



DEEPMINE 4.0: INCORPORANDO EL RIESGO EN LA DEFINICIÓN DE RESERVAS

JUAN IGNACIO GUZMÁN

TALLER ONLINE "BUENAS PRACTICAS EN ESTIMACION DE RECURSOS Y RESERVAS MINERALES"
20 DE AGOSTO 2020

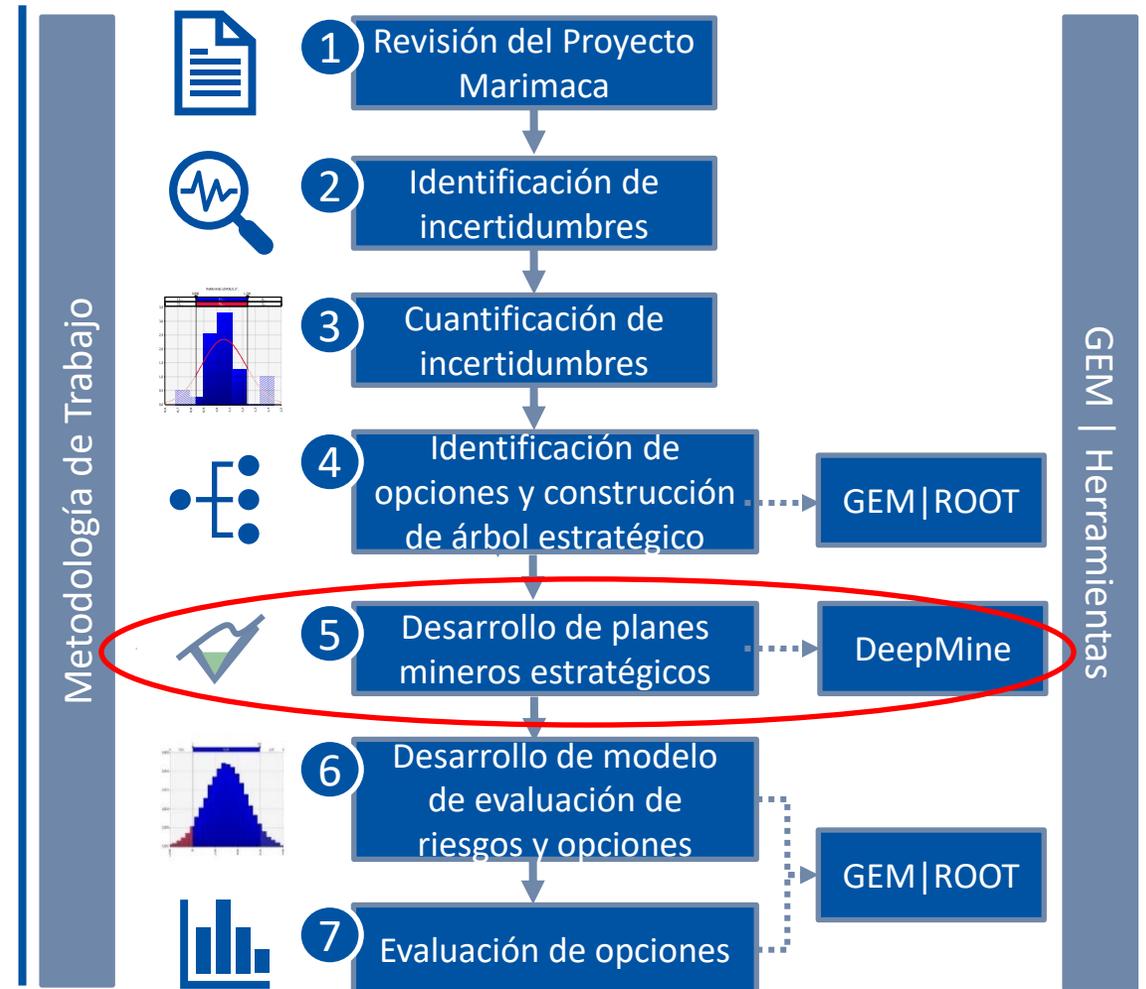
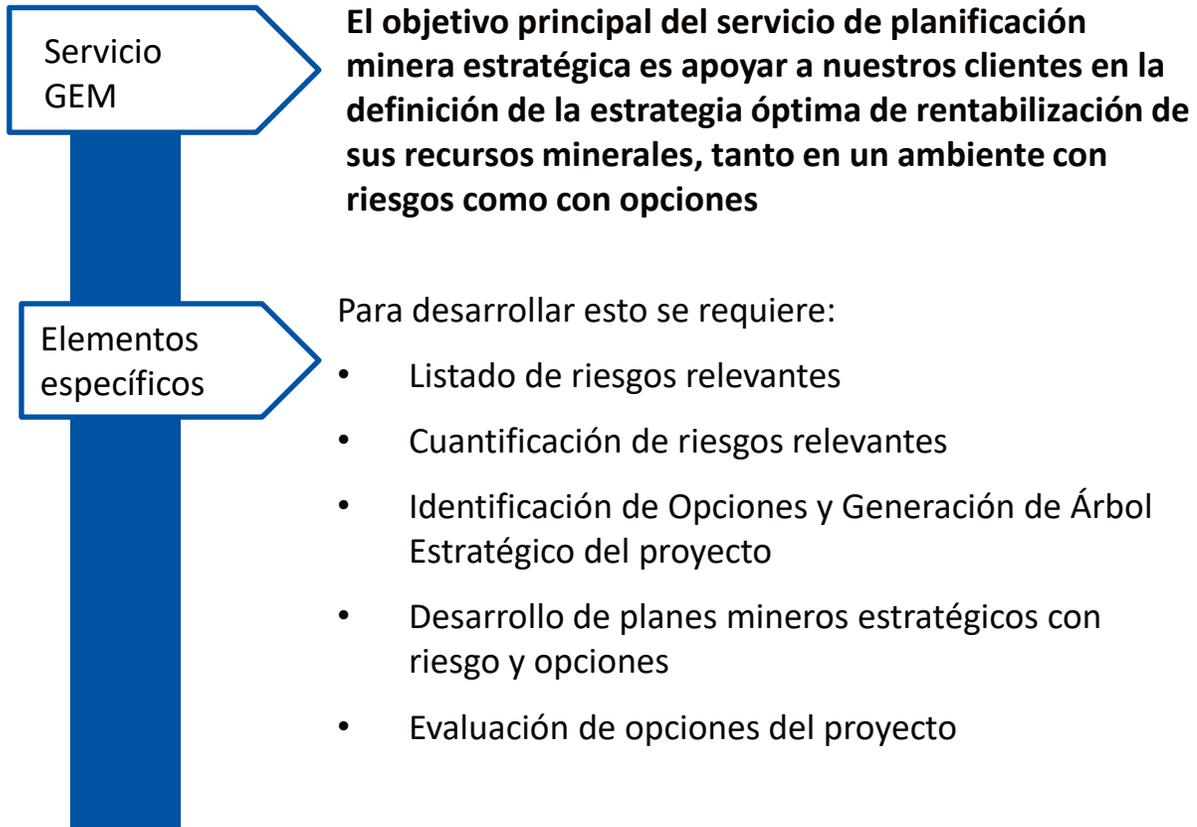


