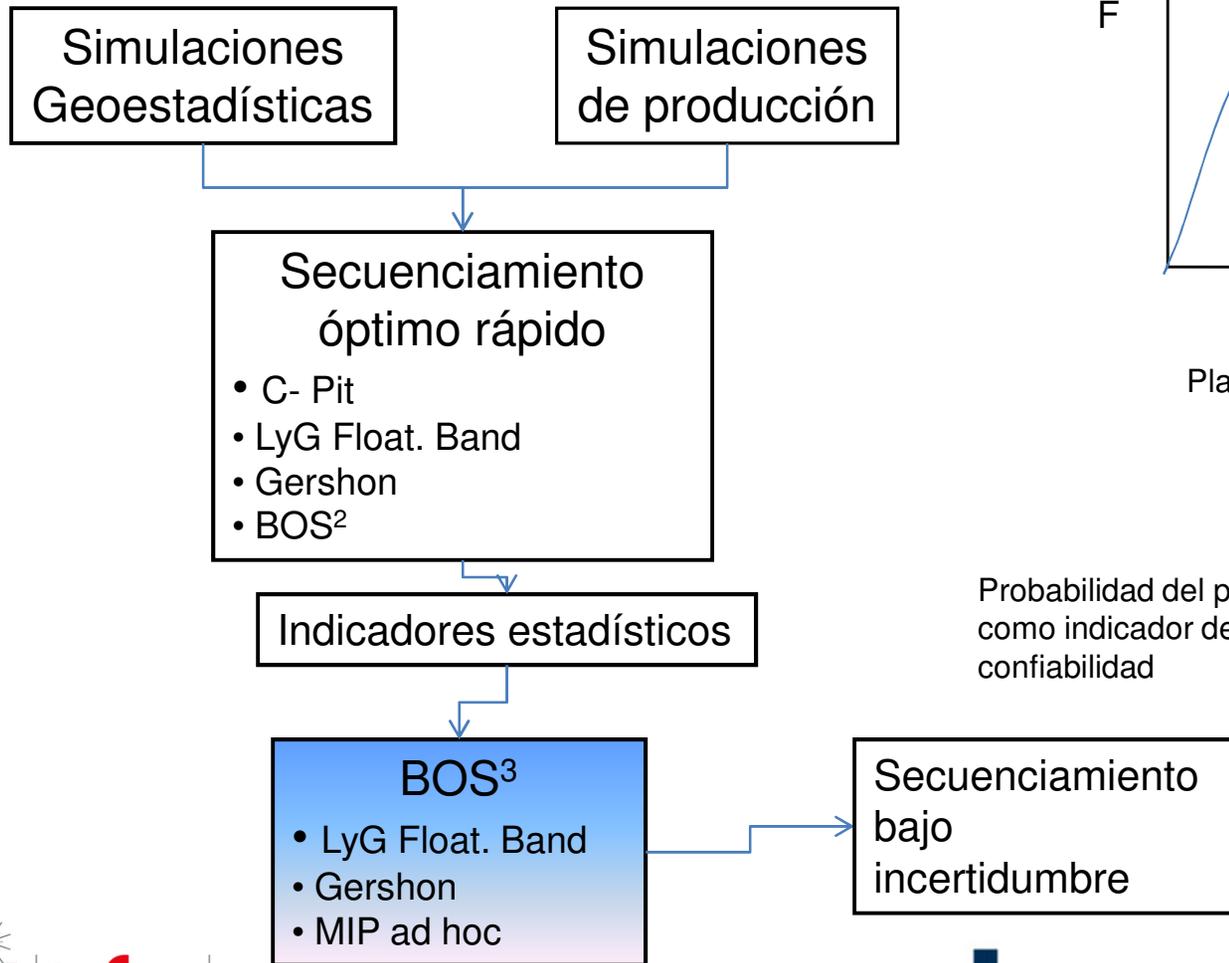
Producción de 10k t Cu
extra en 3 meses

Problema 3: *Incertidumbre*

- Mercado: Precio, trabajo, insumos...
- Geológica: litología, leyes, densidades...
- Tecnológica: disponibilidad, utilización y productividad de equipos.

