
PLANIFICACION ESTOCASTICA: UNA METODOLOGIA PARA INCORPORAR LA INCERTIDUMBRE EN LOS PRECIOS FUTUROS DE LOS METALES

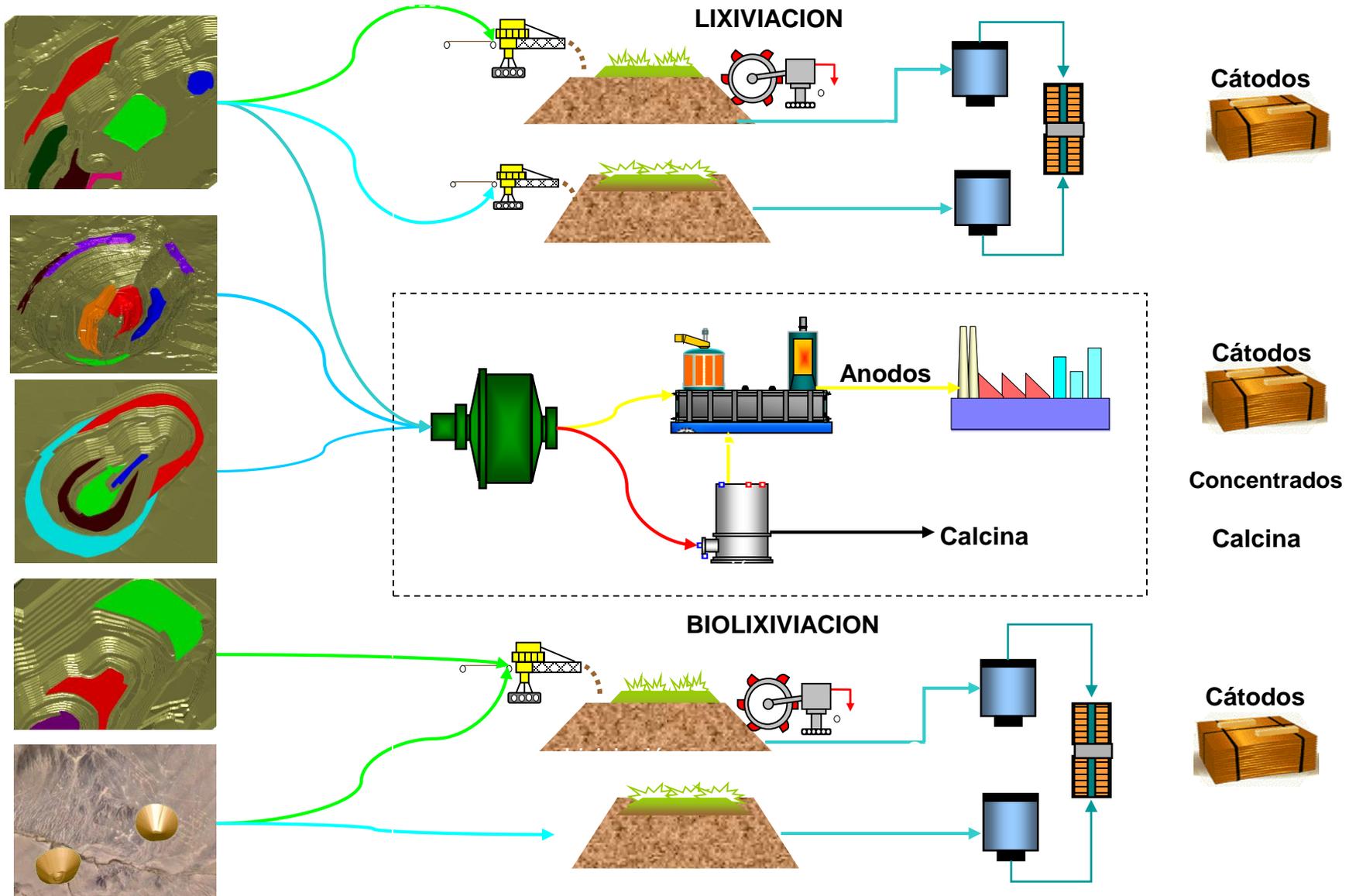
**MIGUEL ROMERO CASANOVA
GERENTE GENERAL MINE STRATEGY
MAIL:**

miguel.romero.casanova@gmail.com

Whatsapp: +56998375154

**AUTORES DEL PROYECTO:
CARLOS VILLA RAMOS
RAFAEL EPSTEIN**

- **EL PROBLEMA DE OPTIMIZACION**
- **EL MODELO DE OPTIMIZACION**
- **PLANIFICACION DETERMINISTICA.**
- **PLANIFICACION ESTOCÁSTICA.**
- **UN EJEMPLO PRACTICO APLICADO AL YACIMIENTO QUETENA**



- **EL PROBLEMA DE OPTIMIZACION**

- **EL MODELO DE OPTIMIZACION**

- **PLANIFICACION DETERMINISTICA.**

- **PLANIFICACION ESTOCÁSTICA.**

- **UN EJEMPLO PRACTICO APLICADO AL YACIMIENTO QUETENA**

- Herramienta de planificación estratégica MULTIMINE.
- Resuelve el problema considerando múltiples minas y múltiples procesos de manera integral.
- Requiere la interacción activa de operadores y planificadores de minas y plantas.

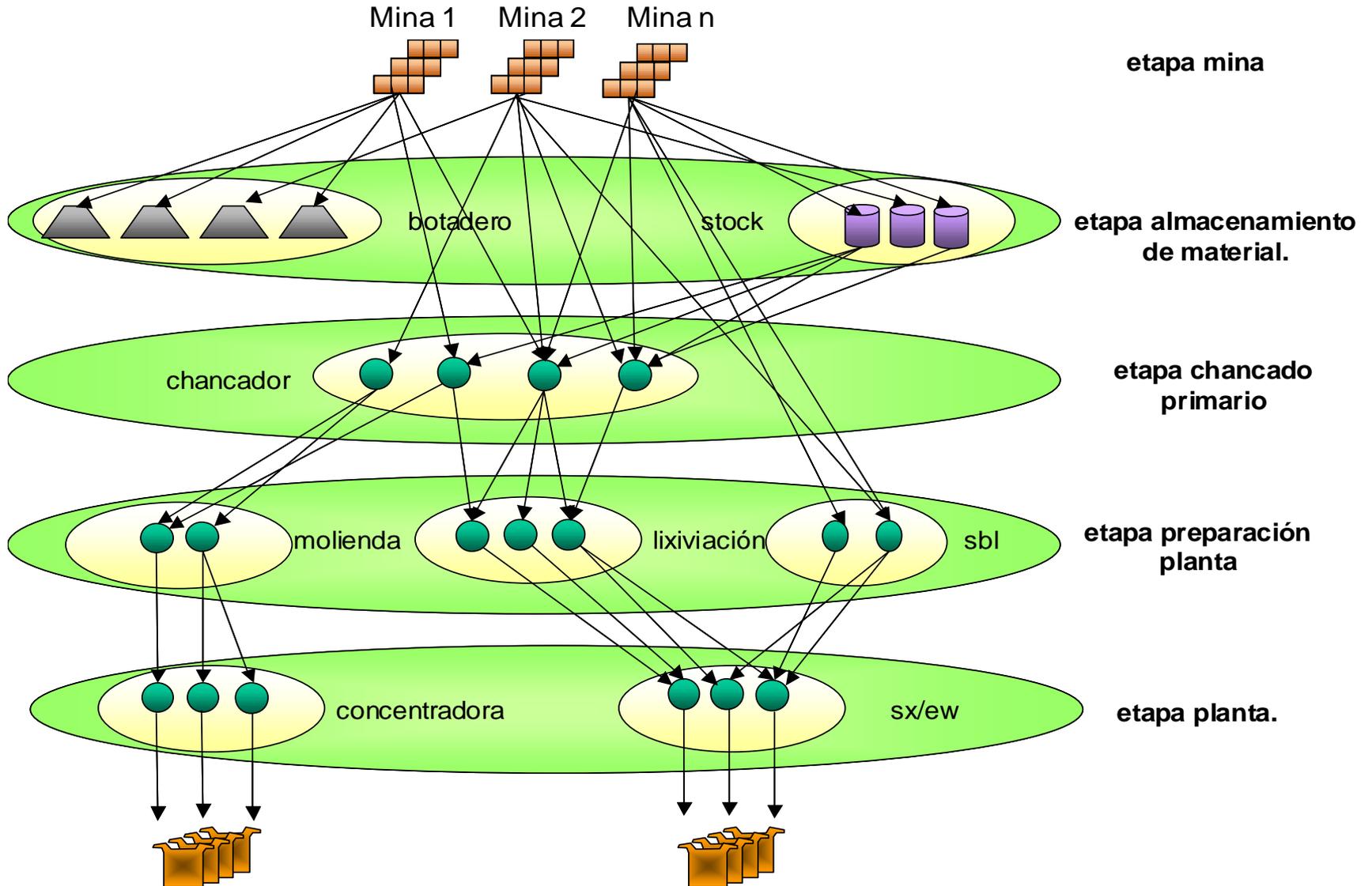
- Uso de programación lineal mixta
- Problema de diseño de flujo de redes capacitadas
- Planificación conjunta minas-plantas (línea sulfuros, línea de óxidos, biolixiviación y procesamiento de materiales de baja ley)
- En la decisión se considera simultáneamente:
 - Varios productos: cobre, molibdeno, plata, oro, etc.
 - Restricciones de contaminantes: arsénico.
 - Manejo de stocks
 - Transporte de materiales
 - Inversiones en equipos principales: Camiones, Palas y Perforadoras

Datos de entrada:

- recurso minero (cubicaciones, ritmos máximos, precedencias).
- factores económicos y tecnológicos (inversiones, costos fijos y variables, capacidades, recuperaciones metalurgicas)
- normativas/políticas (restricciones ambientales, etc.)