TABLA DE CONTENIDOS

1. MOTIVACIÓN
2. INCERTIDUMBRES RELEVANTES
3. IMPLEMENTACIÓN EN DEEPMINE
4. GENERACIÓN DE PITS ANIDADOS CON RIESGO
5. GENERACIÓN DE PLANES ESTRATÉGICOS CON RIESGO
6. CONCLUSIONES

1. MOTIVACIÓN

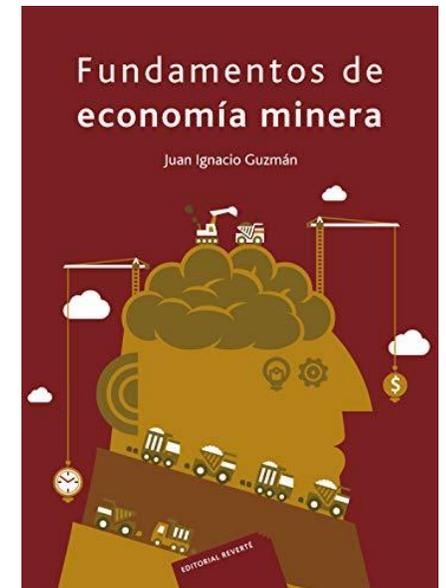
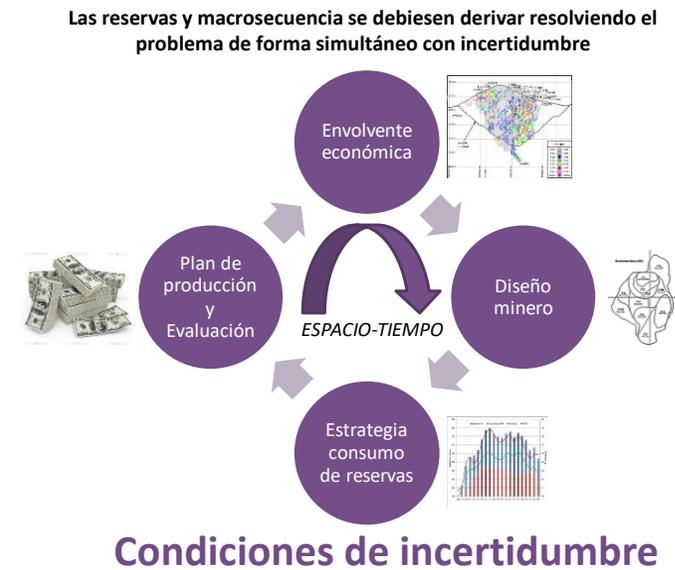
GEM HA APOYADO A DECENAS DE PROYECTOS Y MINAS EN OPERACIÓN EN EL DESARROLLO DE SUS PLANES MINEROS ESTRATÉGICOS



