Generación y Análisis de Planes Mineros Estratégicos Utilizando Algoritmos Evolutivos Genéticos

Fabián Toro G

Octubre 2016

Paper Original de Christie Myburgh y Steve Craig – Maptek Australia

Motivación

- Los problemas reales de planificación, dada su complejidad, son difíciles de manejar en un tiempo razonable.
- Existen muchas herramientas buenas, pero son difíciles de configurar y demoran mucho tiempo en entregar resultados.
- El objetivo es generar y analizar diferentes planes mineros donde se maximice el valor presente neto a través de una política de leyes de corte y una secuencia de extracción para una mina a cielo abierto.
- Este trabajo muestra la innovadora forma en que los algoritmos evolutivos son combinados con los conceptos de búsqueda local y programación lineal para proponer una solución a lo anterior descrito, esta solución es Maptek Evolution Strategy.

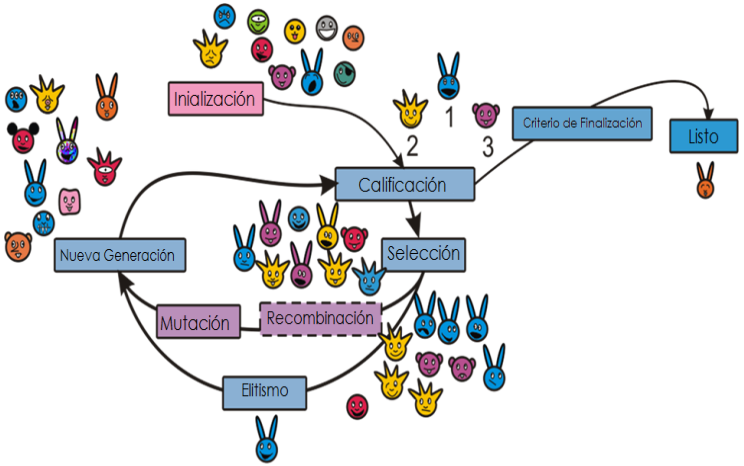
Optimización de Ley de Corte

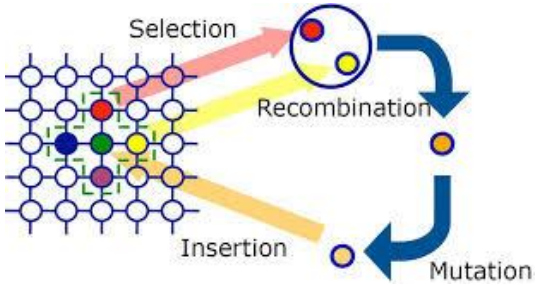
- Kenneth Lane propuso un marco de referencia para modelar este problema.
- El algoritmo maximiza el VAN de un proyecto tomando en cuenta el valor del dinero bajo tres restricciones, Mina, Planta y Refinería.
- Objetivo: Max VAN

Algoritmos Evolutivos

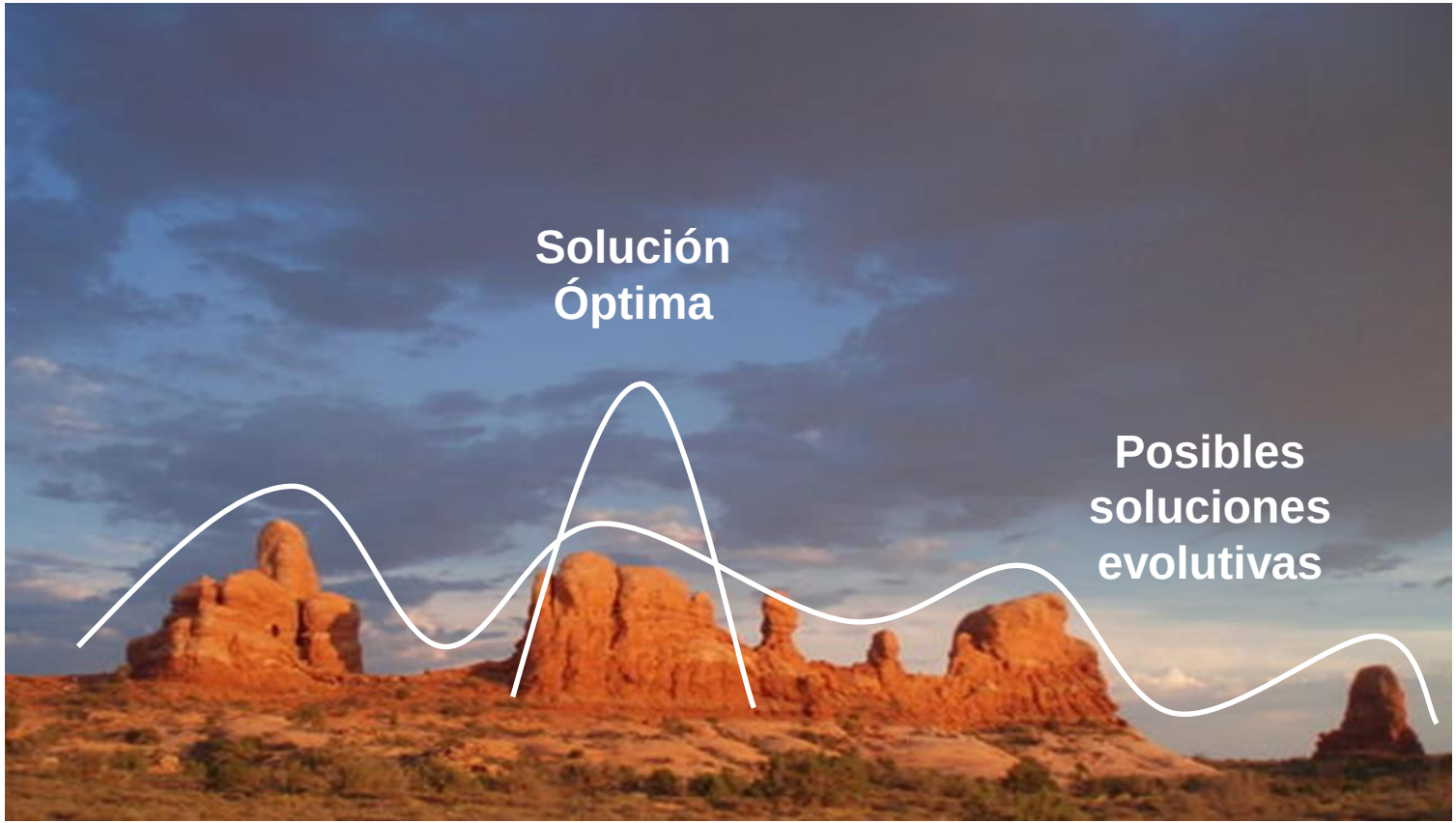
- Los algoritmos evolutivos son métodos de optimización y búsqueda de soluciones basados en los postulados de la evolución biológica. En ellos se mantiene un conjunto de entidades que representan posibles soluciones, las cuales se mezclan, y compiten entre sí, de tal manera que las más aptas son capaces de prevalecer a lo largo del tiempo, evolucionando hacia mejores soluciones cada vez.

- Los algoritmos evolutivos, y la computación evolutiva, son una rama de la inteligencia artificial. Son utilizados principalmente en problemas con espacios de búsqueda extensos y no lineales, en donde otros métodos no son capaces de encontrar soluciones en un tiempo razonable.





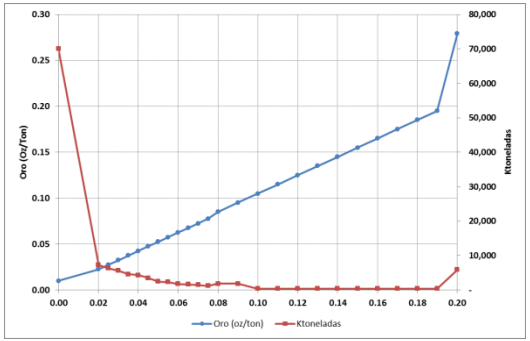
En busca del óptimo



Modelo

- El objetivo de la optimización de ley de corte en Maptek Evolution - Strategy es maximizar el VAN bajo restricciones de capacidad, múltiples procesos, múltiples minas y secuencias de extracción.
- Información Base:
  - Fases de extracción
  - Capacidades (Mina, Planta, Refinería) por periodo.
  - Modelo Económico (Costos) y Precios.
  - Reservas Mineras.
    - Curva Tonelaje ley es calculada para cada mina/fase/banco/litología.