Decisiones:

- ¿Qué recursos extraer? → definir reservas
- ¿En qué instante hacerlo?
- ¿Cuándo realizar inversiones?
- ¿Cómo procesar?
- ¿Cuánto procesar?
- ¿Capacidades?



- Función objetivo:
-

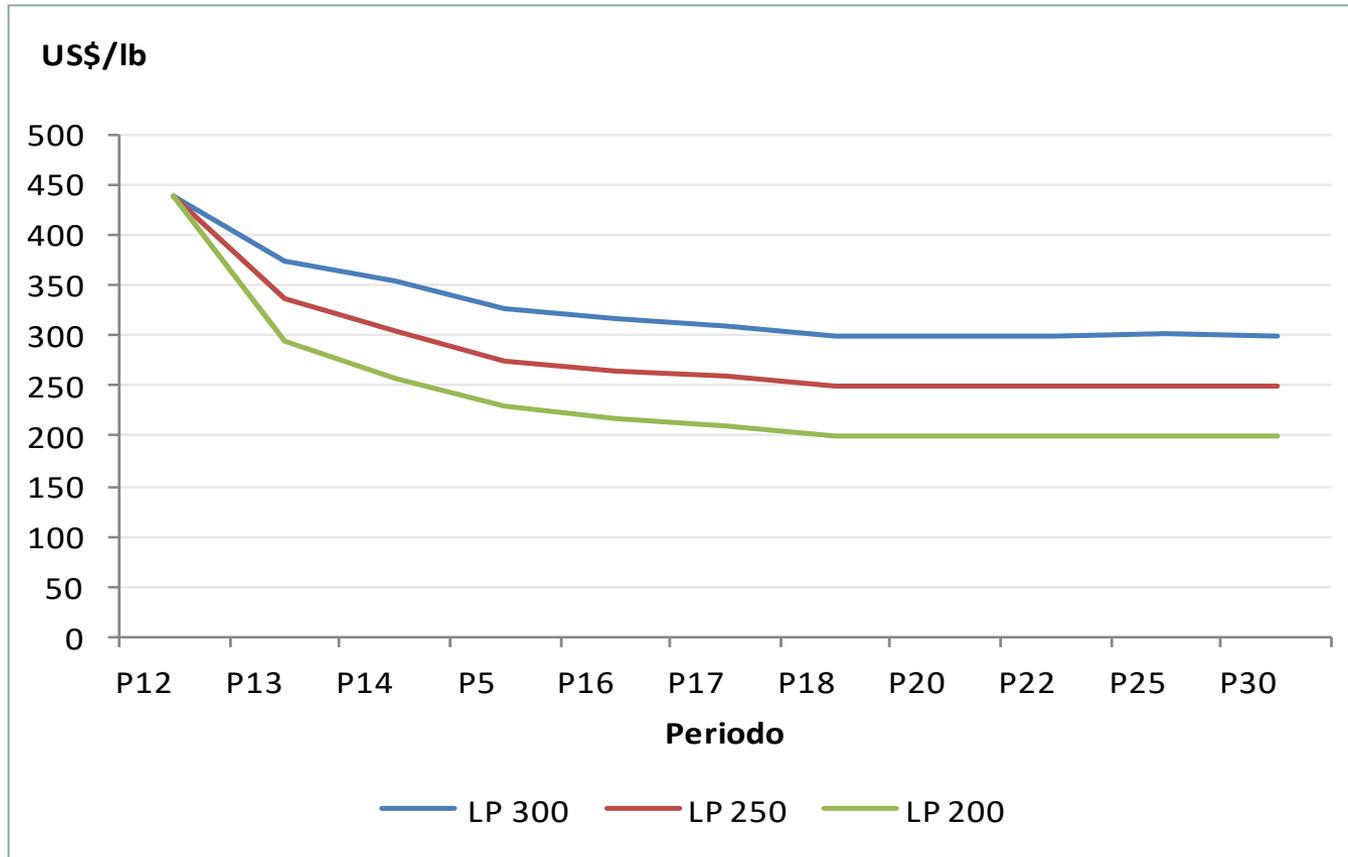
Maximizar el valor presente de los flujos futuros de la explotación del negocio

- Beneficios: Ingresos venta de productos y subproductos.
- Costos: Extracción, transporte y procesos en planta
- Inversiones: Nuevos proyectos (instalaciones). El modelo considera la compra de camiones, palas y perforadoras de acuerdo a las consideraciones técnicas de los equipos.

$$\text{Max F.O.} = \text{Beneficios} - \text{Costos variables} - \text{Costos fijos} - \text{Inversiones}$$

-
- **EL PROBLEMA DE OPTIMIZACION**
 - **EL MODELO DE OPTIMIZACION**
 - **PLANIFICACION DETERMINISTICA.**
 - **PLANIFICACION ESTOCÁSTICA.**
 - **UN EJEMPLO PRACTICO APLICADO AL YACIMIENTO QUETENA**

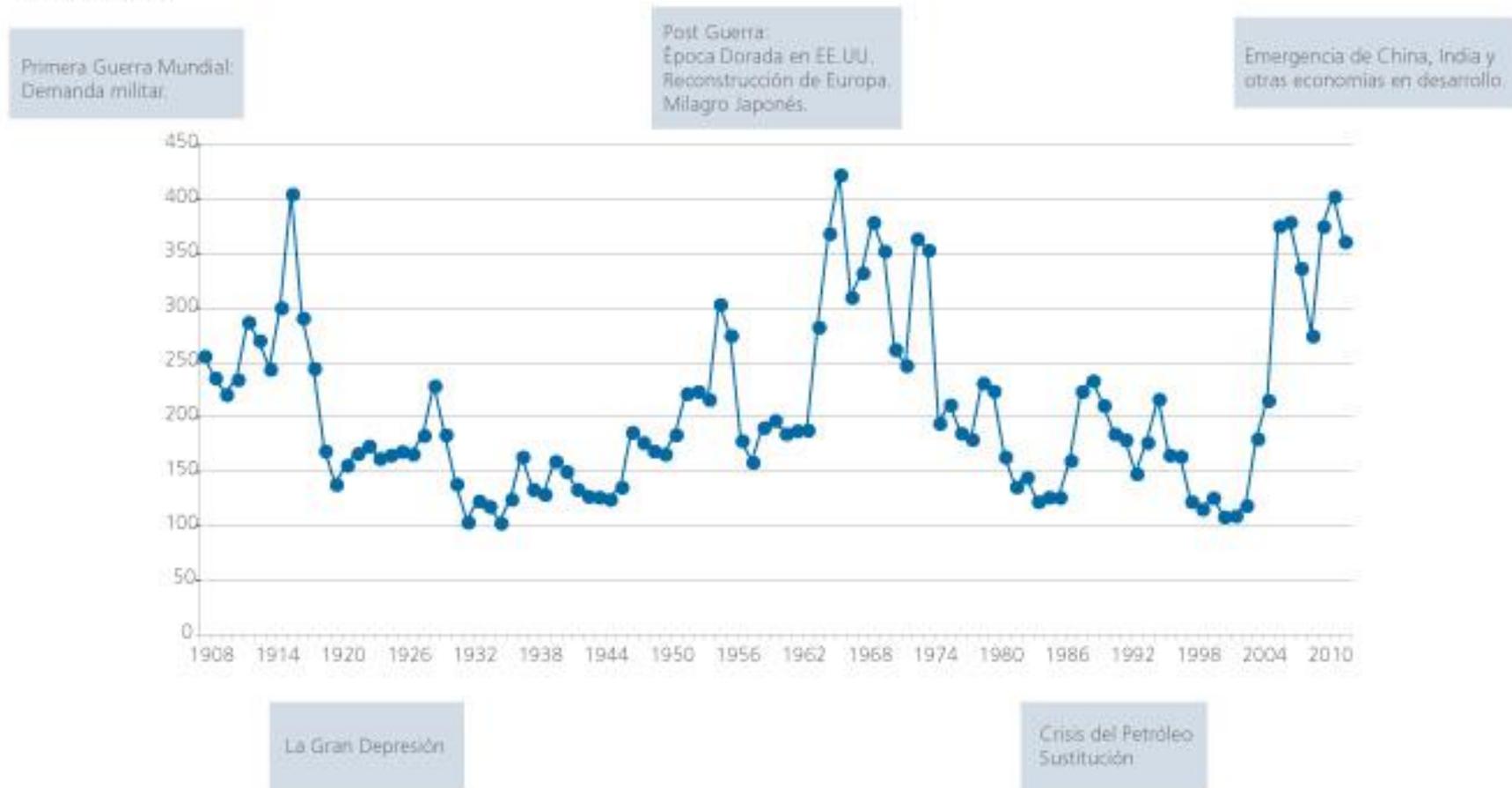
ESTIMACION DE SERIE DE PRECIOS DEL COBRE LARGO PLAZO