1. MOTIVACIÓN

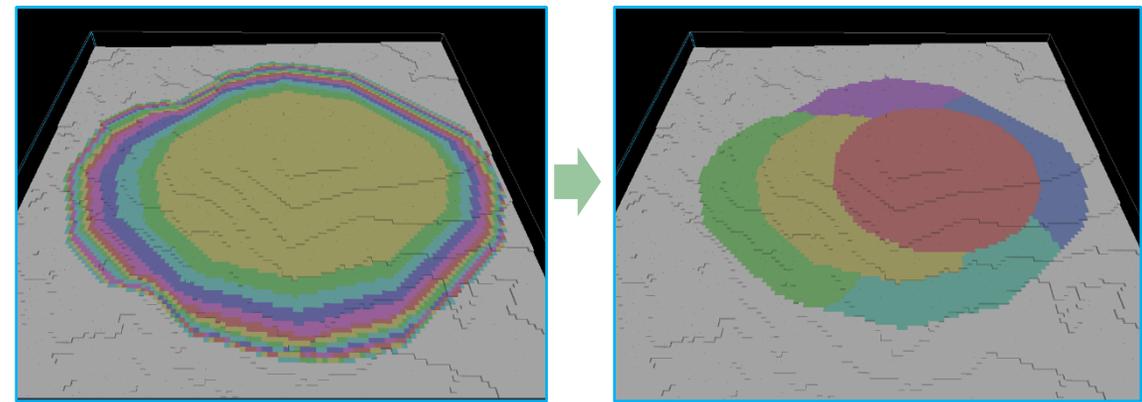
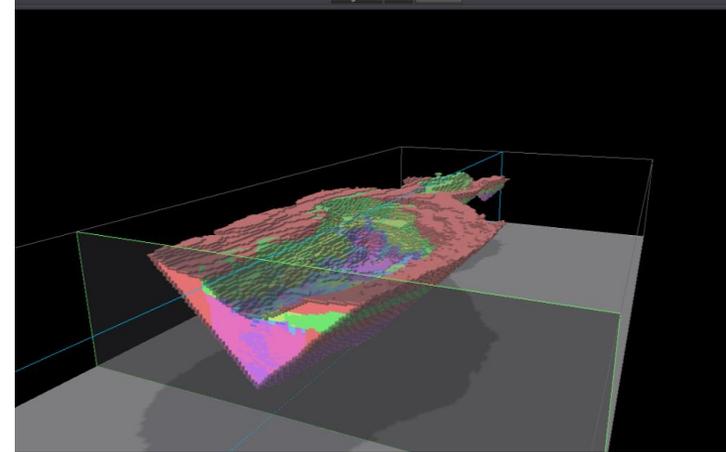
¿CÓMO SE DEBERÍA RESOLVER ESTE PROBLEMA?

- El problema es uno “**espacio-temporal**”, que no puede ser resuelto separando sus componentes espacial y temporal como hasta la fecha se ha hecho (y aún hoy es la forma estándar de producir planes mineros en la práctica)
- De forma equivalente el problema en general contiene un sinnúmero de variables inciertas, tales como precios de *commodities*, costos, y variables geometalúrgicas, entre otras



SOFTWARE DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA PARA MINAS A RAJO ABIERTO

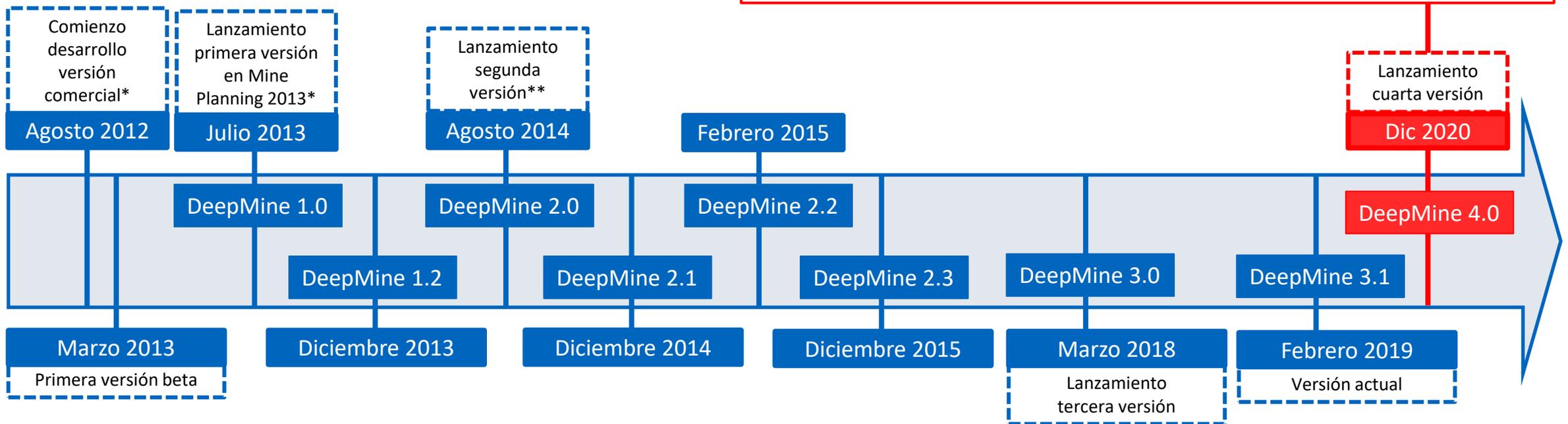
- DeepMine es un *software* de planificación estratégica para minas a rajo abierto que trabaja a nivel de bloques
- Basado en programación dinámica aproximada, el innovador algoritmo “Deep” desarrollado en DeepMine genera una secuencia anual de extracción, sin la necesidad de depender en la definición previa de fases. Al contrario, esta herramienta permite guiar la planificación minera por medio de la generación de pseudofases
- La figura de la derecha muestra cómo a partir de la definición de pits anidados (los que pueden actuar como guía o no), DeepMine determina una secuencia óptima desde el punto de vista económico, guiando al planificador en las posteriores etapas de planificación