Evolution vs Lane Optipit



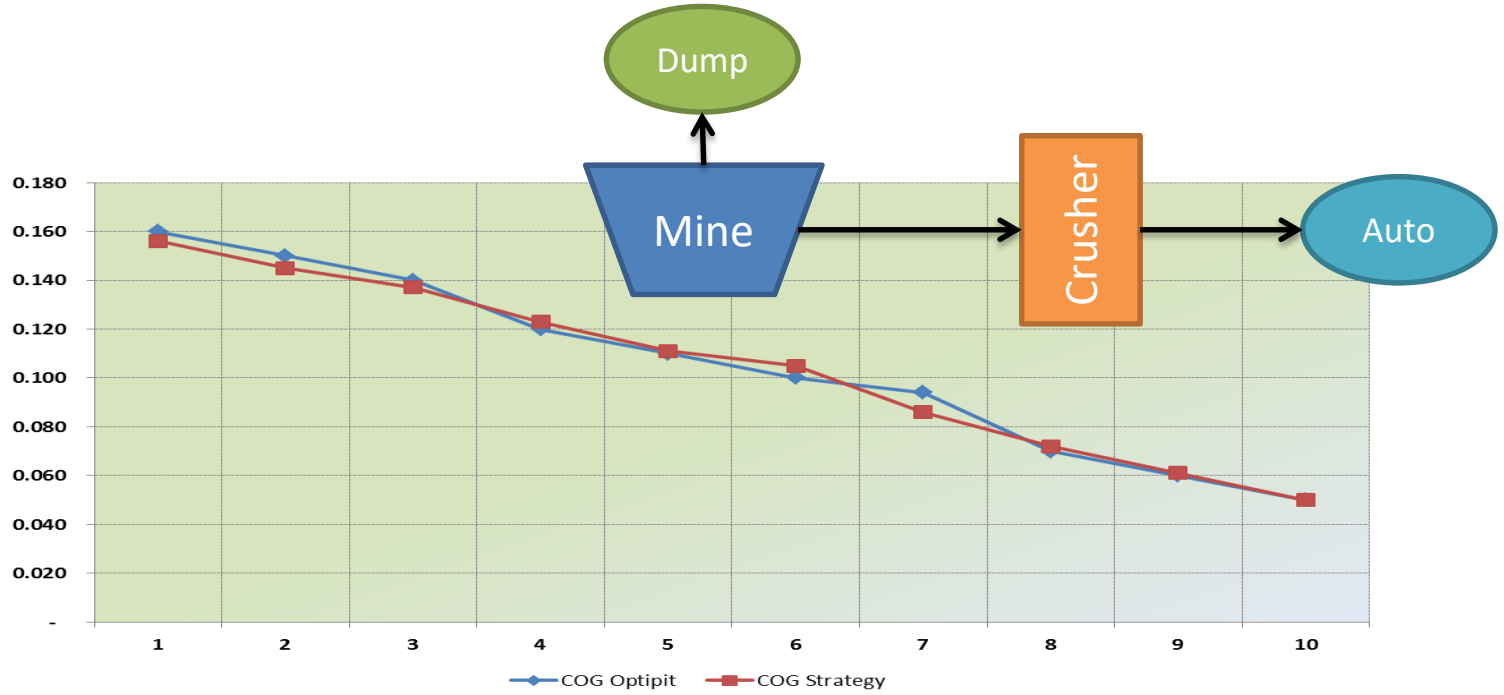
Parametros	Sigla	Valor	Unidad
Precio	(P)	600	$/oz
Costo Venta	(s)	5	$/oz
Costo Proceso	(c)	19	$/ton Mineral
Recuperacion	(y)	0.9	
Costo Mina	(m)	1.2	$/ton
Costos Fijos	(fa)	8.35	$/año
Capacidad Mina	(M)	Unlimited	
Capacidad Proceso	(C)	1.05	tonnes
Tasa de Descuento	(d)	15	%

“Value Creation Through Strategic Mine Planning and Cutoff Grade Optimization”

SME Annual Meeting
K. Dagdelen CSM
K Kawahata CSM
Feb25-28, 2007
Denver Colorado

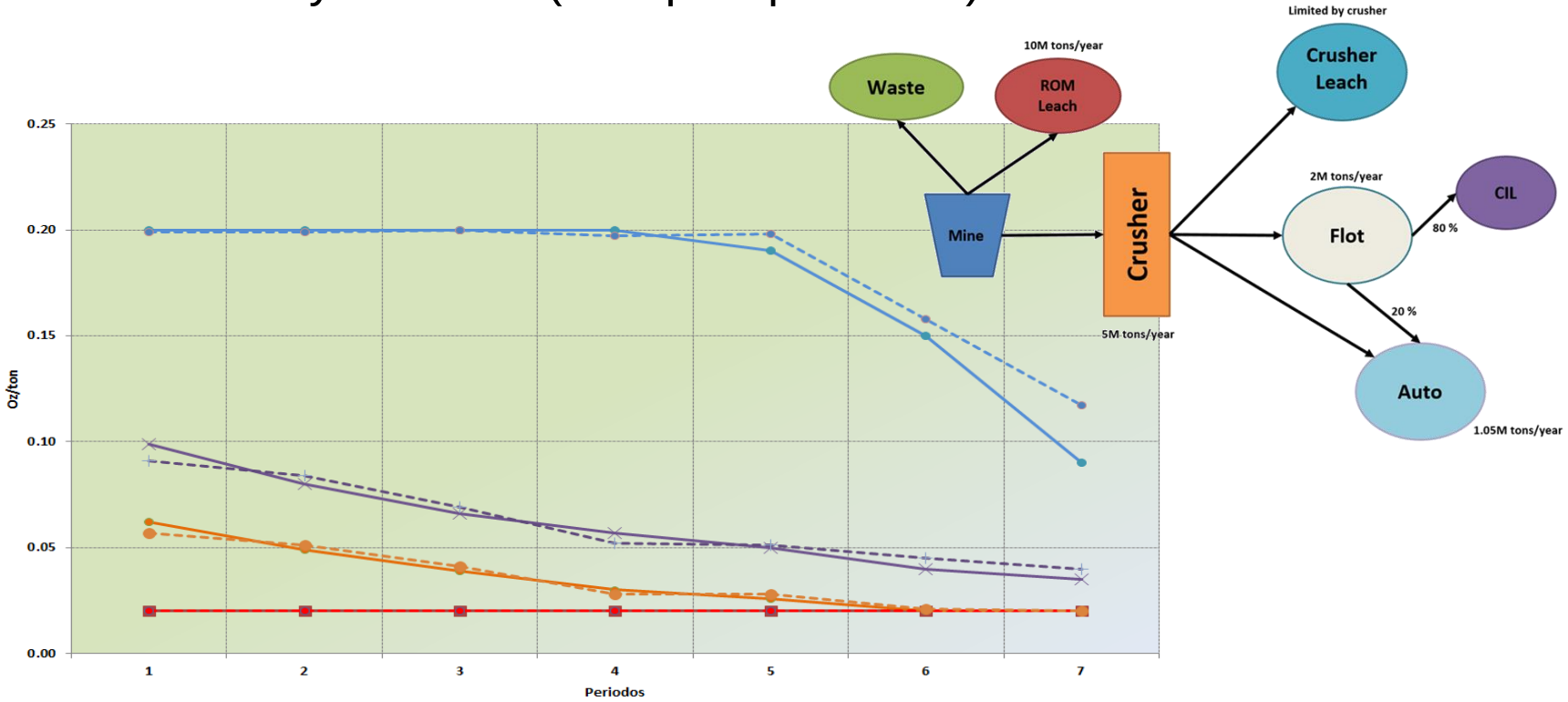
Caso 1

- Gráfico Ley de Corte (1 proceso)