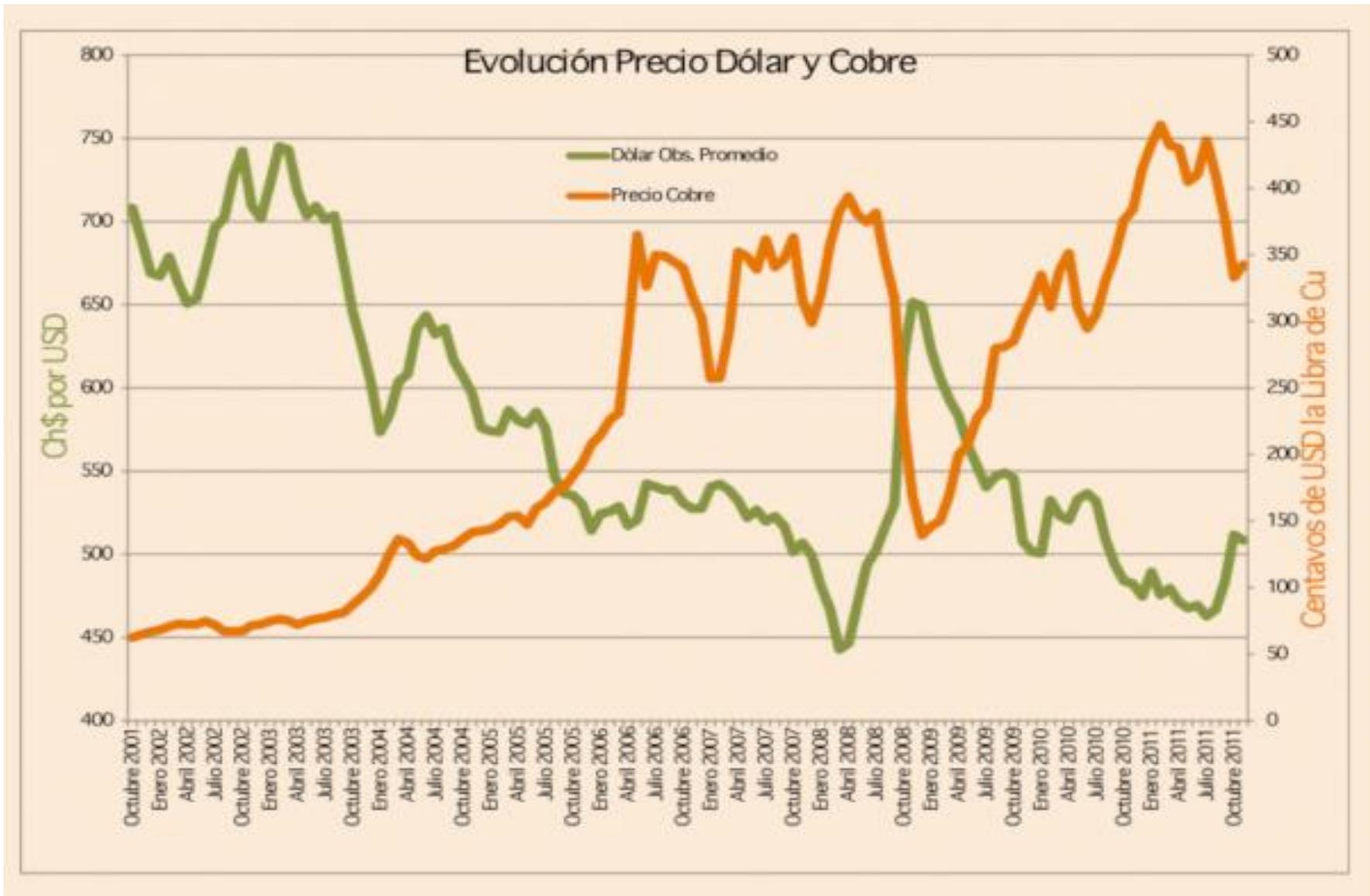


- **EL PROBLEMA DE OPTIMIZACION**
- **EL MODELO DE OPTIMIZACION**
- **PLANIFICACION DETERMINISTICA.**
- **PLANIFICACION ESTOCÁSTICA.**
- **UN EJEMPLO PRACTICO APLICADO AL YACIMIENTO QUETENA**

Precio del cobre y cambios estructurales de la demanda

1908-2012 (¢/lb, moneda 2012)