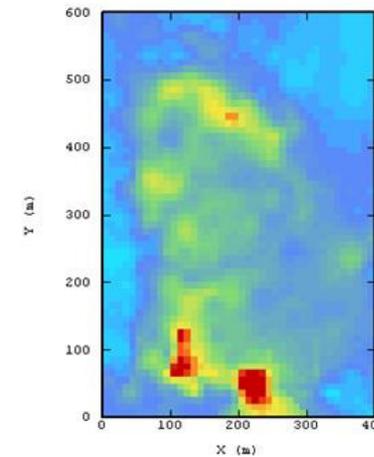


Planificando bajo incertidumbre



Plan determinístico actual

Probabilidad del plan como indicador de confiabilidad



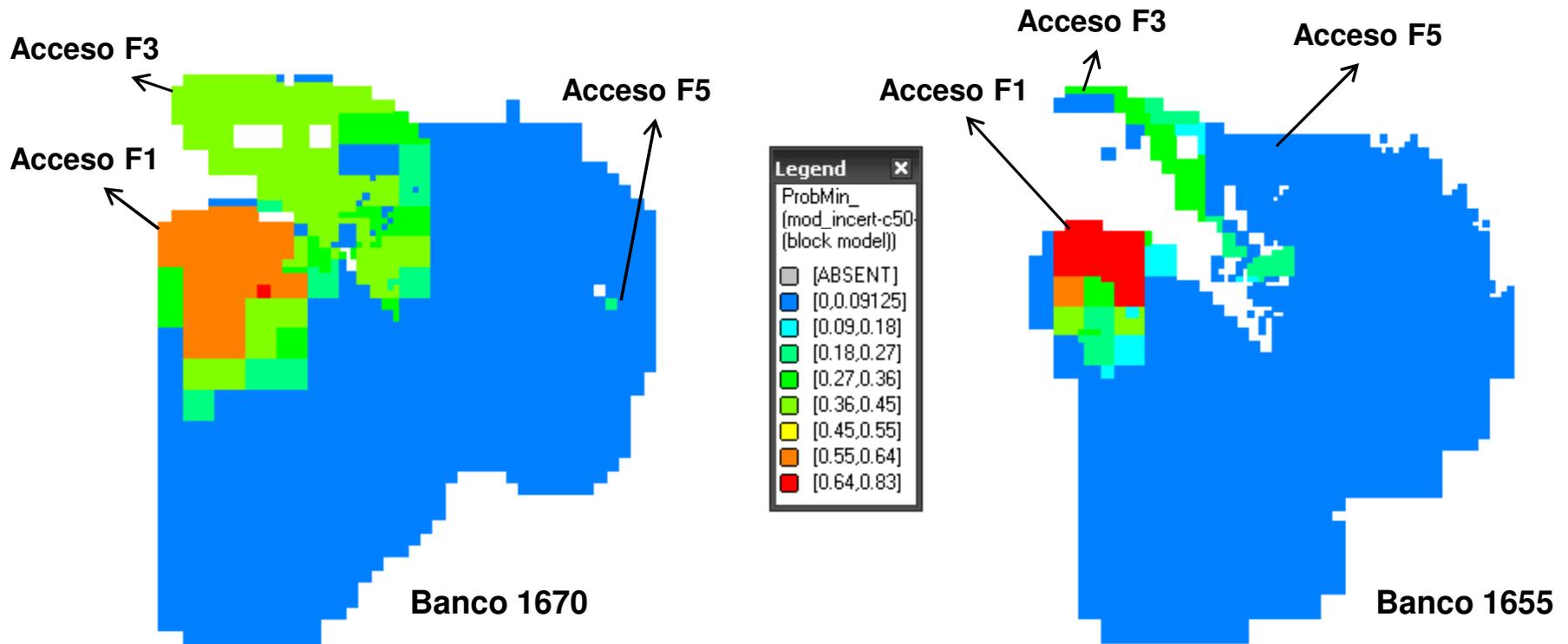
BOS3

- Secuenciador de corto plazo bajo restricciones de blending e incertidumbre.
- Calcula planes basado en simulaciones condicionales.
- Construye plan robusto a partir de los planes individuales.