1. MOTIVACIÓN

DEEPMINE ESTÁ CONSTANTEMENTE EVOLUCIONANDO

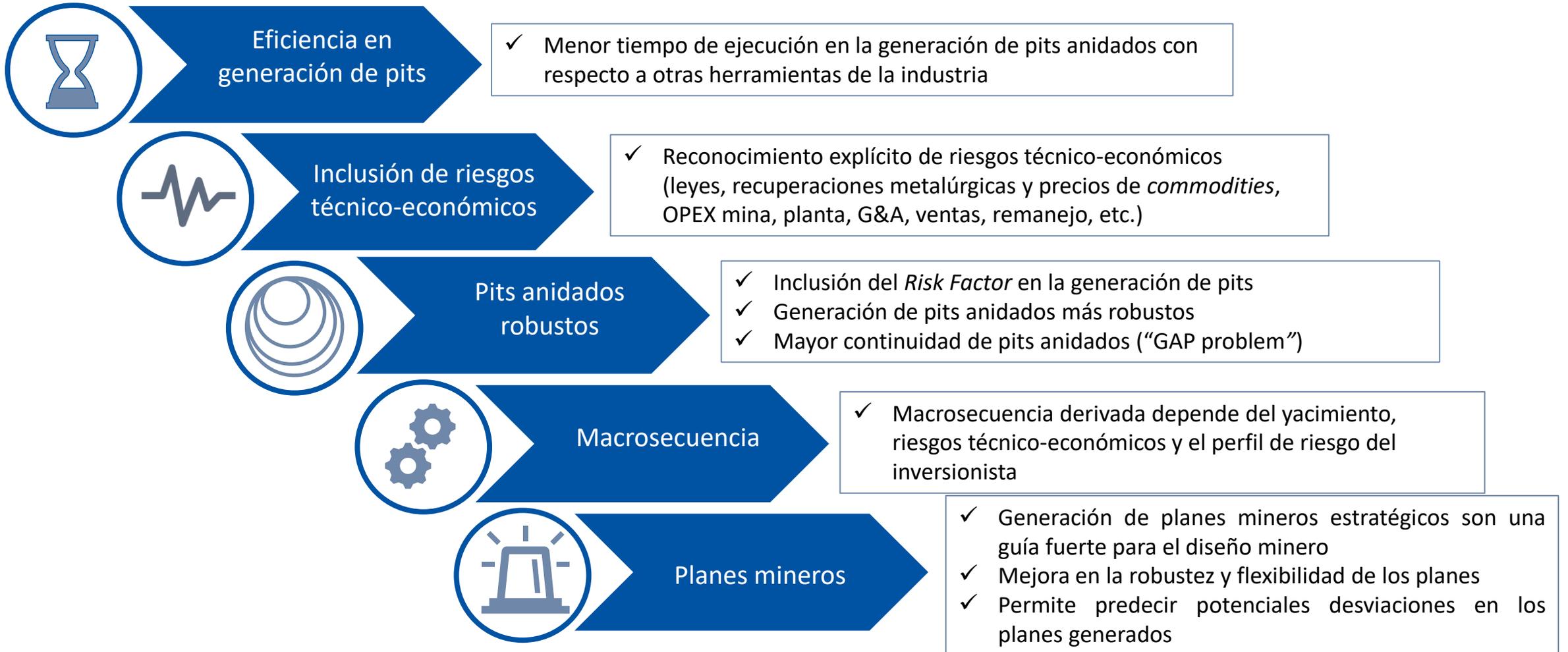
- 2008-2010: Período de investigación
- 2011: Desarrollo de prototipo
- 2012-2013: Desarrollo comercial



*Desarrollo realizado con el apoyo de Programa de Proveedores de Clase Mundial (Codelco)