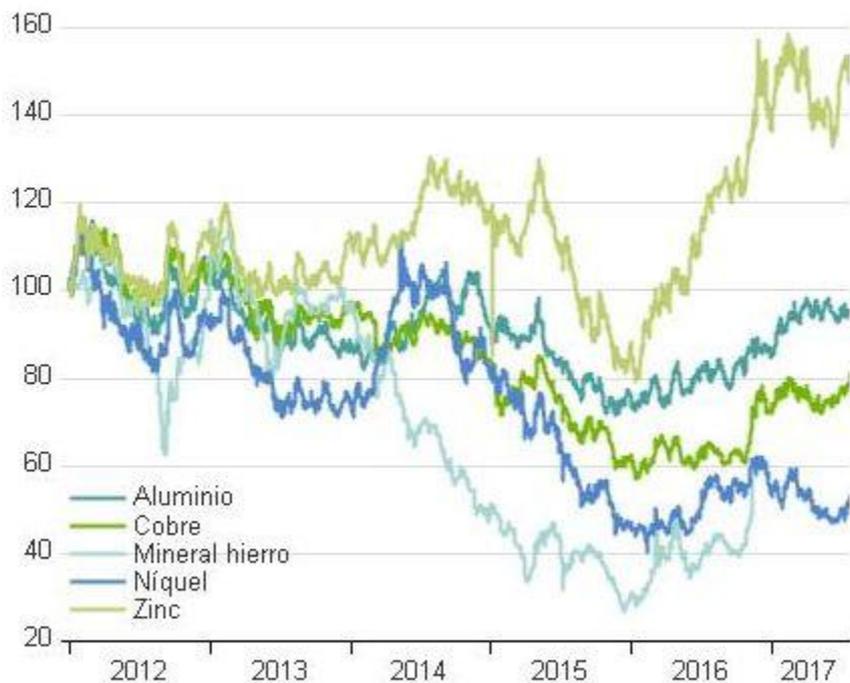




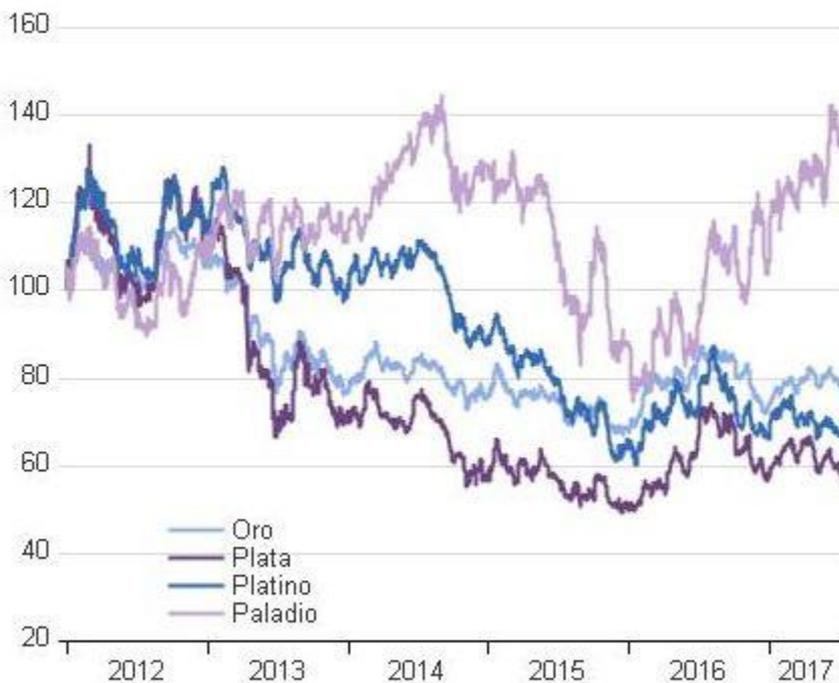
Precios de metales básicos y preciosos

Base 100 a comienzos de 2012

METALES BÁSICOS

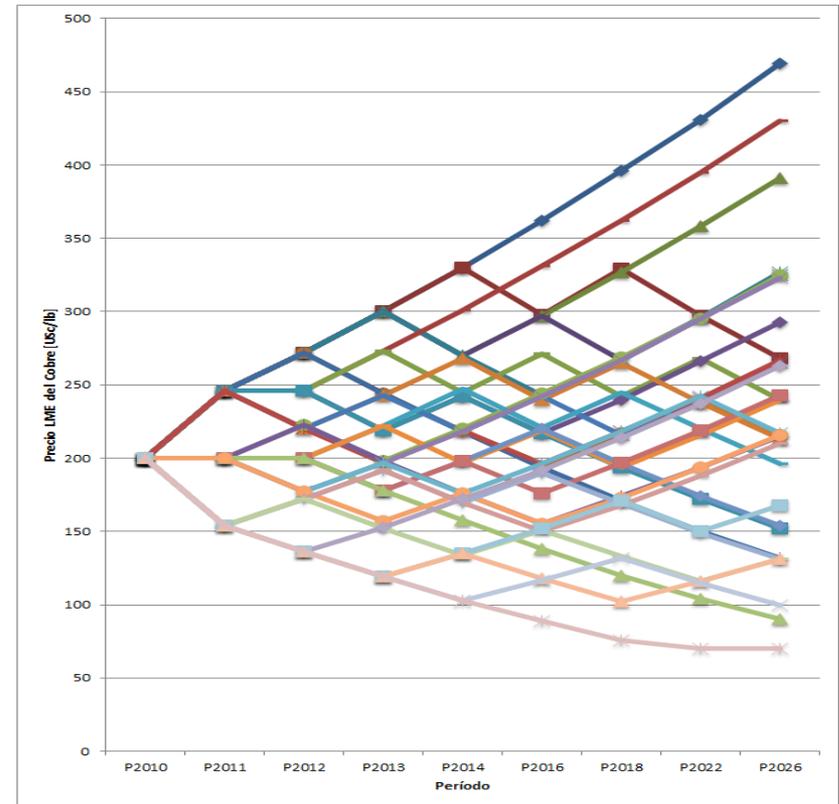
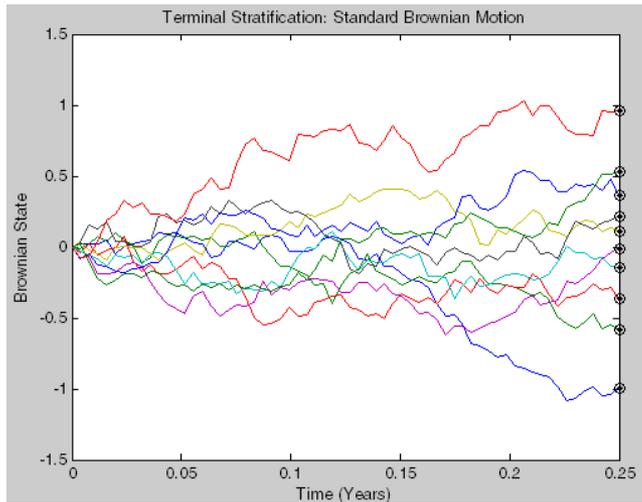


METALES PRECIOSOS



Fuente: Thomson Reuters Datastream, 26/07/2017

Escenarios de Precios

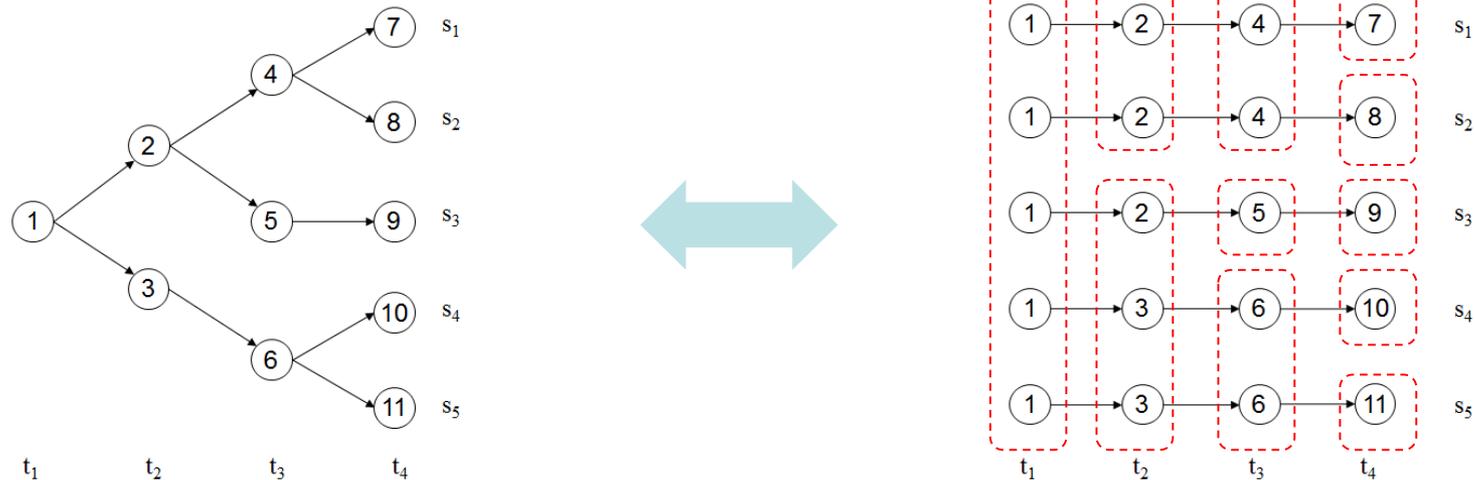


Generación de escenarios

Árbol de escenarios

Programación Estocástica

- Se define un problema que considera simultáneamente todos los escenarios.
- No-anticipatividad: «*Para todo par de escenarios, si comparten la misma trayectoria de precios hasta el período t , entonces sus soluciones deben ser idénticas hasta el período t* »



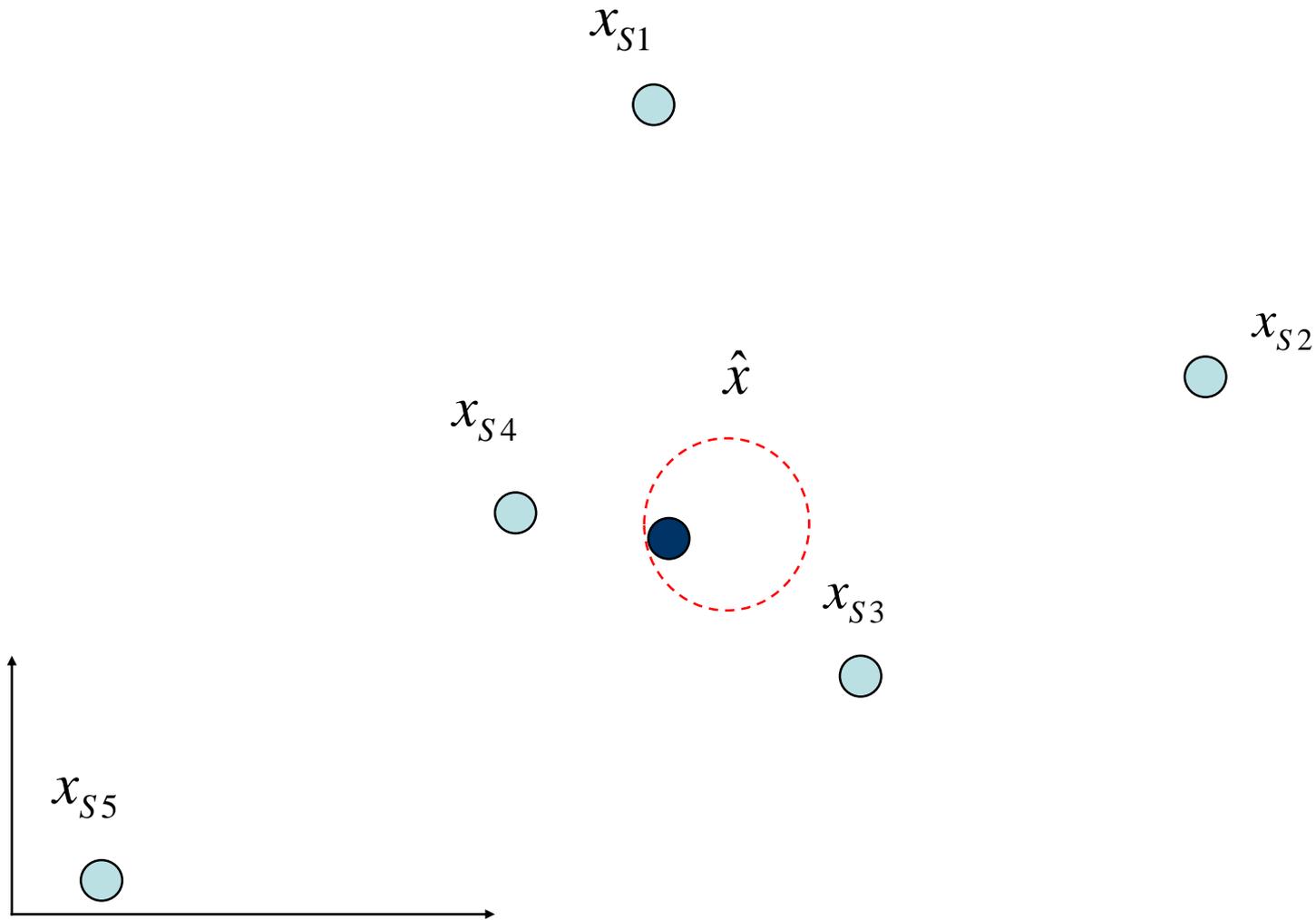
Tamaño del Problema

- El tamaño hace que el problema sea intratable computacionalmente

Escenarios	Restricciones	Variables	Variables Binarias
1	28,525	93,136	4,255
16	345,272	1,003,569	44,506
32	648,530	1,814,923	79,199

