

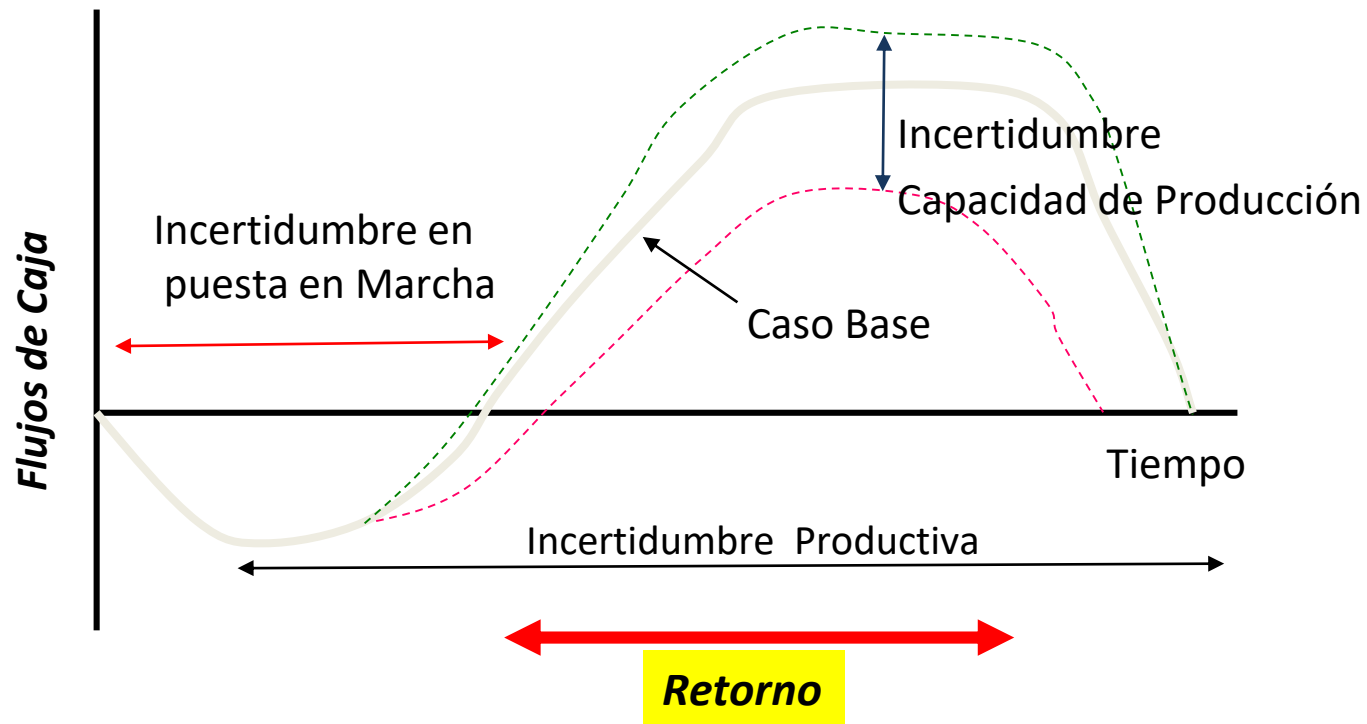
**TALLER PLANIFICACIÓN TRANSVERSAL & FLEXIBILIDAD MINERA**  
 Miércoles 30 de Agosto, Auditorio IIMCh, Encomenderos 260 Piso 4, Las Condes

**“Optimización de Flexibilidad Operacional en la Planificación Minera para Optimización del Negocio bajo Incertidumbre”**



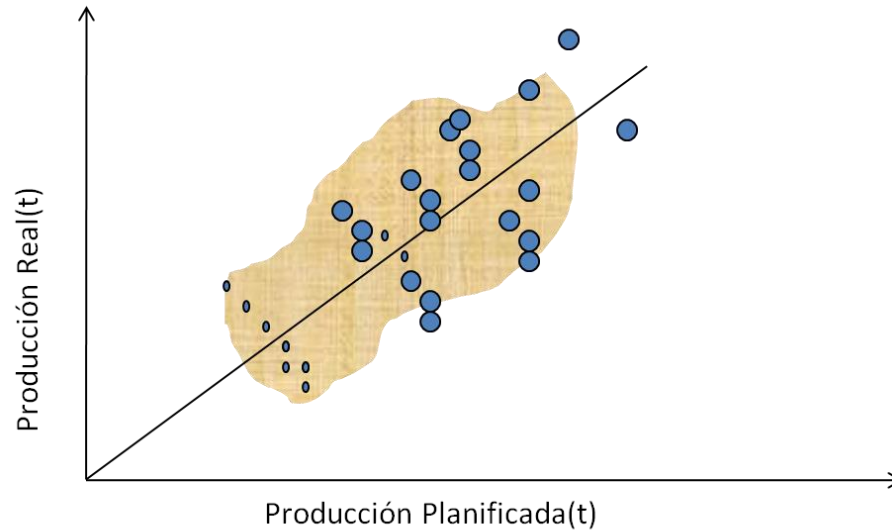
**Enrique Rubio, Ph.D., Director Ejecutivo**