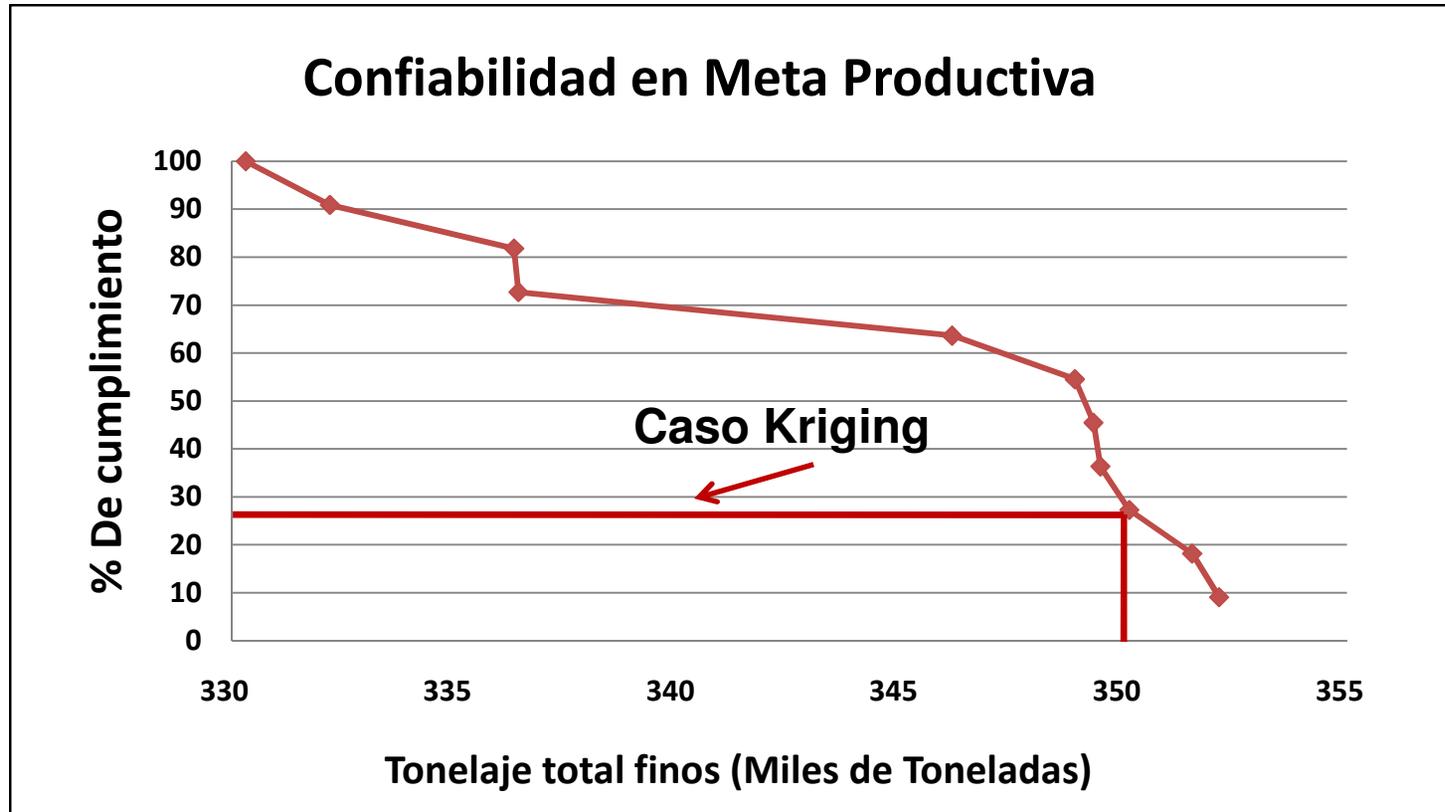
Distintas simulaciones en nodos distintos.