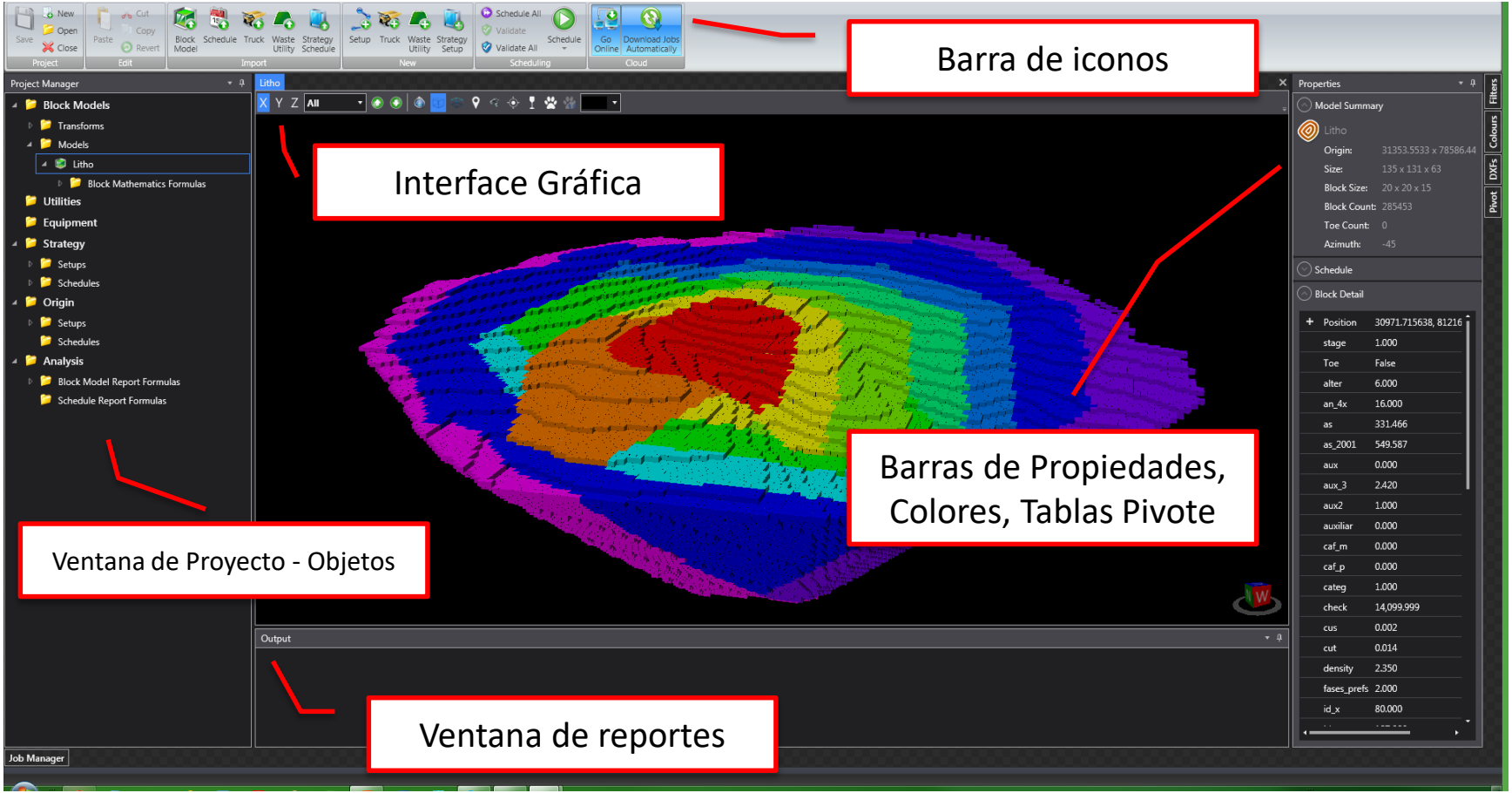


Caso 2

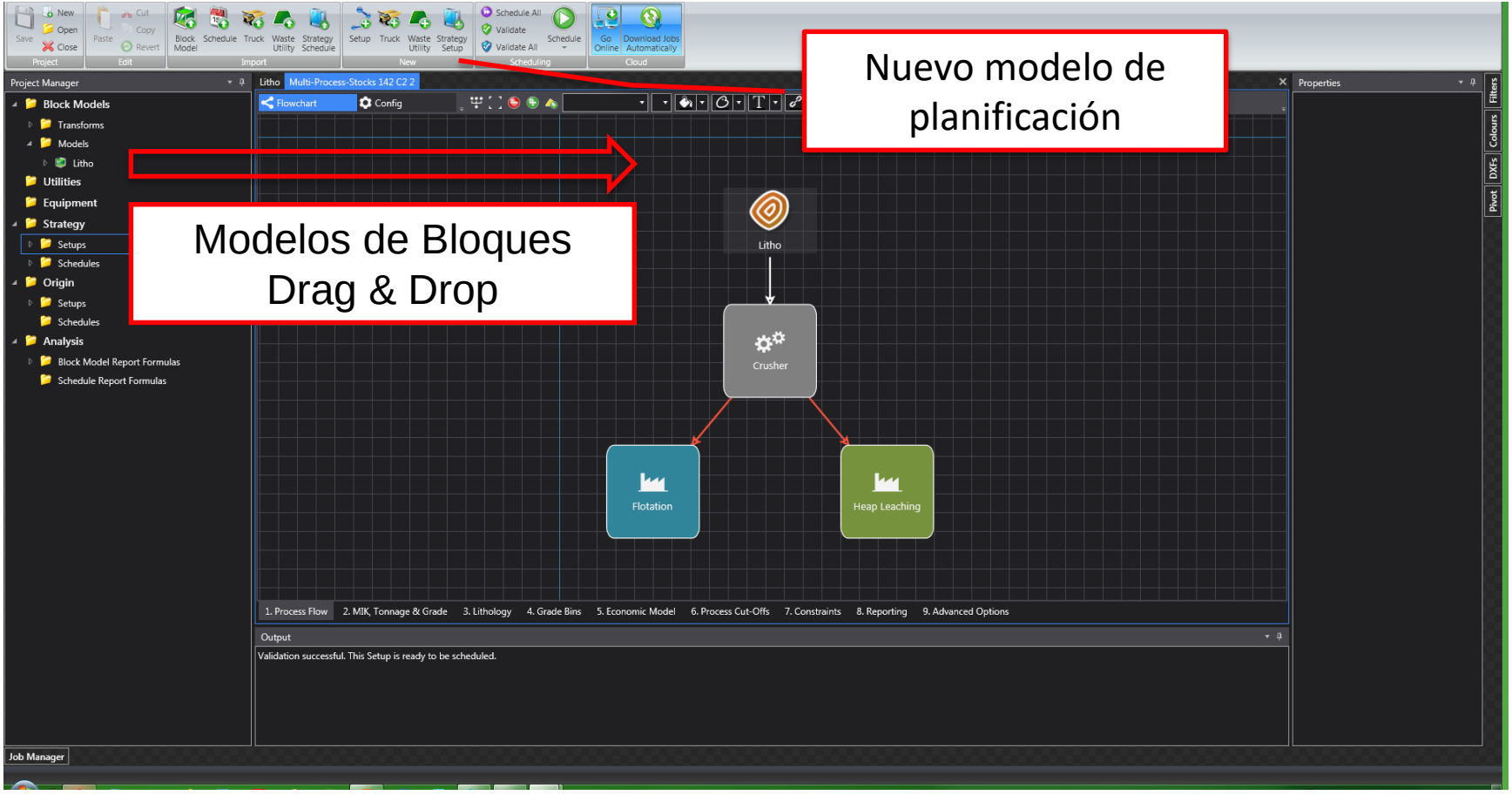
- Gráfico Ley de Corte (múltiples procesos)