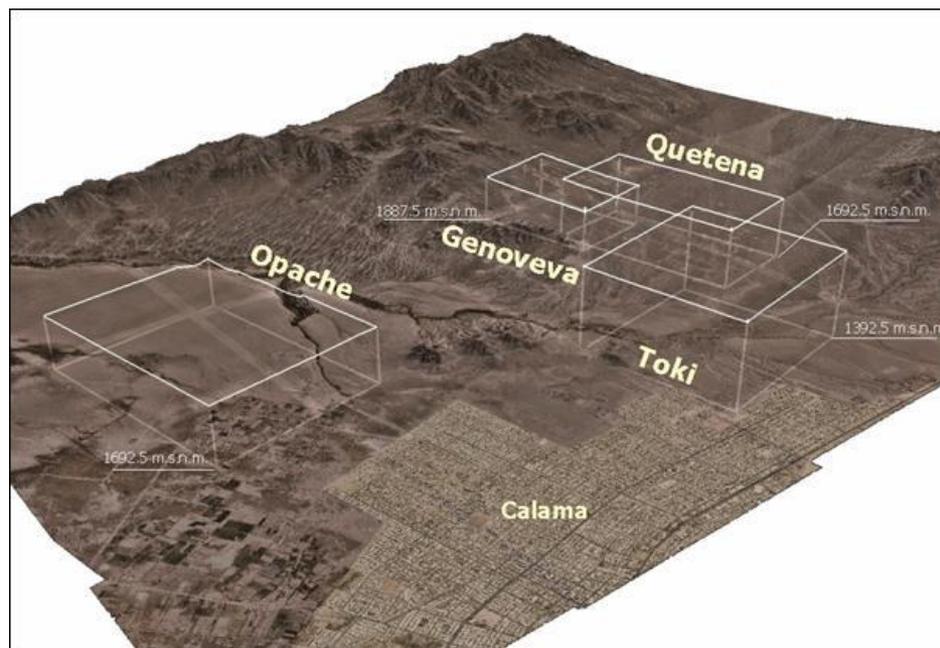
Ejemplo del aumento de tamaño del problema

Progressive Hedging

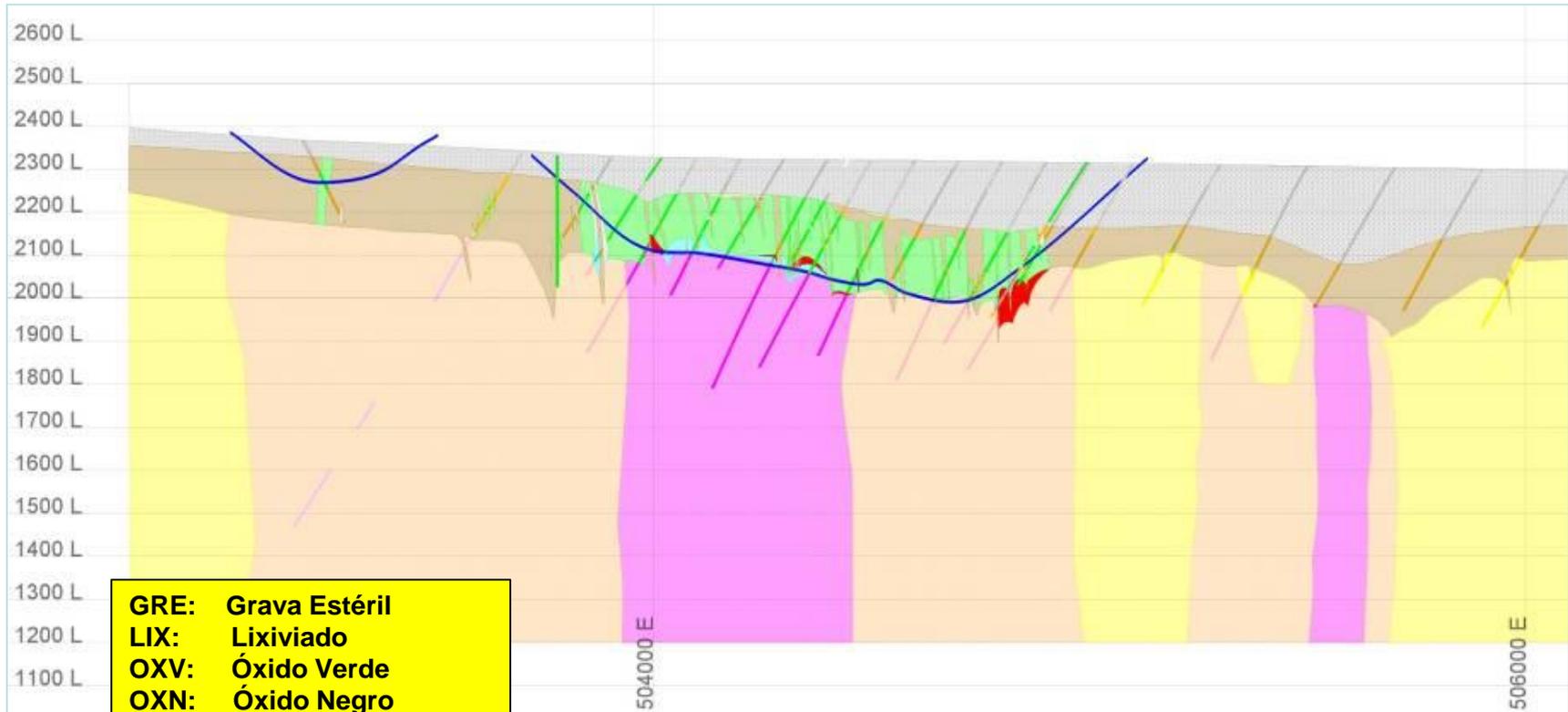


- **EL PROBLEMA DE OPTIMIZACION**
 - **EL MODELO DE OPTIMIZACION**
 - **PLANIFICACION DETERMINISTICA.**
 - **PLANIFICACION ESTOCÁSTICA.**
- **UN EJEMPLO PRACTICO APLICADO AL YACIMIENTO QUETENA**

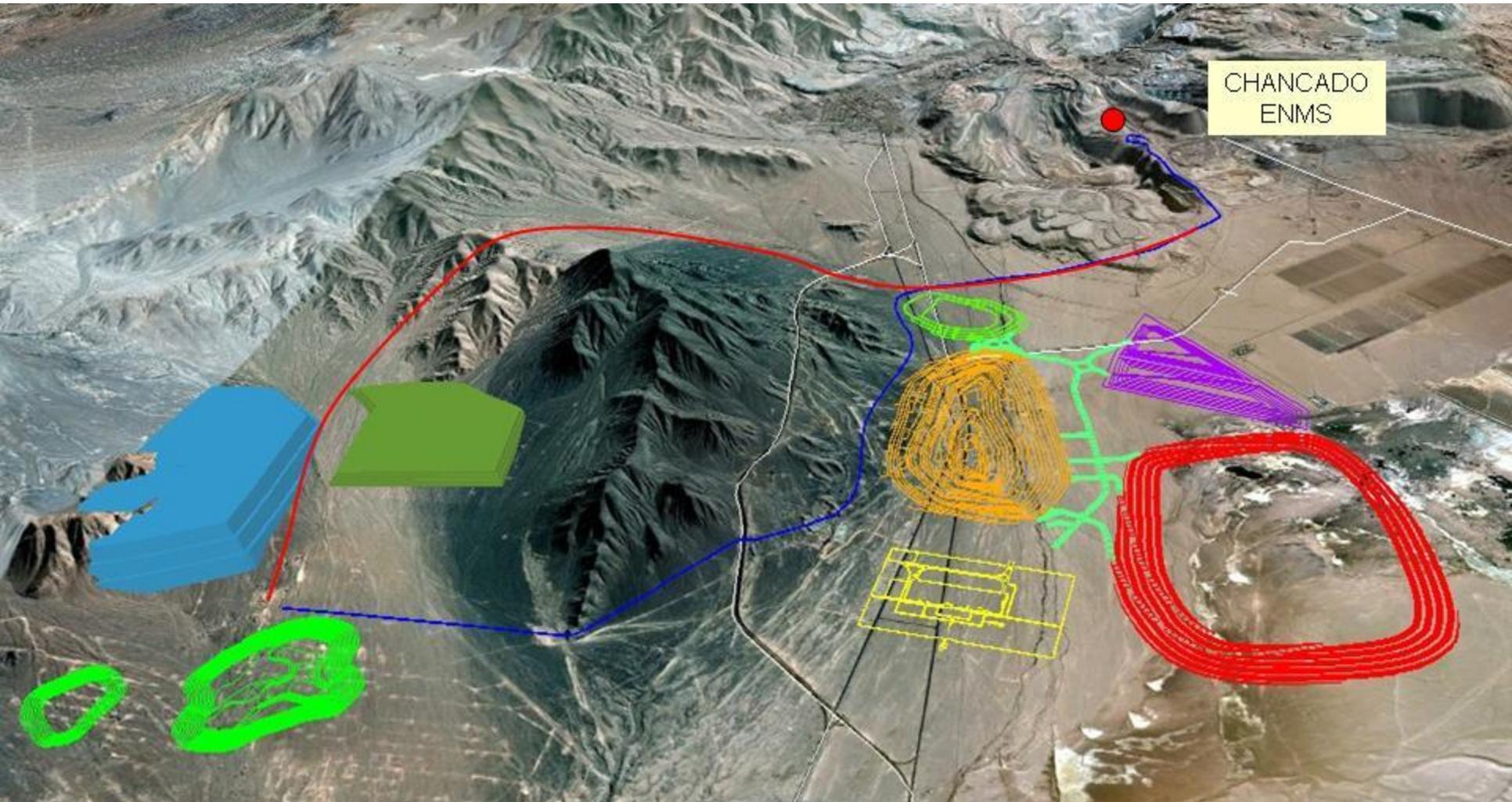
- Los yacimientos de Quetena y Genoveva se ubican en el extremo norte del denominado Cluster Toki, en el llano al este del cerro Quetena a 2.400 msnm, a aproximadamente 4,2 km de la zona urbana de Calama y a unos 10 km de Chuquicamata, desde el centro del rajo.