**Desarrollo realizado con el apoyo de CORFO

LO NUEVO EN DEEPMINE 4.0

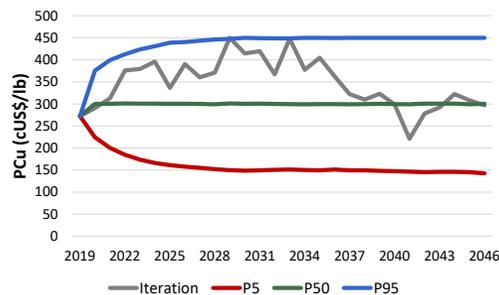


2. INCERTIDUMBRES RELEVANTES

INCERTIDUMBRES PROPIAS DEL PROBLEMA DE PLANIFICACIÓN MINERA ESTRATÉGICA

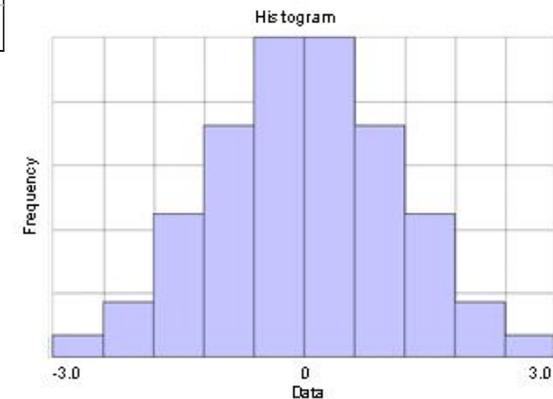
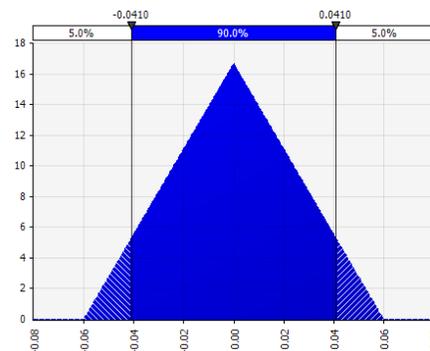
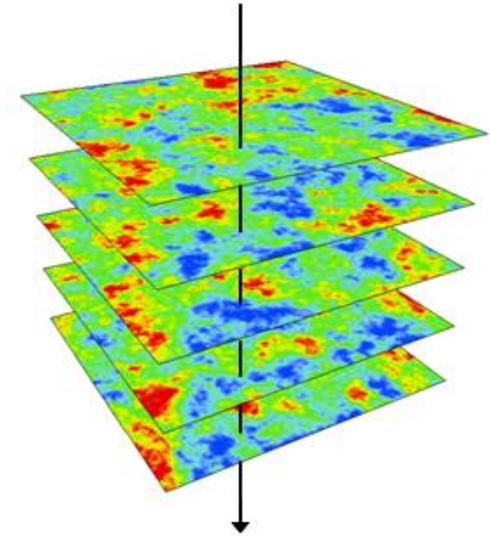
Incertidumbres externas

Tipo	Incertidumbres más comunes
Mercado	Precio del <i>commodity</i> principal, precio de subproductos, tasa de cambio, precios de energía y otros insumos críticos, costos de mano de obra, monto de la inversión, tasa de descuento
Financiera	Tasa de interés, disponibilidad de recursos financieros
Política	Expropiación de recursos, estabilidad gubernamental
Legislación	Cambio en tasa de impuesto y/o <i>royalties</i> , cambio en leyes laborales
Sociales	Demandas de la comunidad, estabilidad social
Ambientales	Cambio en la regulación (material particulado, gaseoso y otros), permisos ambientales
Comerciales	Cambio en especificaciones de compra
Industriales	Guerra de precios, producción del resto de productores, confiabilidad de los proveedores, entrada de nuevos productores, poder de mercado de los clientes, sustitución.
Tecnológicas	Mejoramiento de la tecnología actual, capacidad de tratamiento de nuevo mineral



Incertidumbres internas

Tipo	Incertidumbres más comunes
Geológica	Distribución de leyes, tonelaje de reservas, continuidad de las unidades geológicas, variabilidad del índice de Bond
Geotécnica	Colapso de roca, estallido de roca, falla en paredes de la mina
Metalúrgica	Recuperación (%), tiempo de procesamiento (cinemática) calidad del producto
Operacionales	Disponibilidad de equipos, disponibilidad de recursos humanos, falla en infraestructuras, variabilidad de la mezcla a planta, disponibilidad de insumos, ambiental, dilución, productividad de equipos, condiciones climáticas
Proyectos	Atraso de proyectos, <i>Ramp-up</i> , Capacidad de extracción, Capacidad de procesamiento
Organizaciones	Huelgas, productividad laboral



Fuente: Guzmán, J.I. 2019. Fundamentos de Economía Minera. Reverté, Barcelona

INCERTIDUMBRES IMPLEMENTADAS EN DEEPMINE 4

Riesgos incorporados en DeepMine 4.0 para generación de pits anidados y planes mineros estratégicos