Resultados BOS3 Forecast 2009

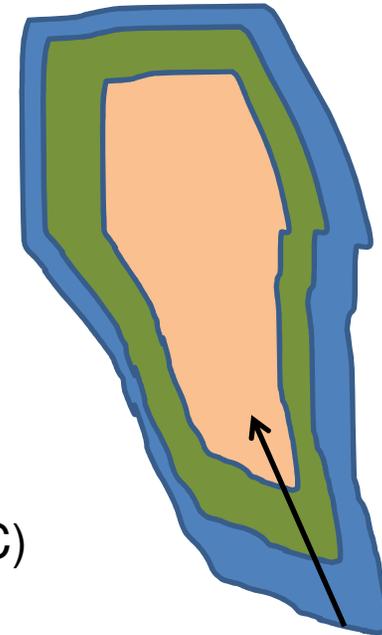
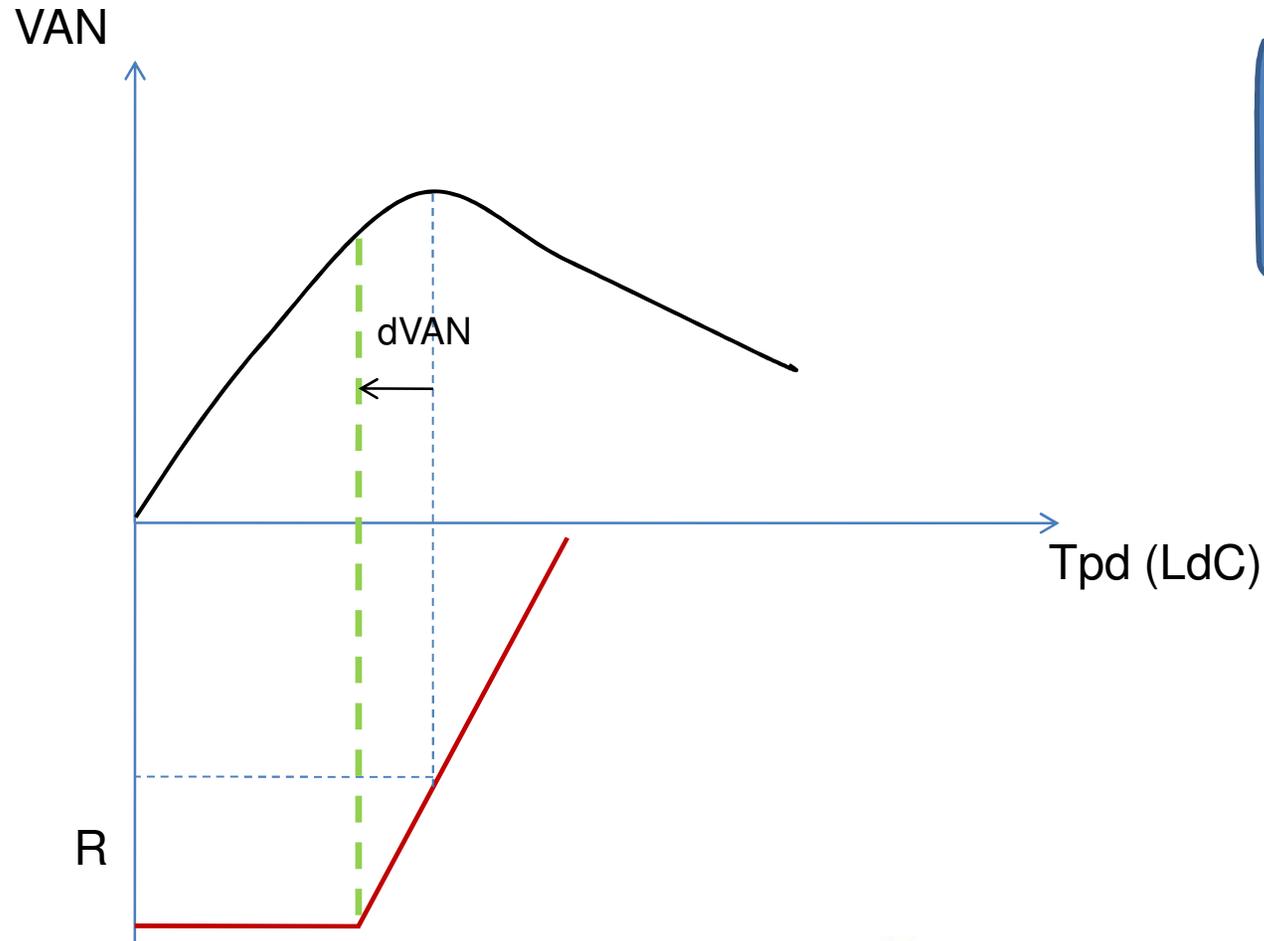
- Mapa de probabilidad de que un bloque sea extraído en periodo 1