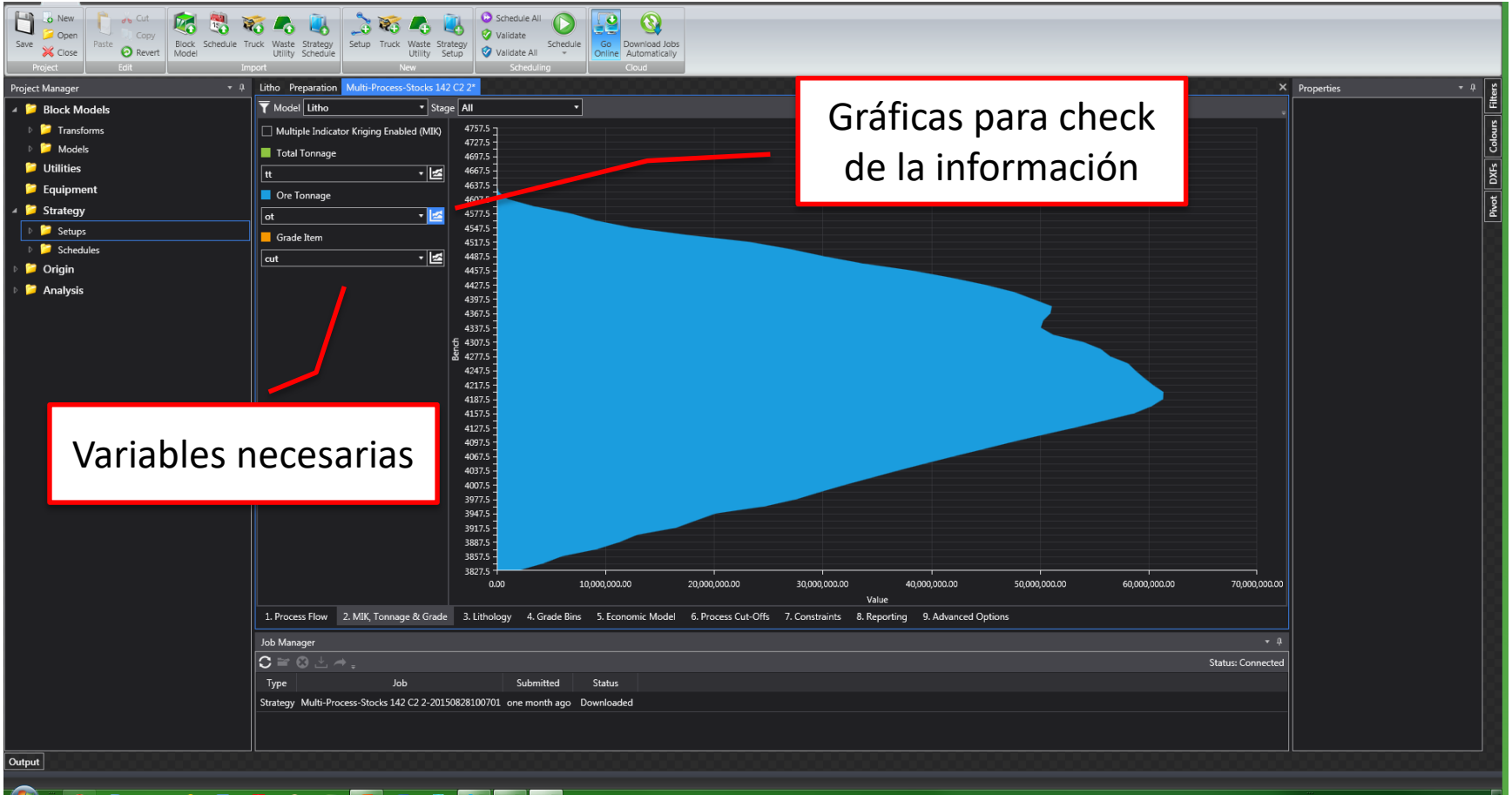
Esto es Evolution



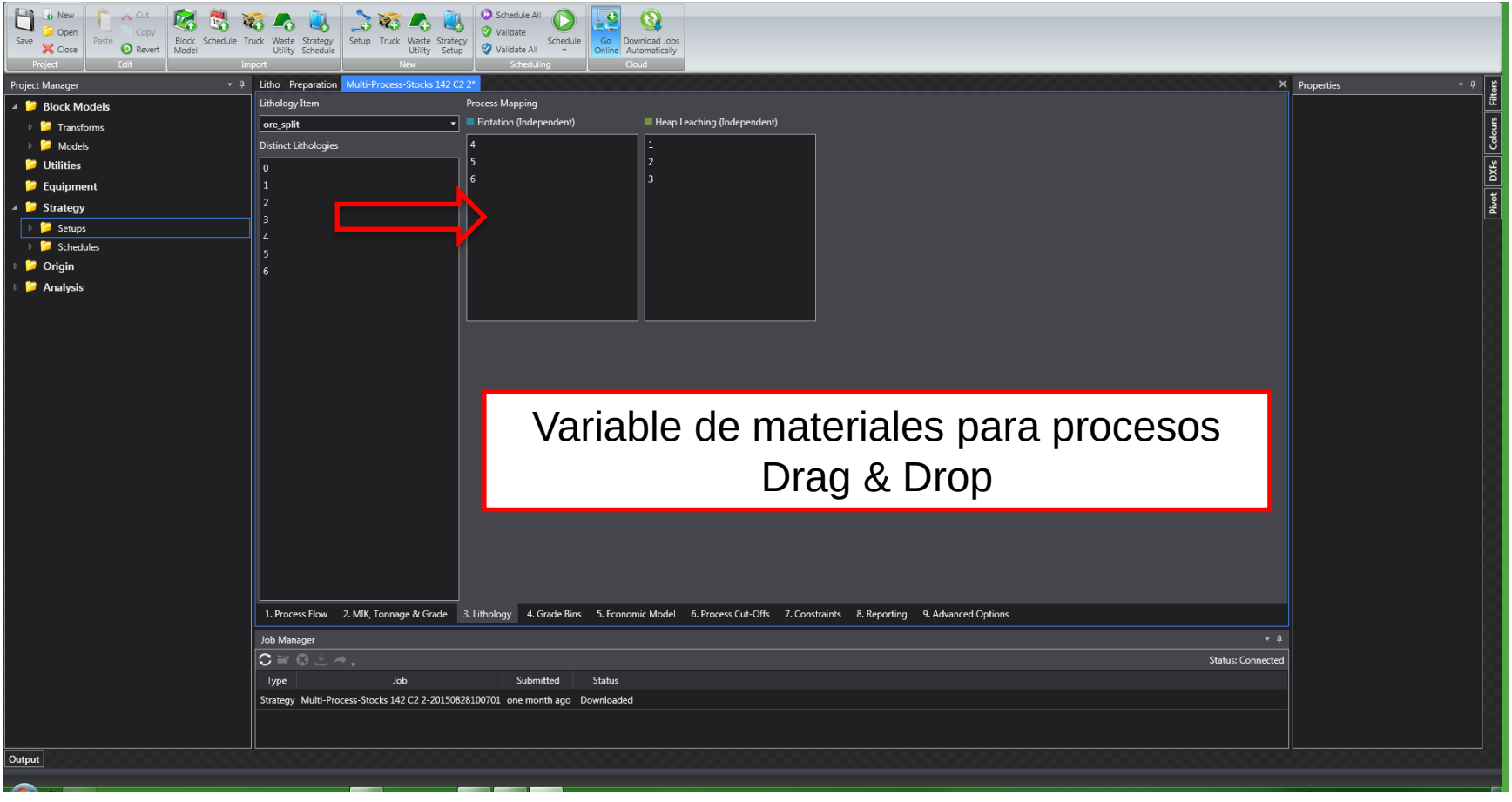
Simple – Drag and Drop



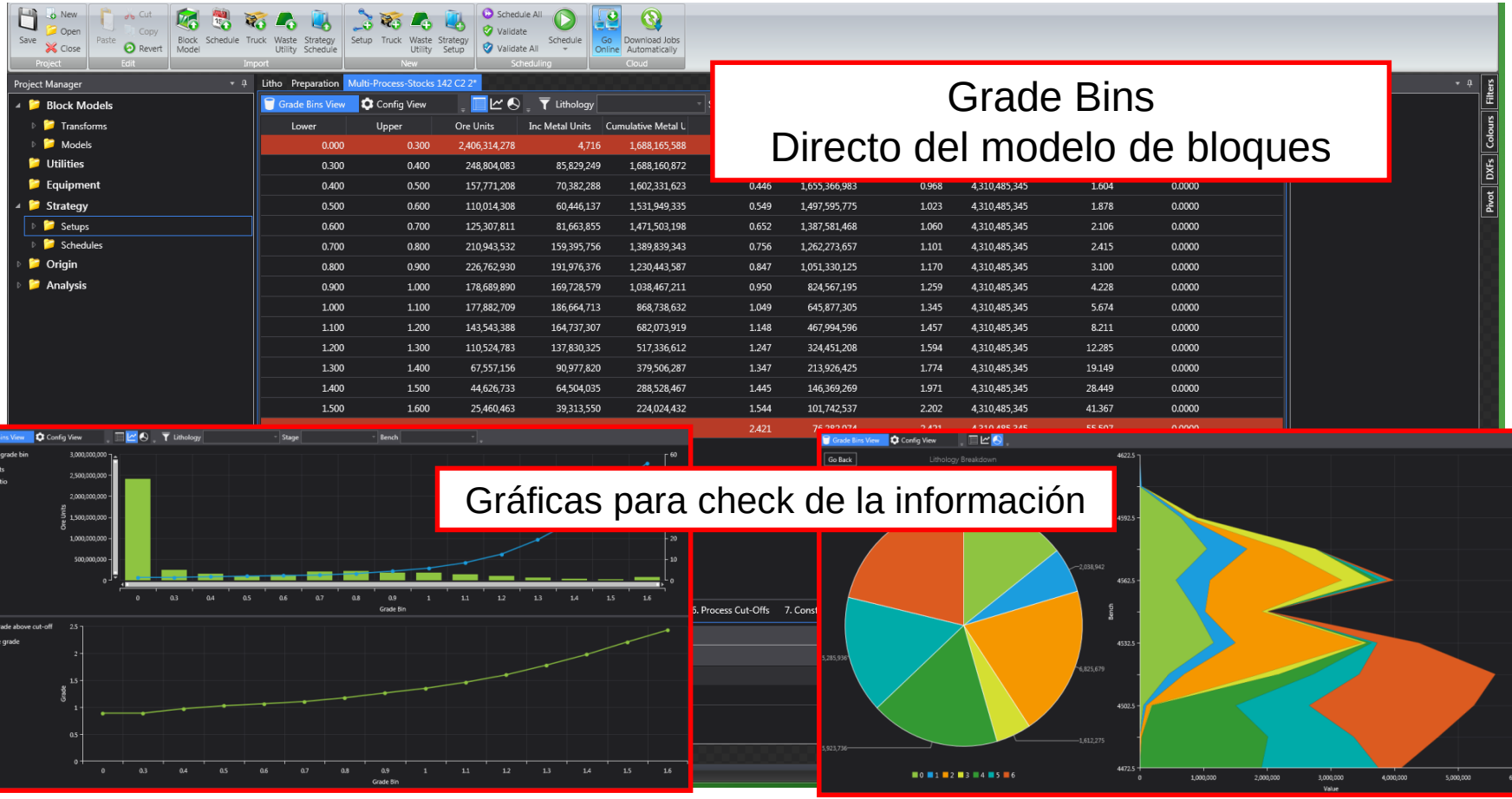
Auditable


Gráficas para check de la información
Variables necesarias
Project Manager
Block Models
Transforms
Models
Utilities
Equipment
Strategy
Setups
Schedules
Origin
Analysis
Litho Preparation
Multi-Process-Stocks 142 C2 2*
Model Litho
Stage All
Multiple Indicator Kriging Enabled (MIK)
Total Tonnage
tt
Ore Tonnage
ot
Grade Item
cut
Bench
Value
1. Process Flow
2. MIK, Tonnage & Grade
3. Lithology
4. Grade Bins
5. Economic Model
6. Process Cut-Offs
7. Constraints
8. Reporting
9. Advanced Options
Job Manager
Status: Connected
Type
Job
Submitted
Status
Strategy
Multi-Process-Stocks 142 C2 2-20150828100701
one month ago
Downloaded
Properties
Output