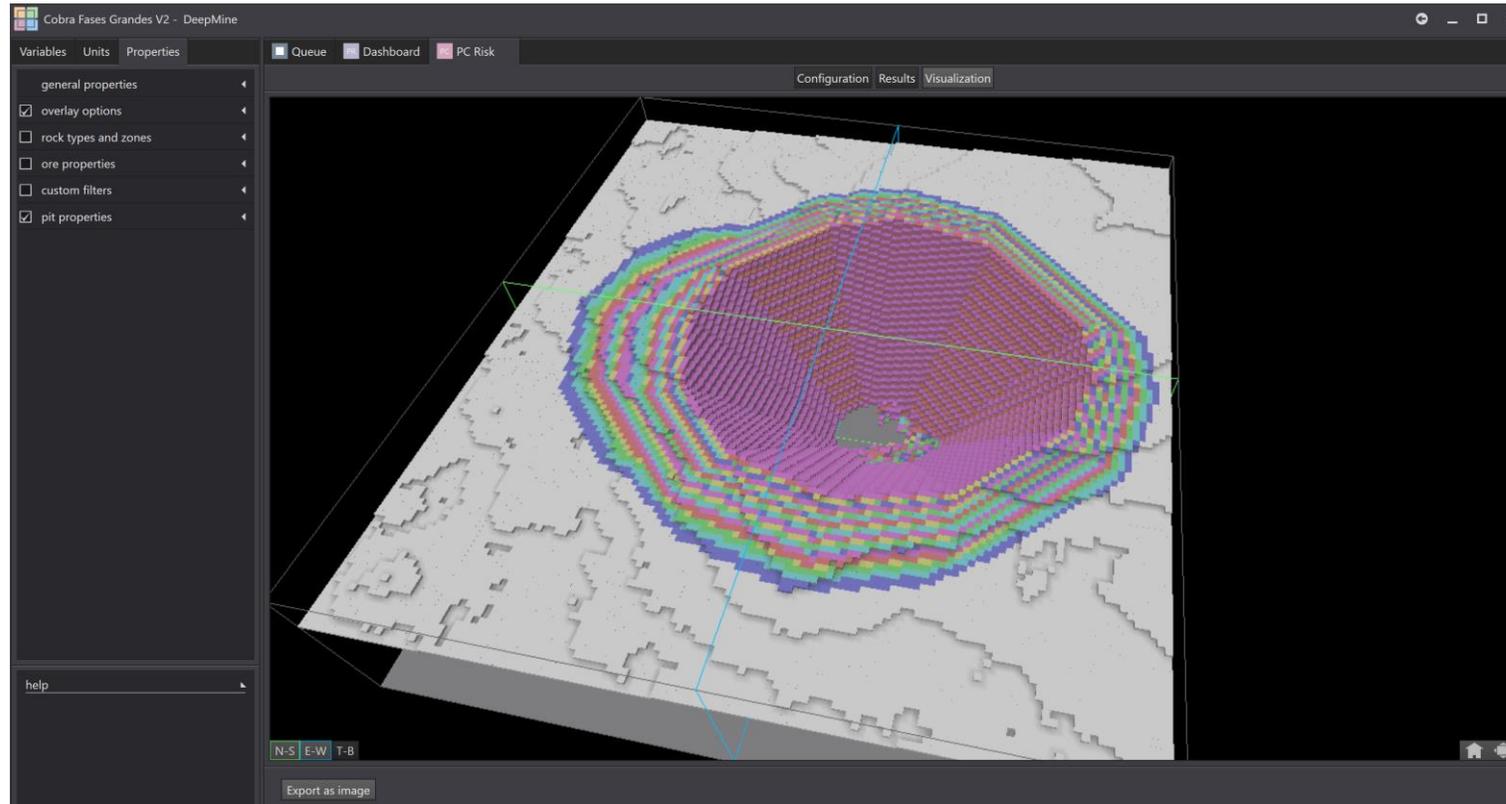
- Precio del cobre
- Ley del *commodity* principal
- Recuperación metalúrgica
- Costo mina
- Costo planta
- Costo transporte
- Densidad

El motor de DeepMine 4.0 permite que los riesgos se carguen como distribuciones de probabilidades ya sea directamente o a través de una simulación condicional

The screenshot shows the 'Pit Collection Risk Information' configuration window in DeepMine 4.0. The 'Use Risk Based Engine' checkbox is checked, and the 'Number of Iterations' is set to 1000. The configuration table below shows the following data:

Commodity	Plant	Zone	Distribution
cu	Sulfuros	All Zones	TRIANGULAR(min: 0.7, max: 1.3, mode: 1)
mo	Sulfuros	All Zones	CONSTANT(value: 1)

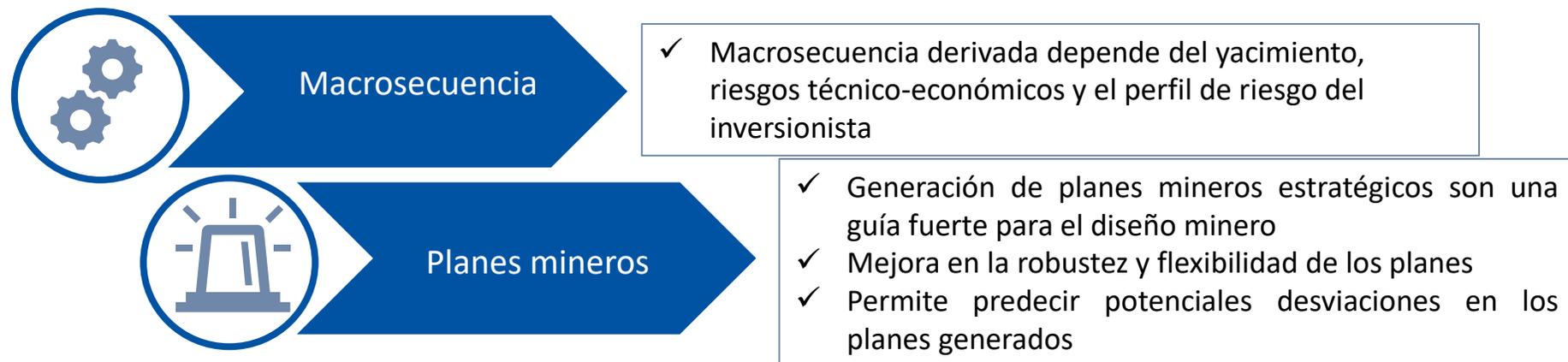
GENERACIÓN DE *PITS* ANIDADOS CON RIESGO