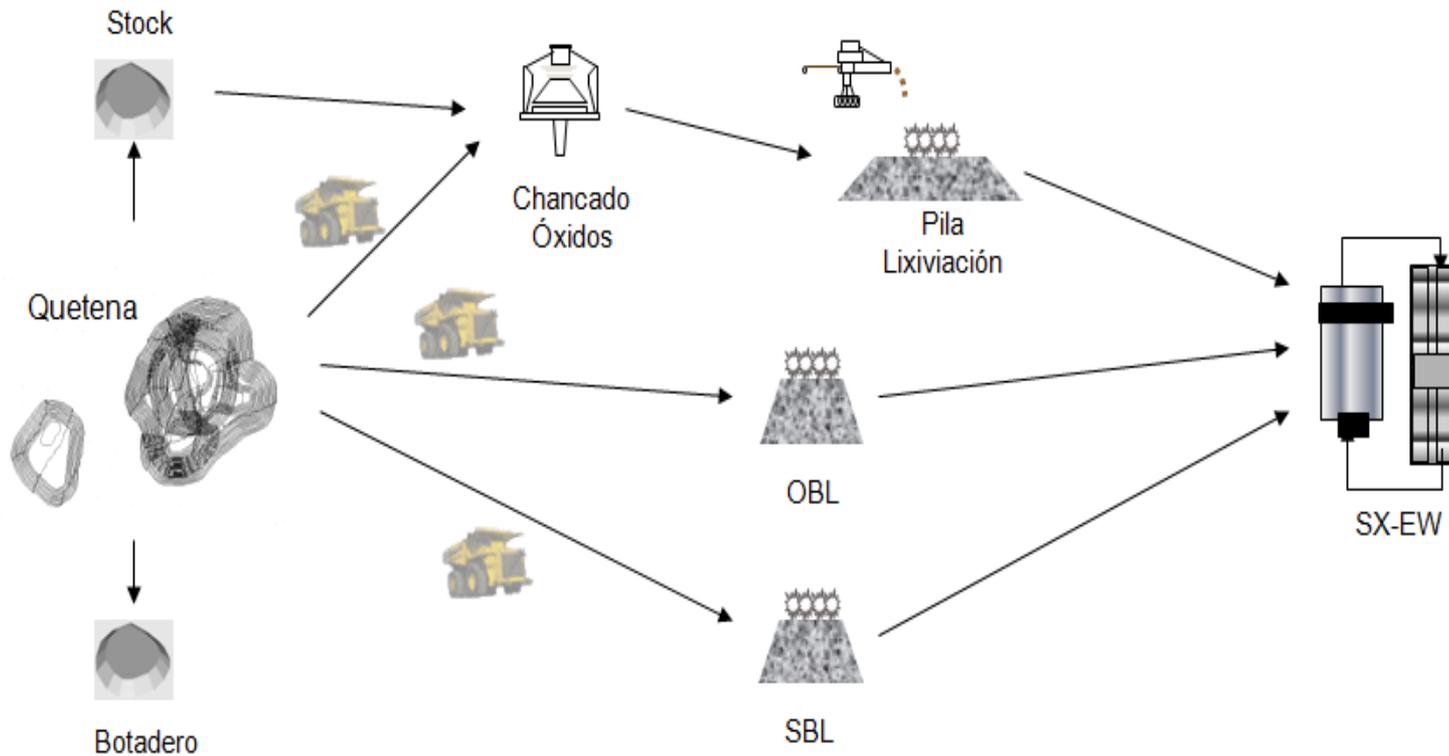
SECCION N 7521800 SECTORES GENOVEVA Y QUETENA UNIDAD GEOLOGICA Y SONDAJES PINTADOS POR UG



- GRE:** Grava Estéril
- LIX:** Lixiviado
- OXV:** Óxido Verde
- OXN:** Óxido Negro
- MIX:** Mixto
- SSD:** Sulf. Sec. Deb.
- CP_BN:** Calcopirita – Bornita
- CP_CY:** Calcopirita– Pirita
- PY:** Pirita.



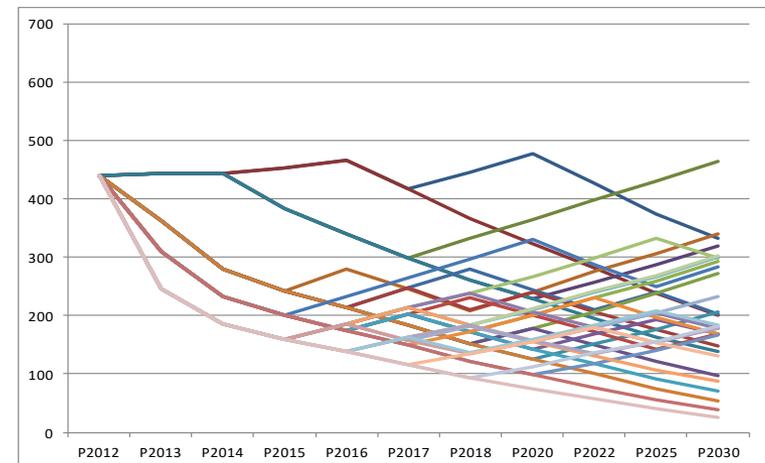
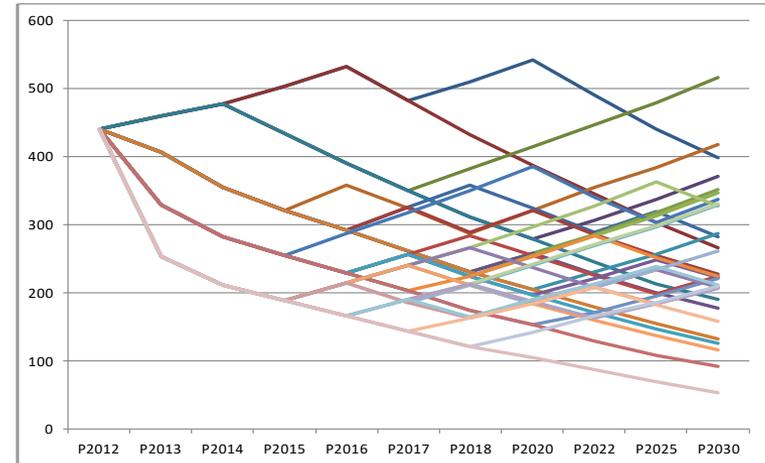
Descripción



Instancias

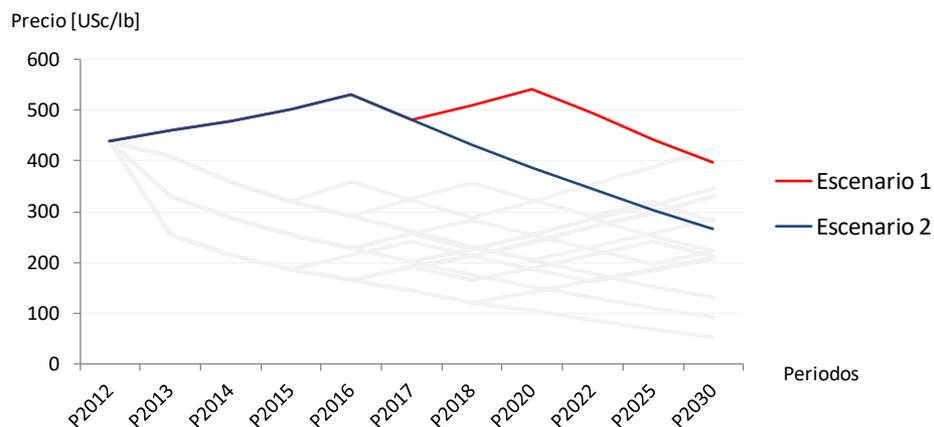
- Numero de escenarios
 - 16 Escenarios
 - 32 Escenarios