Litos - Directo desde el modelo de bloques



Bins – Directo desde el modelo de bloques



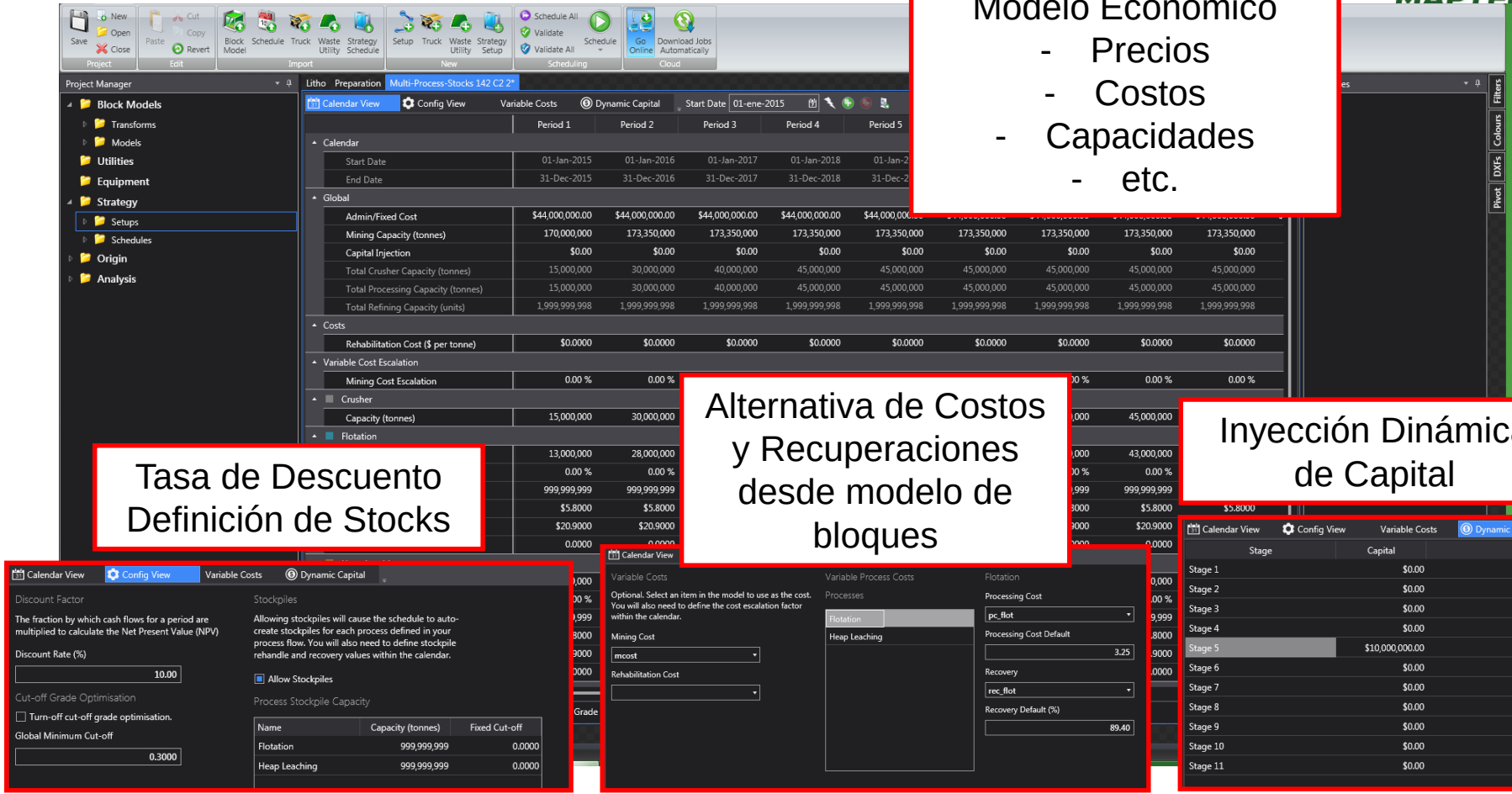
Simple – Modelo Económico

Modelo Económico
- Precios
- Costos
- Capacidades
- etc.