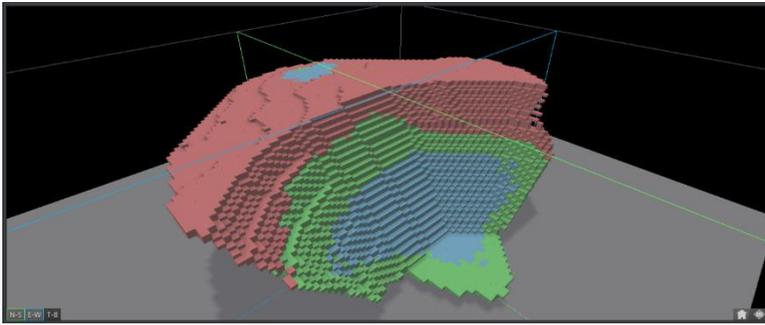
- En lugar de un *revenue factor*, el *risk factor* de DeepMine 4.0 permite determinar la envolvente económica considerando un nivel de confiabilidad o riesgo máximo permitido por la empresa
- Esto permite incluir en la determinación de la envolvente económica el riesgo asociado a todos los aspectos de la mina y no solo del precio de el o los commodities de interés (*revenue factor*)
- Esto constituye una innovación en la industria minera, acorde a las necesidades actuales del mercado y el entendimiento que se tiene hoy de los riesgos y su afectación sobre de definición de las reservas

DERIVACIÓN DE PLANES MINEROS ESTRATÉGICOS CON RIESGO

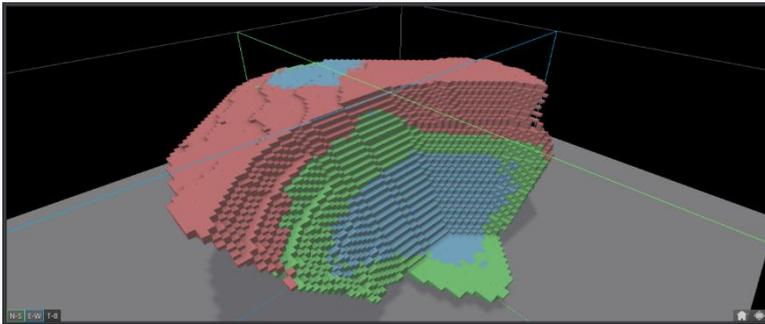
- DeepMine 4.0 permite derivar macrosecuencias de explotación considerando todos los riesgos anteriores, permitiendo generar además opciones reales con respecto a los destinos de los bloques e inversiones de ajuste en capacidad
- La incorporación de riesgos en la generación de planes mineros estratégicos permite derivar macrosecuencias robustas y *ad hoc* al perfil de riesgo de la compañía



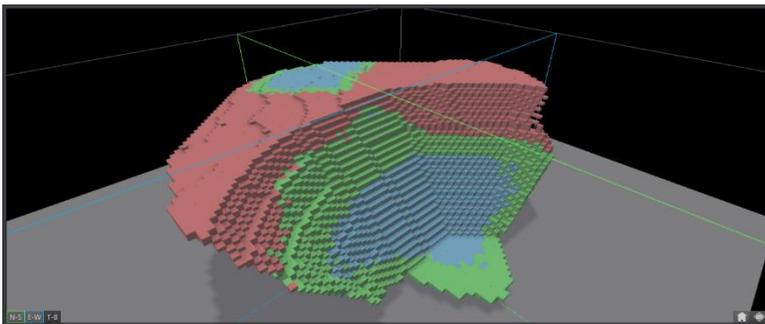
DERIVACIÓN DE PLANES MINEROS ESTRATÉGICOS CON RIESGO (CONT.)