- Precio Promedio de largo plazo
 - 3.0 US\$/lb
 - 2.5 US\$/lb
 - 2.0 US\$/lb



Flexibilidad de las soluciones

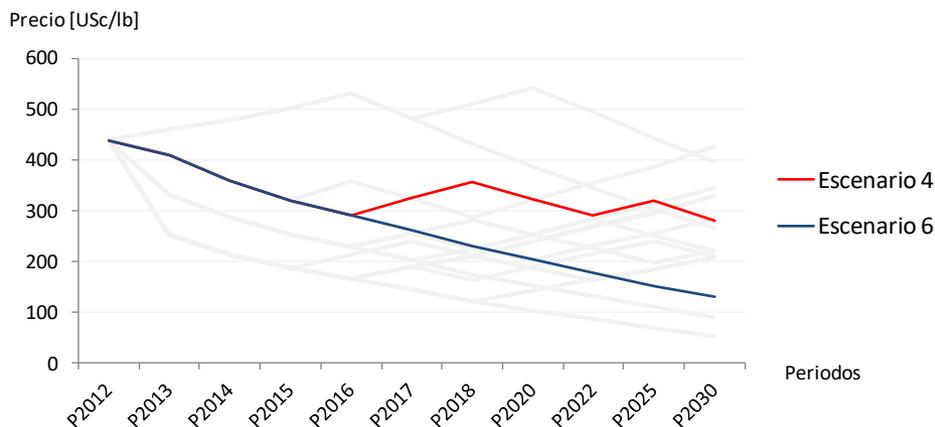
- Precio LP: USD\$ 2.5, 16 Escenarios



Escenario	Material	P2012	P2013	P2014	P2015	P2016	P2017	P2018	P2020	P2022	P2025	P2030
Escenario 1	Mineral				28	30	29	30	30	29	17	
	Stock			4				2	2	4		
	Baja Ley			6	59	92	135	78	82	30	15	
	Lastre		100	200	121	88	45	92	96	72	57	
	Total		100	210	210	210	210	210	203	210	136	91
	Stock a Planta					2		1	0		1	3
Escenario 2	Mineral				28	30	29	30	30	29		
	Stock			4								
	Baja Ley			6	59	92	135	49	122	33	29	
	Lastre		100	200	121	88	45	131	58	72	57	
	Total		100	210	210	210	210	210	210	210	134	85
	Stock a Planta					2		1	0			

Flexibilidad de las soluciones

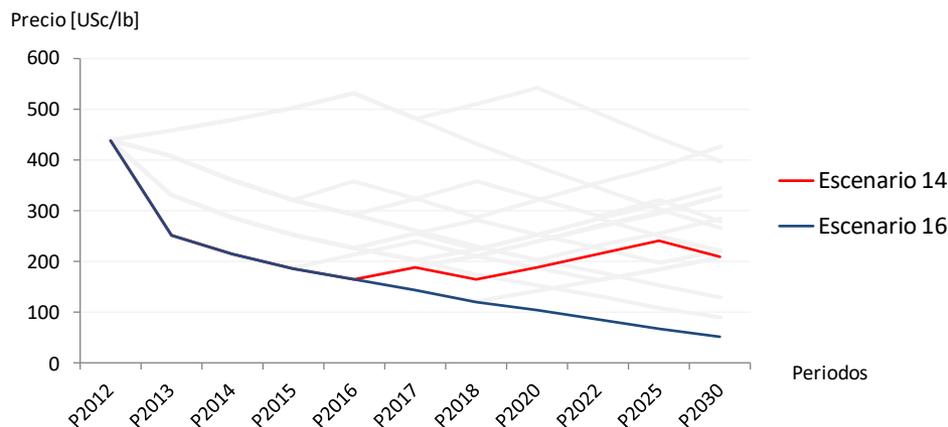
- Precio LP: USD\$ 2.5, 16 Escenarios



Escenario	Material	P2012	P2013	P2014	P2015	P2016	P2017	P2018	P2020	P2022	P2025	P2030
Escenario 4	Mineral				30	5	19	30	30	20	20	
	Stock			15	11							
	Baja Ley			41	75	27	44	135	82	28	22	
	Lastre		99	153	95	153	146	45	98	72	57	
	Total		99	210	210	210	210	210	210	120	98	
	Stock a Planta						25	1				
Escenario 6	Mineral				30	5	29	21				
	Stock			15	11							
	Baja Ley			41	75	27	145	57	93			
	Lastre		99	153	95	153	25	97	71			
	Total		99	210	210	210	200	176	164			
	Stock a Planta						25	1				

Flexibilidad de las soluciones

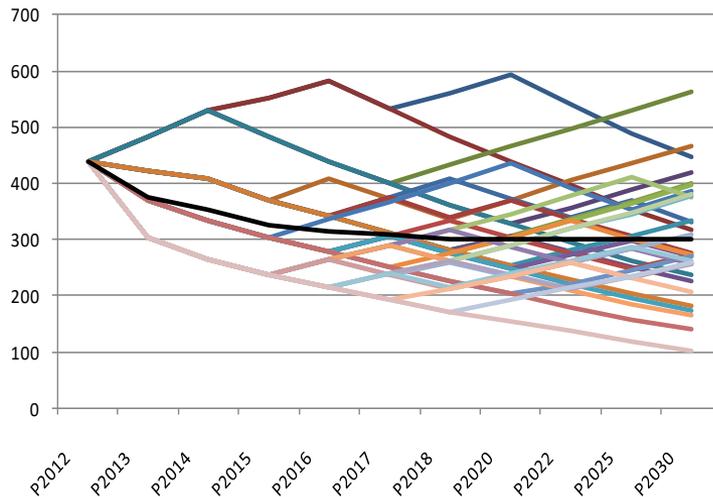
- Precio LP: USD\$ 2.5, 16 Escenarios



Escenario	Material	P2012	P2013	P2014	P2015	P2016	P2017	P2018	P2020	P2022	P2025	P2030
Escenario 14	Mineral				20	20	19	20	20	20	23	
	Stock				0	1						
	Baja Ley				18	4	6	4	4	47	81	
	Lastre			130	91	102	19	16	16	47	106	
	Total			130	129	126	45	40	40	113	210	
	Stock a Planta						1	0				
Escenario 16	Mineral				20	20	23					
	Stock				0	1						
	Baja Ley				18	4	97					
	Lastre			130	91	102	21					
	Total			130	129	126	141					
	Stock a Planta											