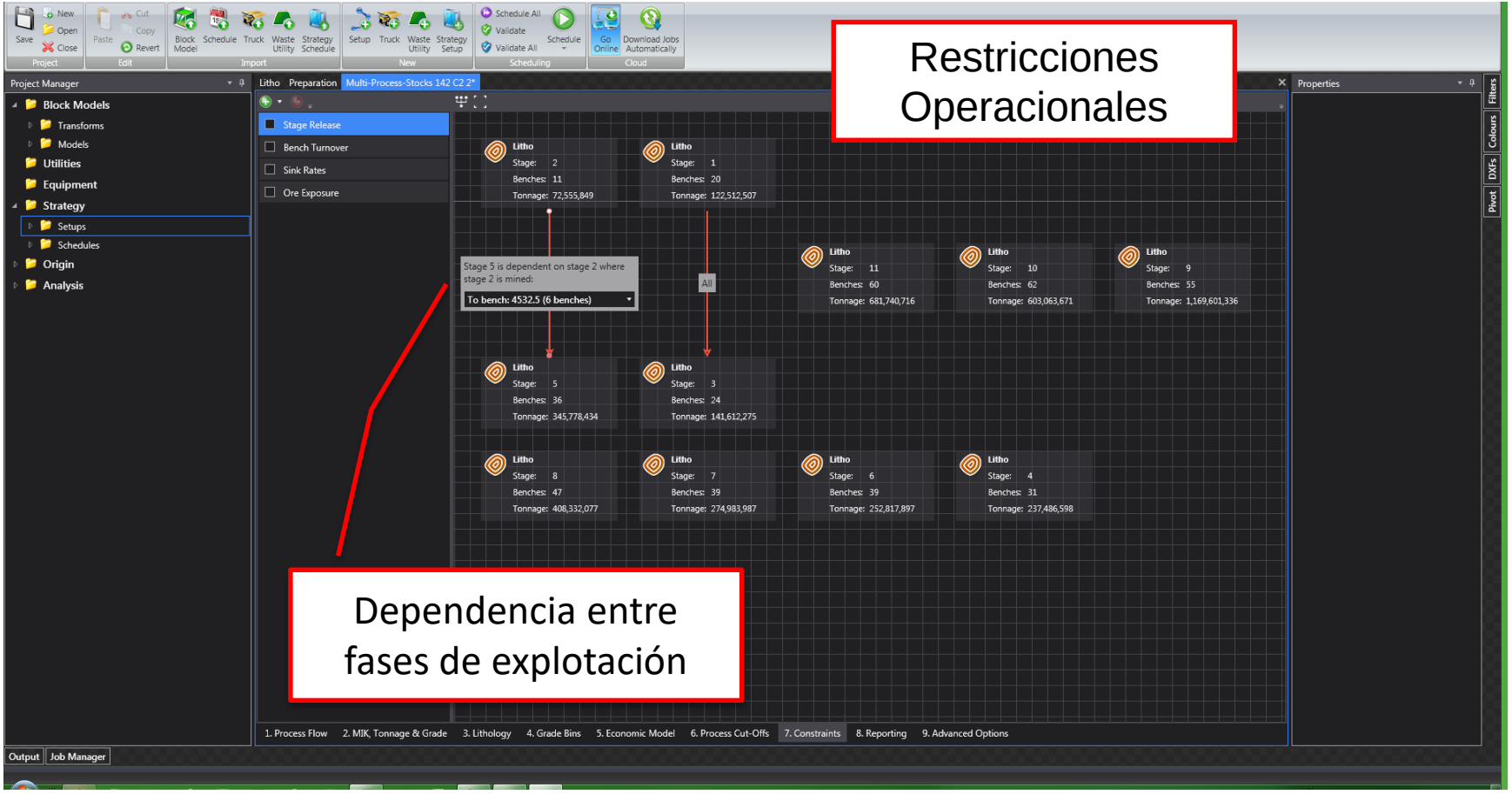
Tasa de Descuento
Definición de Stocks

Alternativa de Costos y Recuperaciones desde modelo de bloques

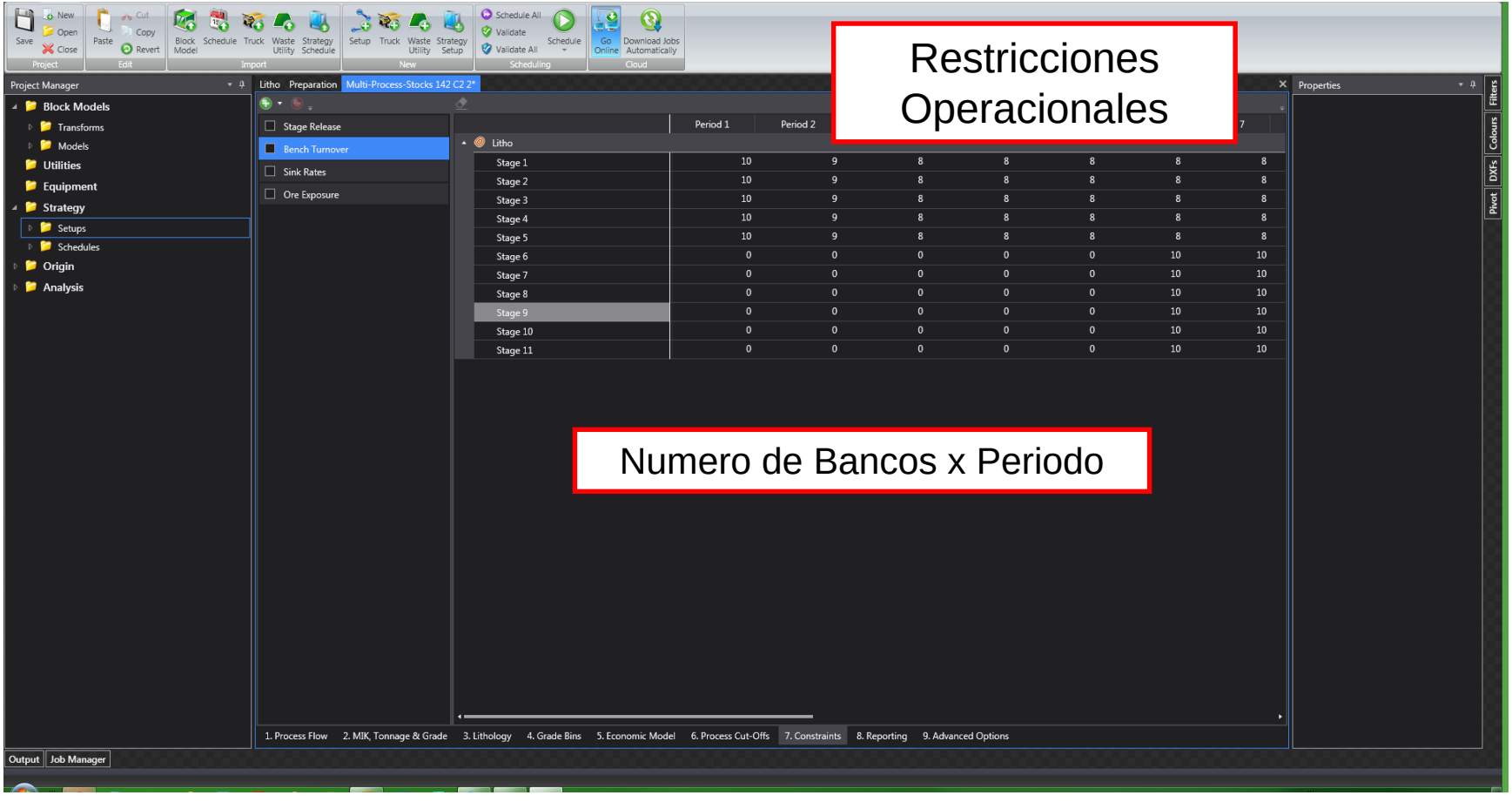
Inyección Dinámica de Capital



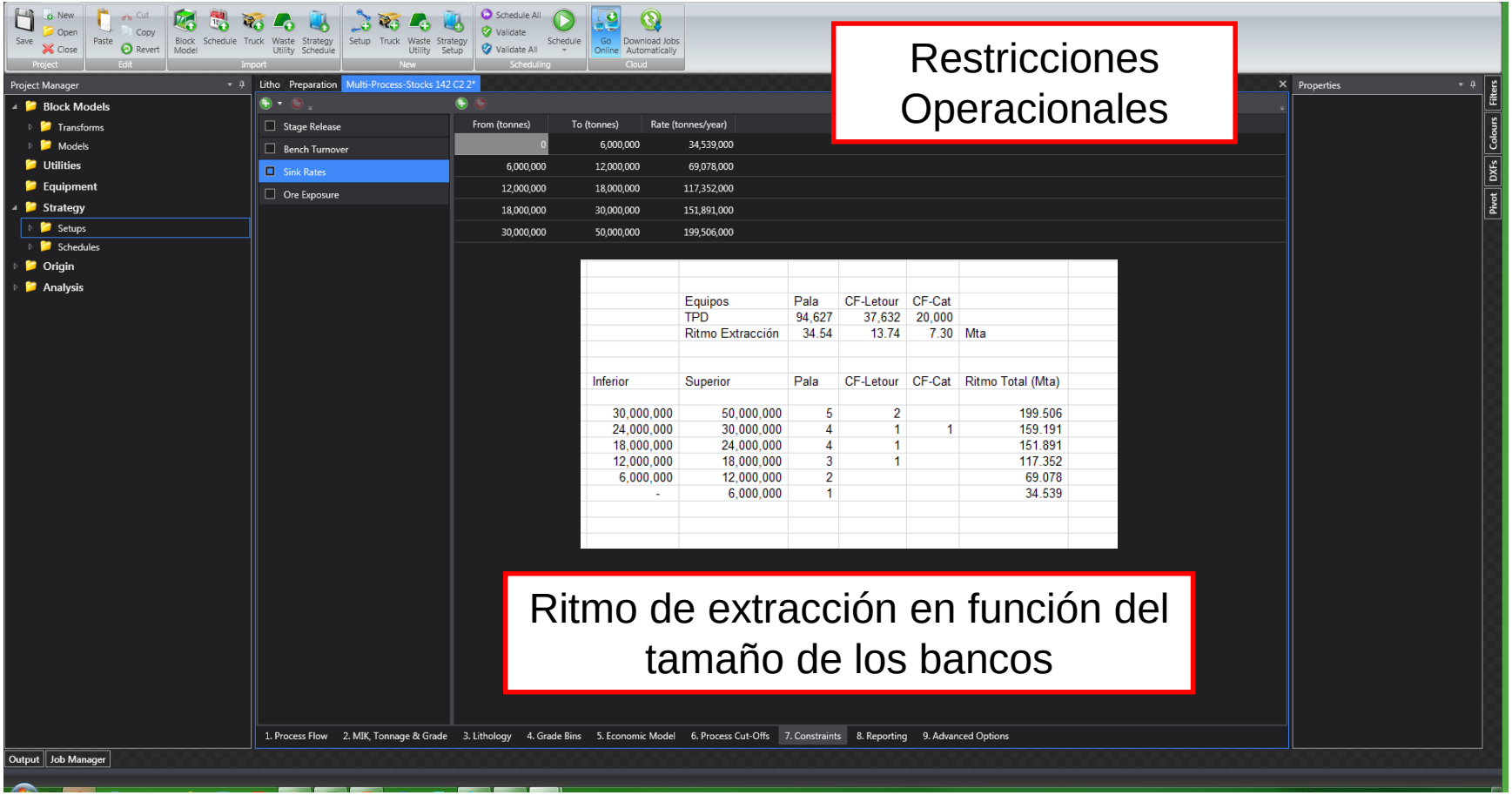
Restricciones



Restricciones



Restricciones

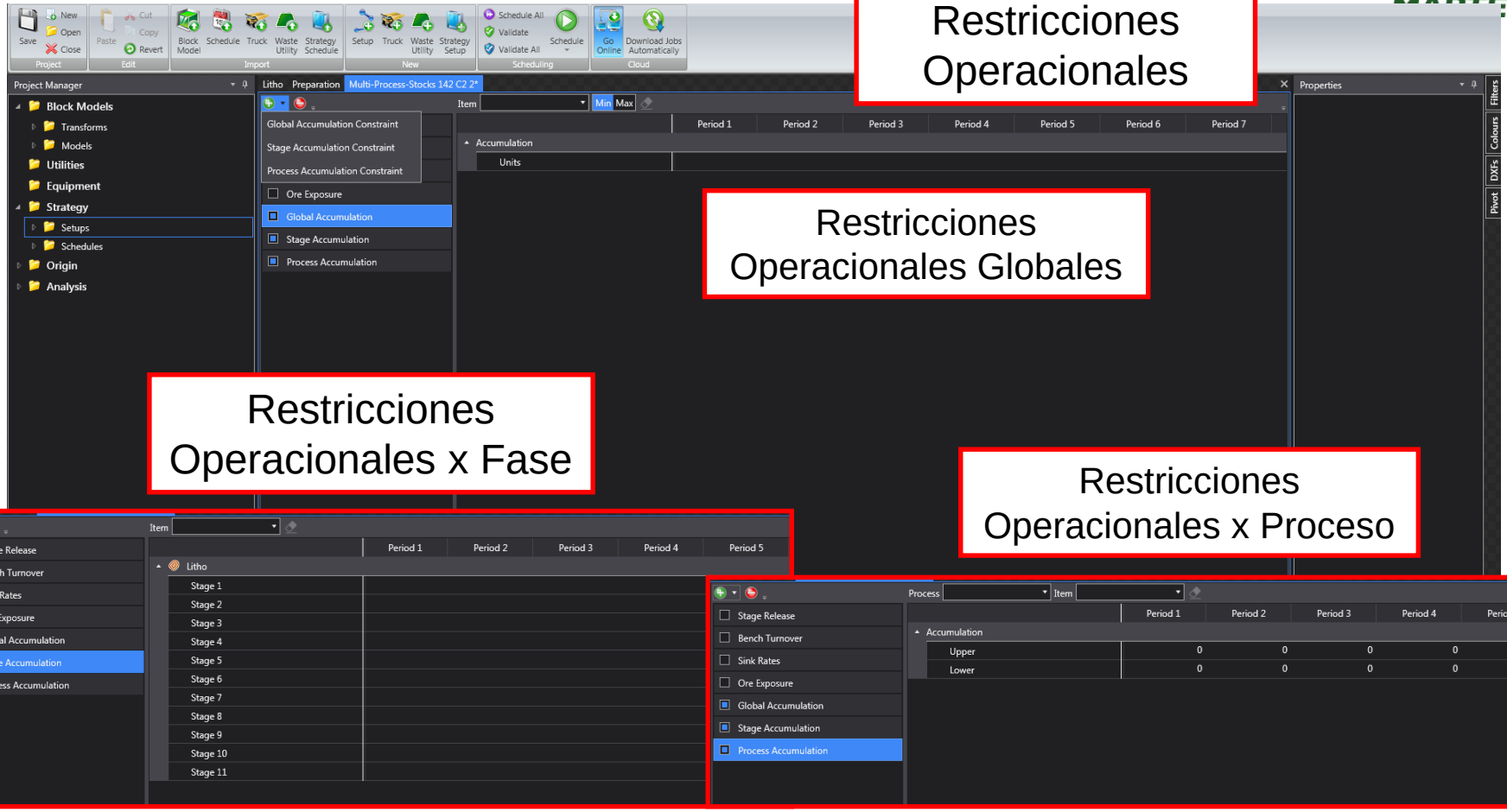


	Equipos	Pala	CF-Letour	CF-Cat	
	TPD	94,627	37,632	20,000	
	Ritmo Extracción	34.54	13.74	7.30	Mta