Resultados BOS3 Forecast 2009

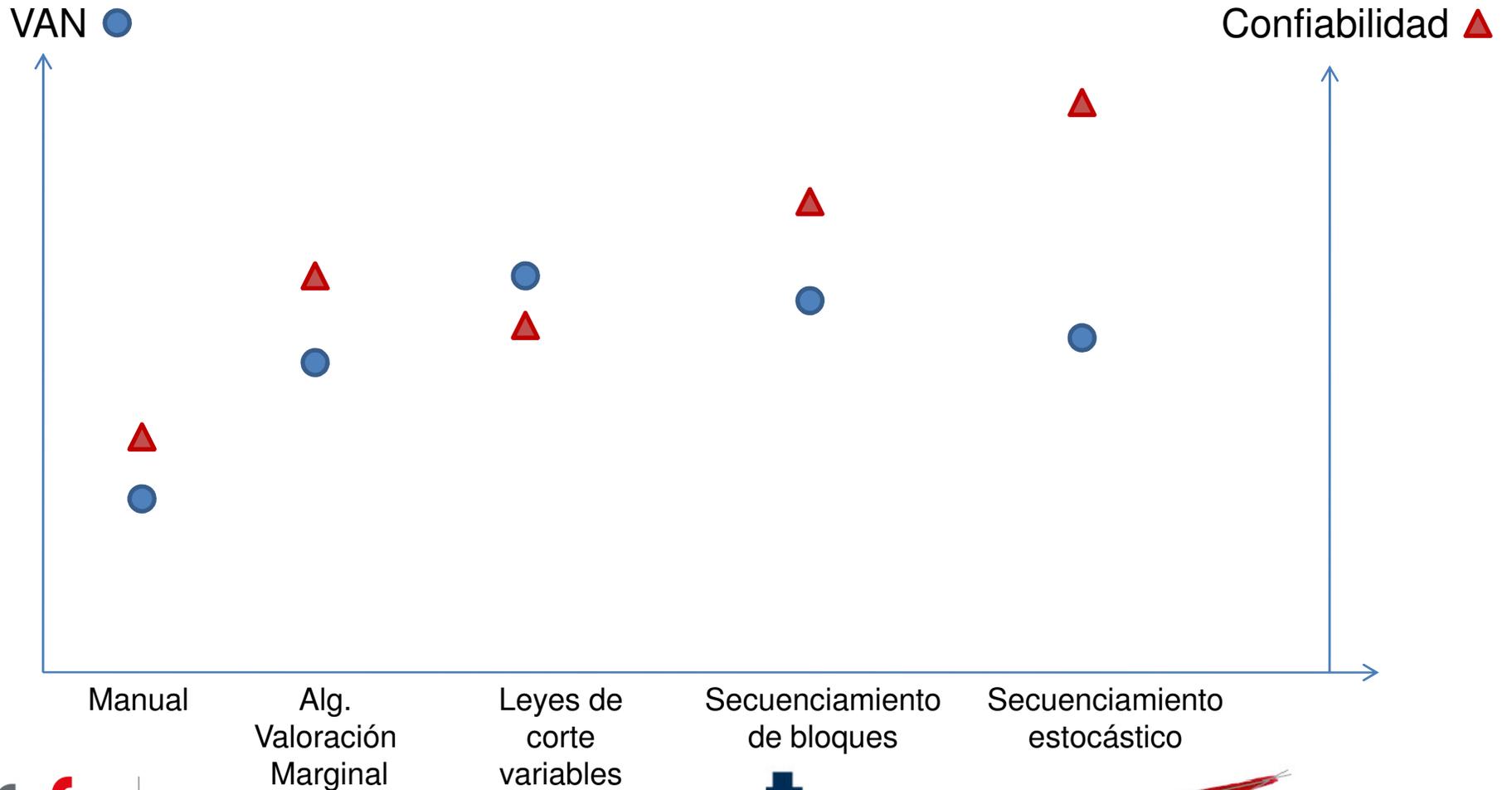


Confiabilidad (R) vs VAN

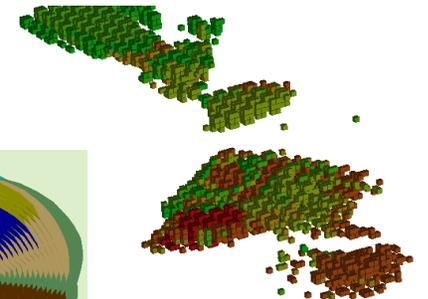
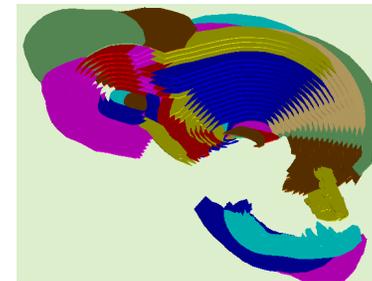
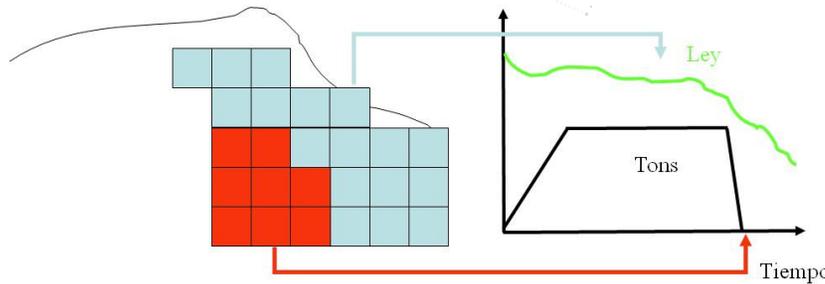
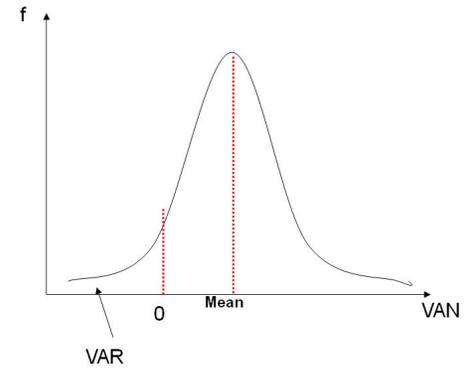
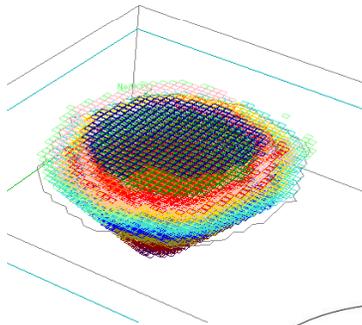


Leyes de Corte (LdC)

Tecnología de Planificación Minera



Transferencia Tecnológica de Modelos y Algoritmos desarrollados



Comentarios Finales

- Nuevas herramientas computacionales pueden usar modelos de investigación de operaciones para soportar las decisiones mineras de forma adaptada a cada compañía.
- No incorporar la incertidumbre produce desviaciones operacionales que impactan fuertemente el costo de las operaciones.
- Las técnicas de optimización ayudan a resolver problemas: multivariantes y multiperíodo, que enfocan las problemáticas mineras de manera integrada y que podrían llevar al desarrollo de nuevas tecnologías.