Destinos de bloques
escenario pesimista

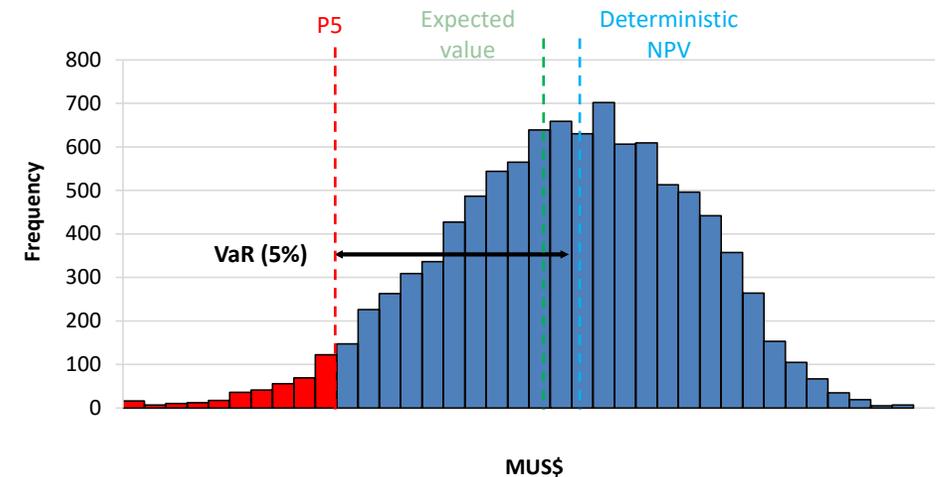
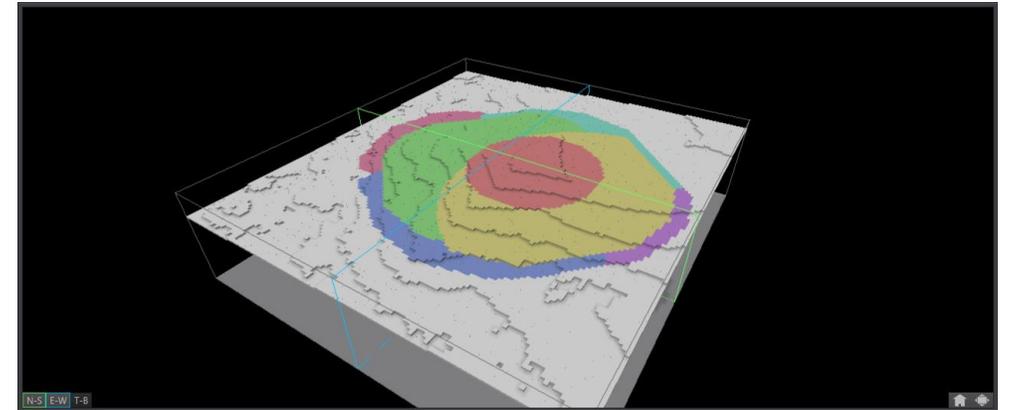


Destinos de bloques
escenario esperado



Destinos de bloques
escenario optimista

■ Plantas ■ Botaderos ■ Stocks



LA ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS Y MACROSECUENCIA DE EXPLOTACIÓN BAJO INCERTIDUMBRE YA ES UNA REALIDAD

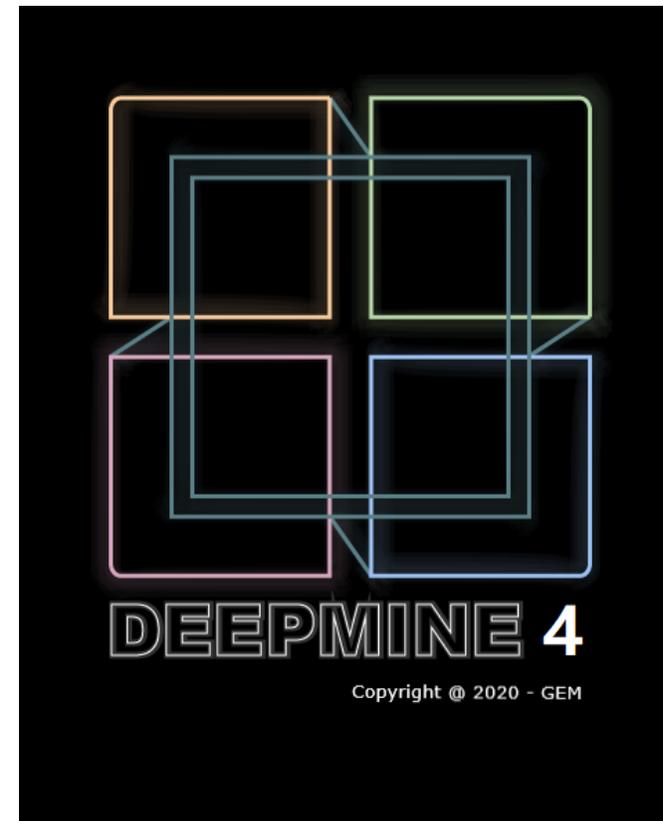
- El uso de *risk factor* constituye un cambio de paradigma frente al uso tradicional del *revenue factor*
 - Con esta nueva metodología es posible derivar los *pits* con un cierto nivel de confianza y su probabilidad de ocurrencia, lo que tiene fuertes implicancias para efectos de declaración de reservas
 - El número de iteraciones en la simulación no constituye aumentos significativos en los tiempos de solución, lo cual representa un elemento fundamental para aplicar esta solución en la práctica
- La inclusión de riesgos en etapas tempranas de la planificación permitiría generar diseños de mina más robustos, aumentar la confiabilidad de los planes y maximizar el valor seguro para los accionistas
- Además, la inclusión de riesgos en la planificación minera estratégica permitiría reducir el riesgo del portfolio de proyectos y minas en operación de una compañía minera

JUAN IGNACIO GUZMÁN

Gerente General

jiguzman@gem-ing.cl

¡Muchas gracias!



VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
0	20/08/2020	Versión original	JIG	FG	JIG