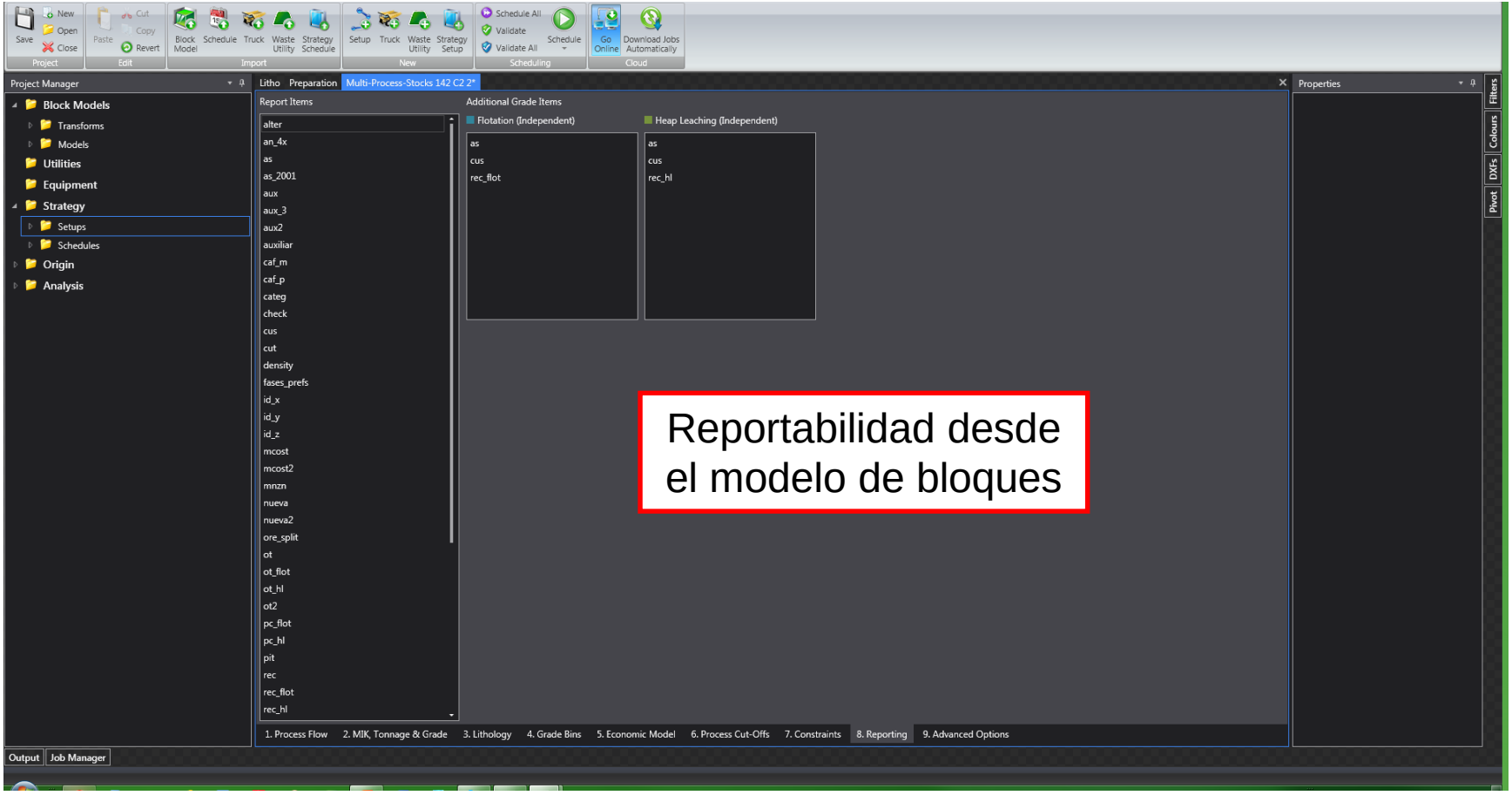
Inferior	Superior	Pala	CF-Letour	CF-Cat	Ritmo Total (Mta)
30,000,000	50,000,000	5	2		199.506
24,000,000	30,000,000	4	1	1	159.191
18,000,000	24,000,000	4	1		151.891
12,000,000	18,000,000	3	1		117.352
6,000,000	12,000,000	2			69.078
-	6,000,000	1			34.539