Precio LP: USD\$ 3.0

- 32 Escenarios



Deterministico

	VAN (MM USD\$)
VAN Escenario Promedio	915
VAN Promedio Iter Zero	971

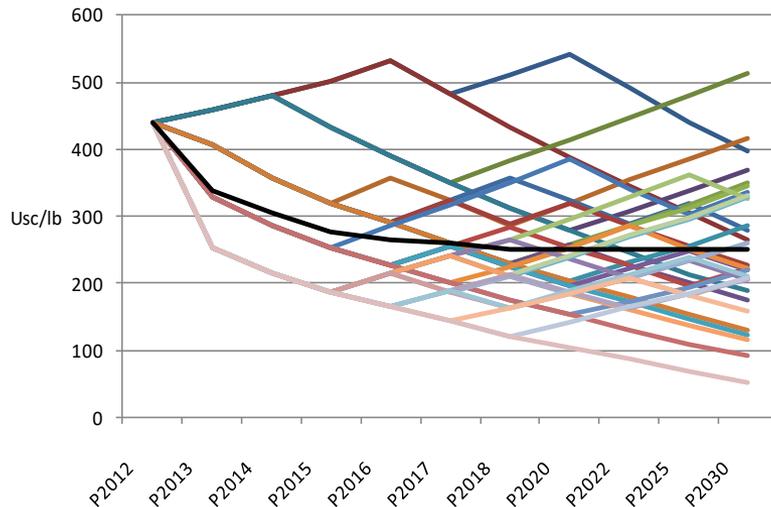
Estocástico

	VAN (MM USD\$)
VAN Estocástico	951
Flexibilidad	36

Flexibilidad = 3.9%

Precio LP: USD\$ 2.5

- 32 Escenarios



Determinístico

	VAN (MM USD\$)
VAN Escenario Promedio	549
VAN Promedio Iter Zero	646

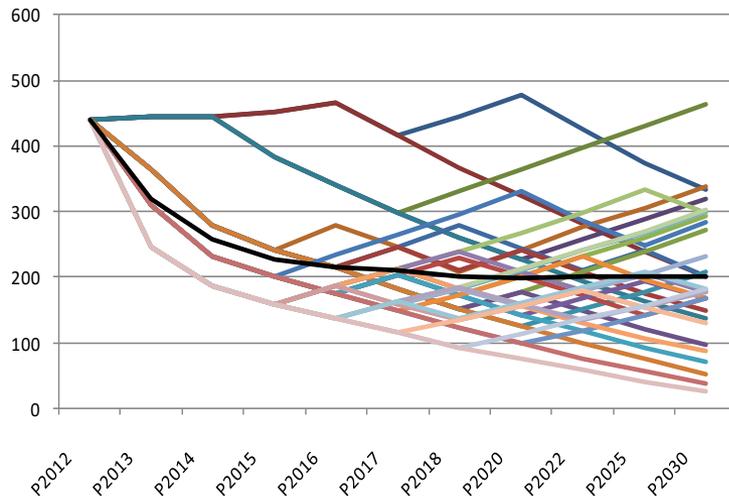
Estocástico

	VAN (MM USD\$)
VAN Estocástico	619
Flexibilidad	71

Flexibilidad = 12,9%

Precio LP: USD\$ 2.0

- 32 Escenarios



Deterministico

VAN (MM USD\$)	
VAN Escenario Promedio	238
VAN Promedio Iter Zero	367

Estocástico

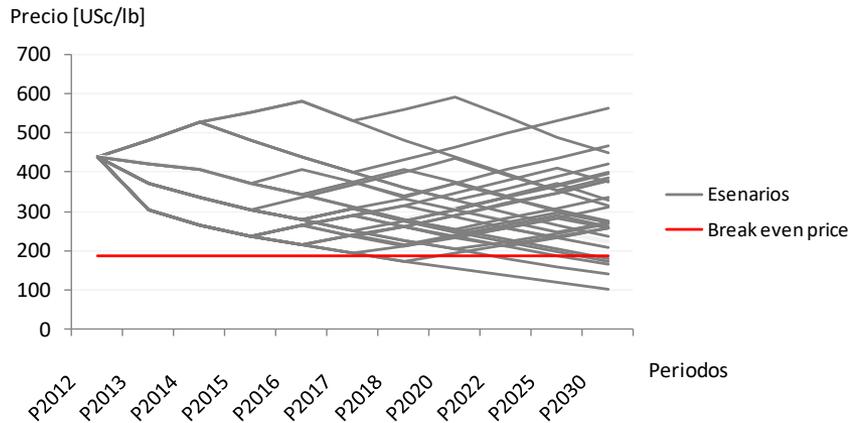
VAN (MM USD\$)	
VAN Estocástico	330
Flexibilidad	92

Flexibilidad= 38.8%

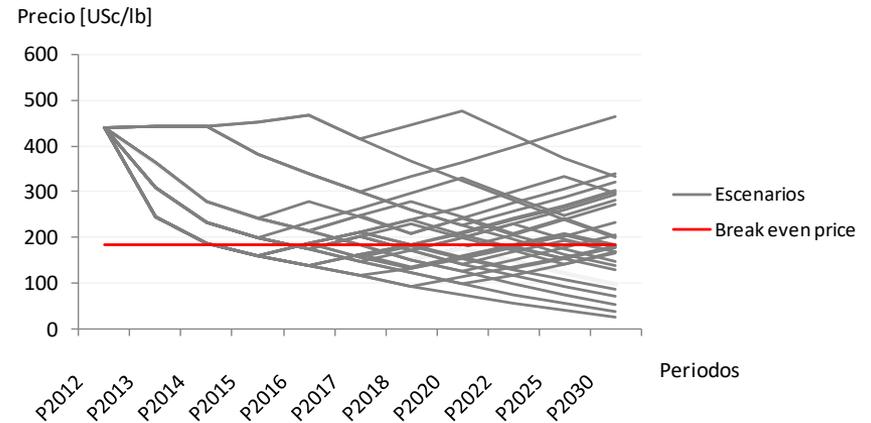
Resumen de Resultados

Precio LP [USc/lb]	# Escenarios	VAN Escenario Promedio	VAN Promedio Iter Zero	VAN Estocástico	Flexibilidad
300	16	911,663	977,599	948,161	4.0%
	32	914,828	971,303	950,640	3.9%
250	16	547,028	662,231	640,431	17.1%
	32	548,502	646,092	619,261	12.9%
200	16	244,471	380,586	359,967	47.2%
	32	238,059	366,950	330,311	38.8%

Sensibilidad al Precio LP



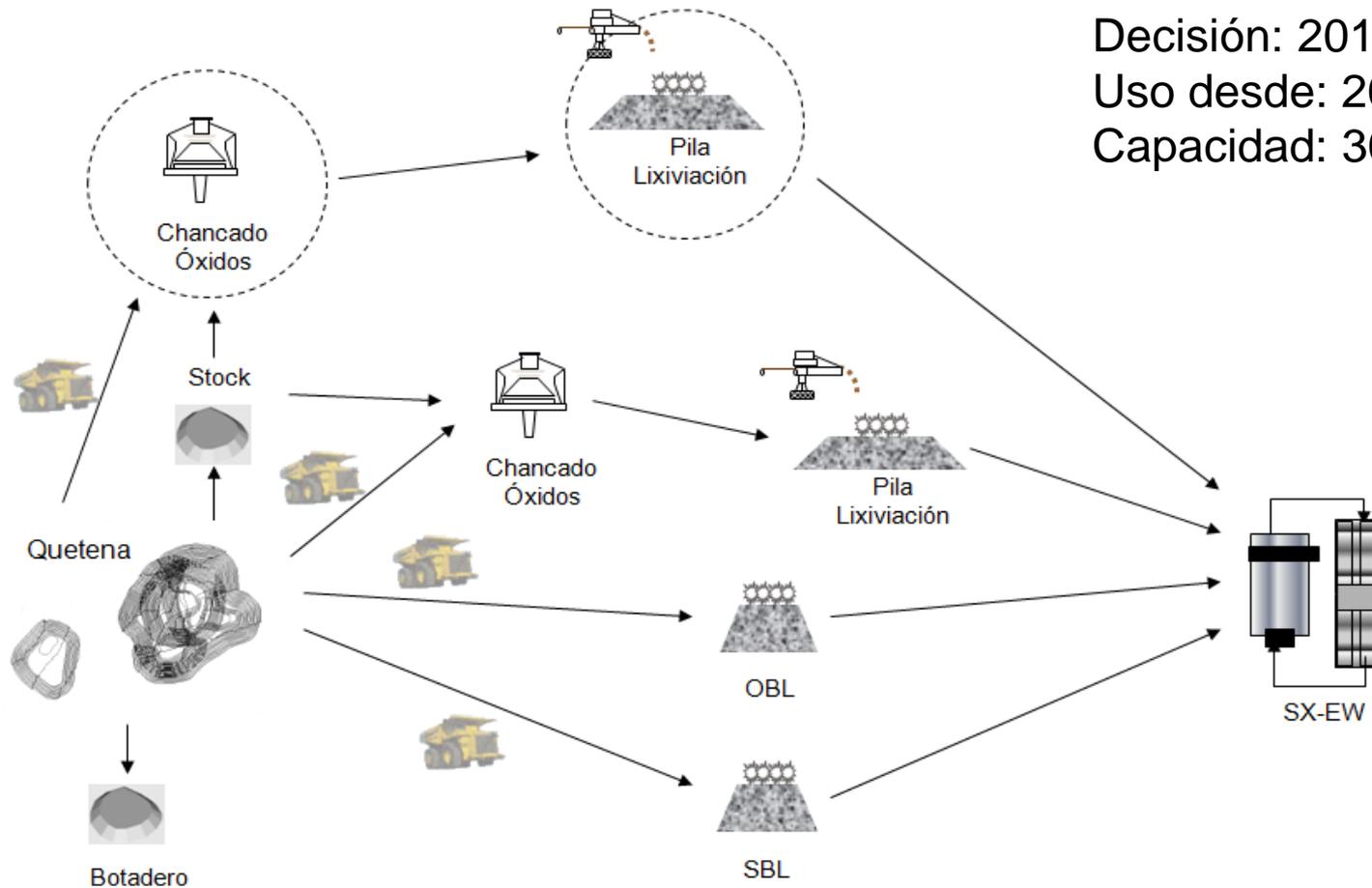
Árbol de 32 escenarios,
Precio promedio LP: US\$/lb 3.0



Árbol de 32 escenarios,
Precio promedio LP: US\$/lb 2.0

FLEXIBILIDAD CON INVERSIONES

Precio: MM US\$ 283
Decisión: 2014
Uso desde: 2015
Capacidad: 30 Ktpd.



PLANIFICACION ESTOCASTICA: UNA METODOLOGIA PARA INCORPORAR LA INCERTIDUMBRE EN LOS PRECIOS FUTUROS DE LOS METALES

**MIGUEL ROMERO CASANOVA
GERENTE GENERAL MINE STRATEGY
MAIL:**

miguel.romero.casanova@gmail.com

Whatsapp: +56998375154

**AUTORES DEL PROYECTO:
CARLOS VILLA RAMOS
RAFAEL EPSTEIN**