Ritmo de extracción en función del tamaño de los bancos

Restricciones

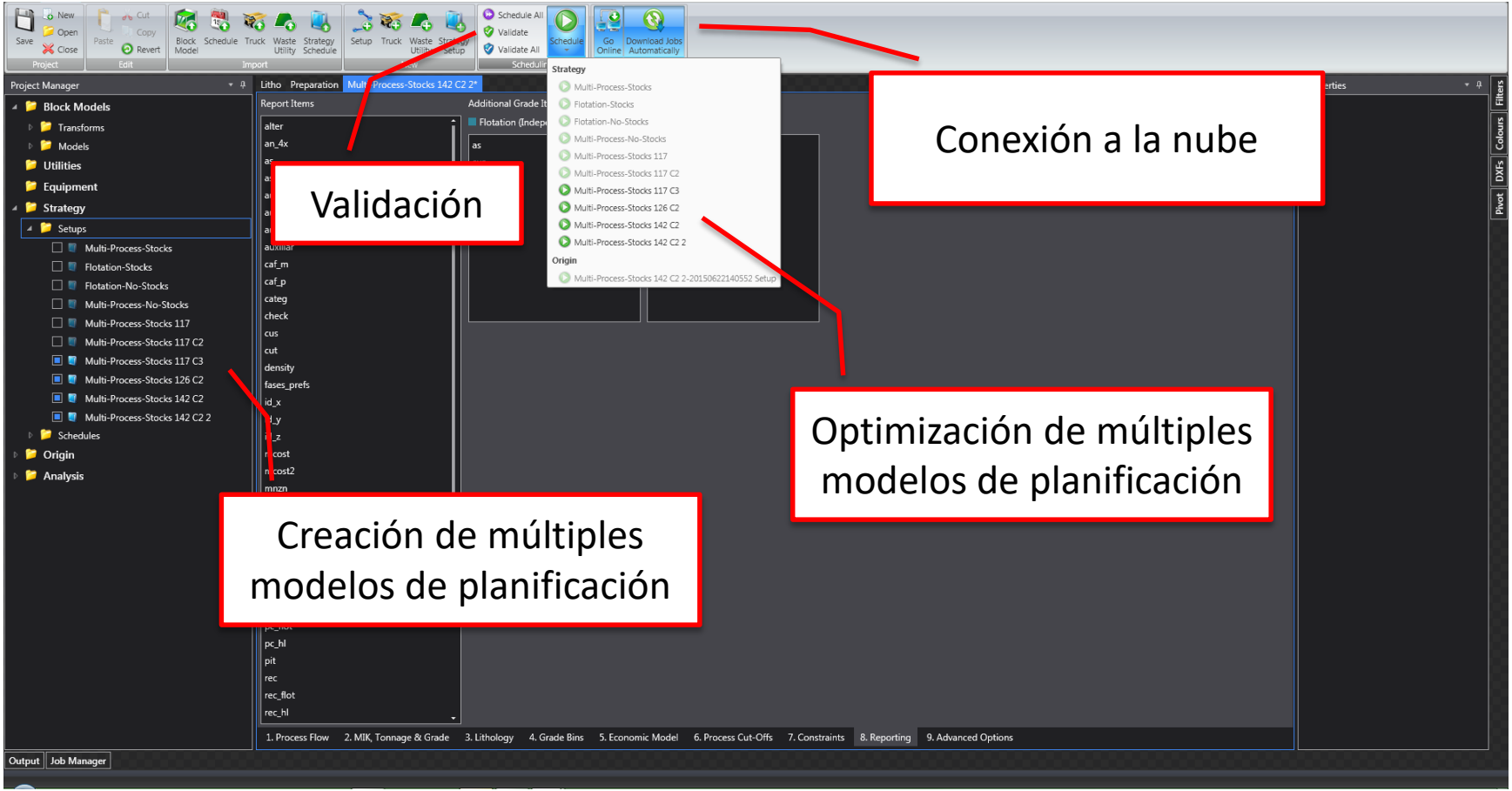


Reportabilidad



Reportabilidad desde el modelo de bloques

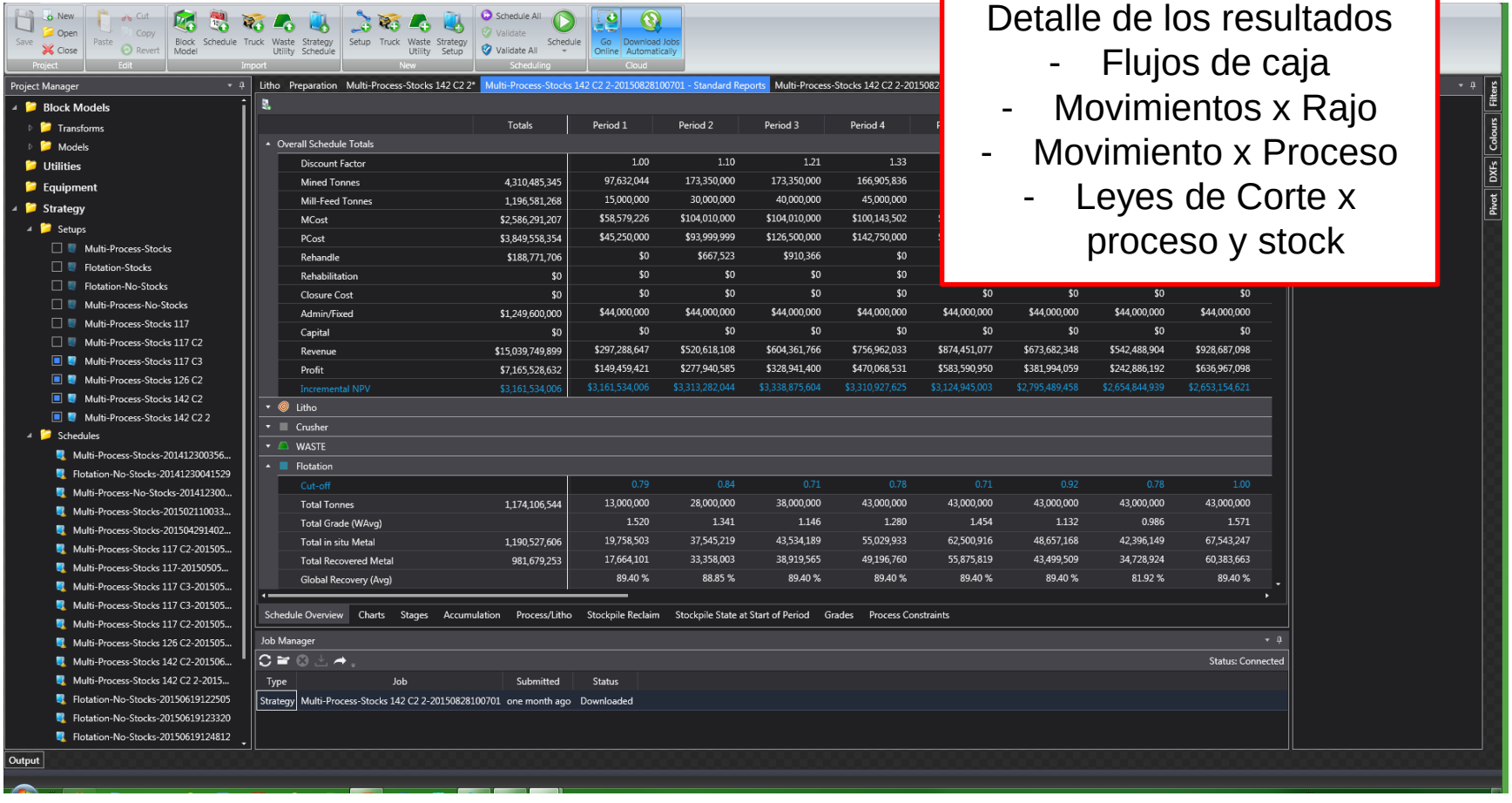
Optimización



Feedback


Reportabilidad desde la nube
Descarga de resultados
Gen 26
Best NPV: 3,153,189,062
Worst NPV: 3,141,968,387
Feasible: Yes
Best NPV
Worst NPV
Best Violation
Feasible Ratio
Generation
Project Manager
Block Models
Strategy
Setups
Schedules
Job Manager
Status: Connected
Overview
Live Charts

Reportabilidad

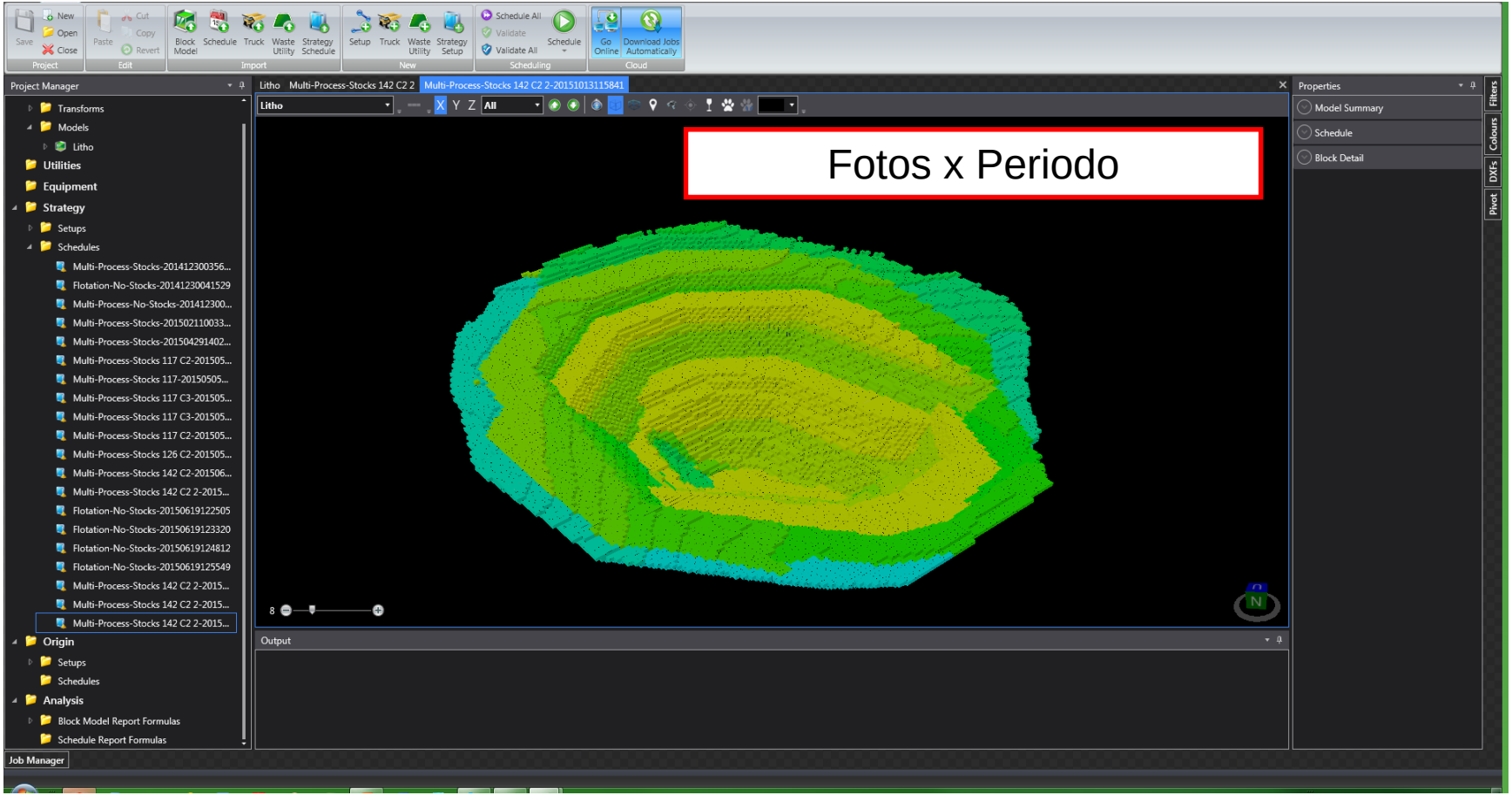


Reportabilidad

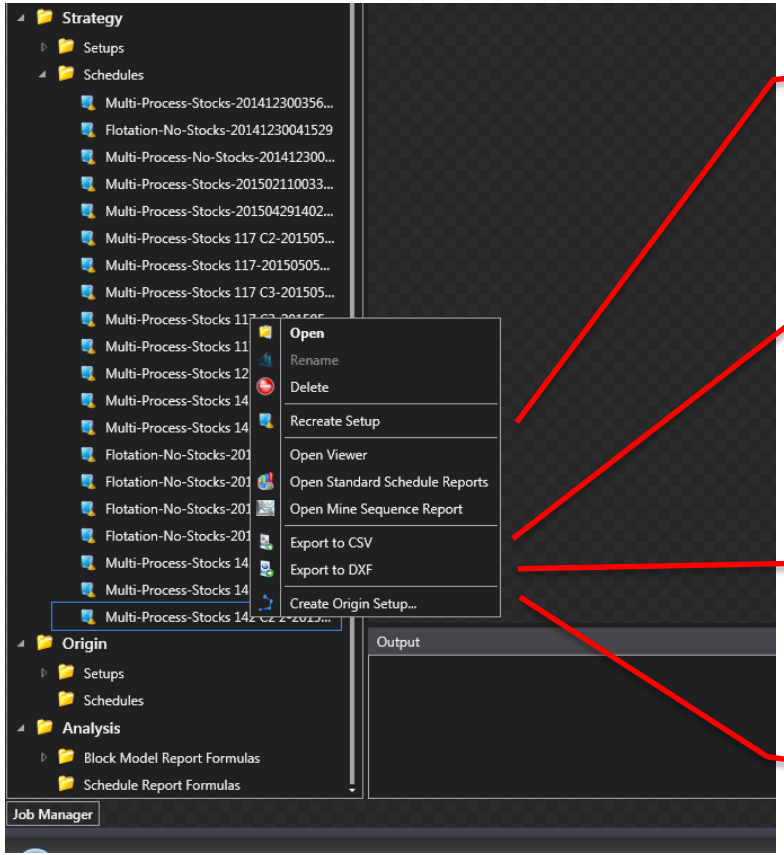
Detalle de los resultados
- Gráficas

Detalle de los resultados
- Secuencia de Fases
- Numero de bancos minados x periodo

Fotos x Periodo



Otras Características



Reconstruir configuración desde el resultado

Exportar modelo de bloques con variables del plan minero

Exportar
- Sólidos x periodo
- Fotos x Periodo

Crear desde el resultado de Strategy una configuración de Origin

Conclusiones

- Genera plan mineros
- Optimiza la ley de corte por periodo
- Interface orientada a objetos
- No requiere manejar cubicaciones o bases de datos adicionales (Excel, Access, etc.) ya que trabaja directo sobre modelo de bloques
- La configuración se hace de manera local, lo que permite utilizar los recursos del computador en otras tareas
- La optimización se realiza en la nube permitiendo una muy rápida obtención de resultados (solo minutos)

Conclusiones

- Incorpora conceptos económicos para agregar valor al proyecto (NPV, Inyección Dinámica de Capital, Precios y Costos variables en el tiempo, etc.)
- Incorpora conceptos mineros para generar planes operativos y factibles (numero de bancos por periodo, Sinking Rate, blending, etc.)
- Si el usuario pierde la configuración que realizó la puede recuperar desde el resultado
- No es solo datos numéricos (o planilla Excel), también hay gráficas que apoyan el entendimiento y desarrollo de los problemas
- Una gran variedad de reportes y animaciones
- Muy fácil de configurar
- Muy fácil de aprender
- Directa interacción con Vulcan

Conclusiones

- LO MÁS IMPORTANTE es que al ser fácil de configurar y rápido al obtener resultados **permite al usuario gastar su tiempo en el análisis de múltiples resultados** y no en la configuración del modelo

Gracias!!!

Fabián Toro G.
Gerente de Ventas
Maptek Sudamérica
fabian@maptek.cl
+56 9 98842526