# Efecto de Variabilidad Operacional en Flujos de Caja



*Para minimizar el riesgo del negocio es fundamental **gestionar la variabilidad y reducir la incertidumbre productiva***

# Eventos Operacionales que Transfieren Incertiumbre al Programa de Producción=> Volatilidad del Programa de Producción



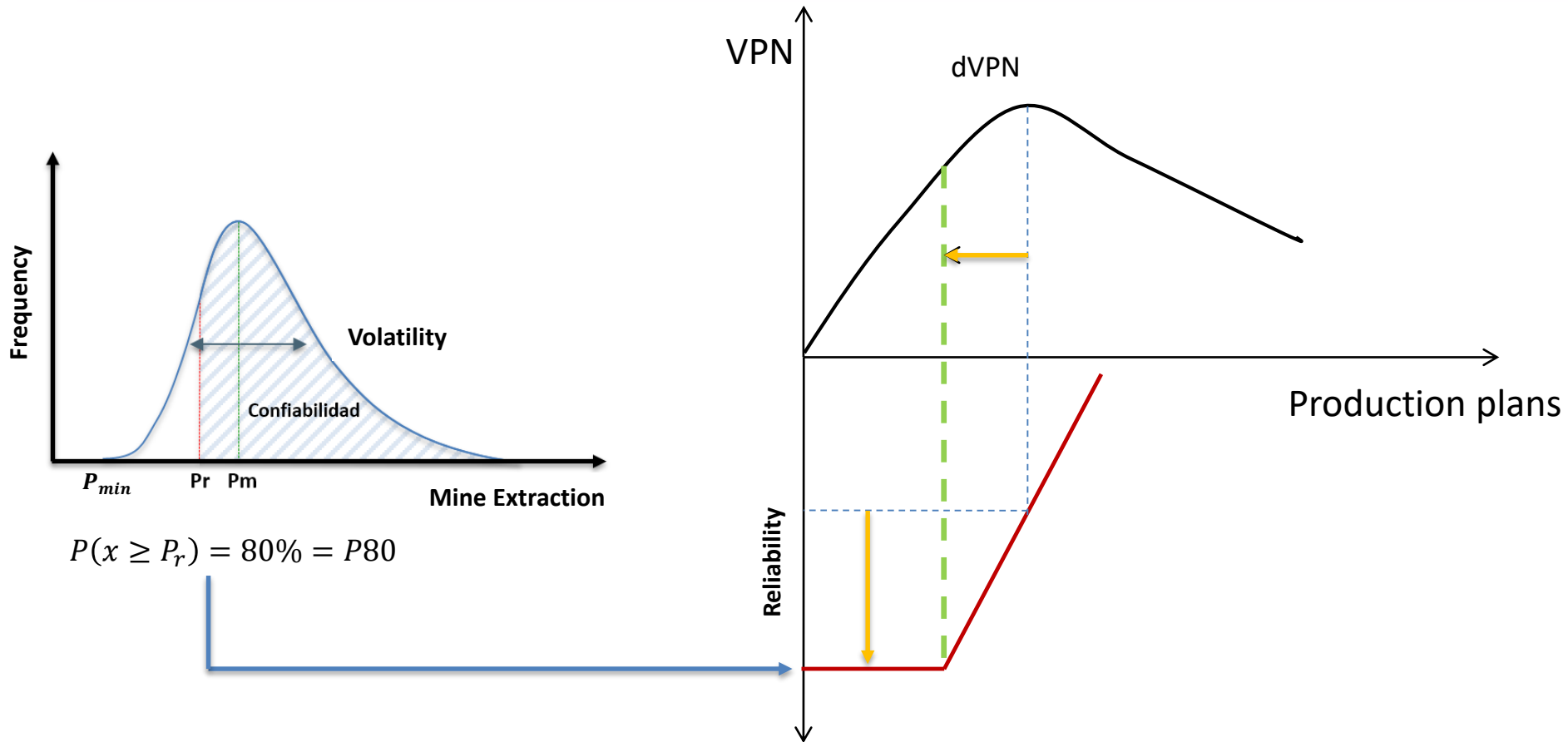
Desviaciones

Vida de la mina

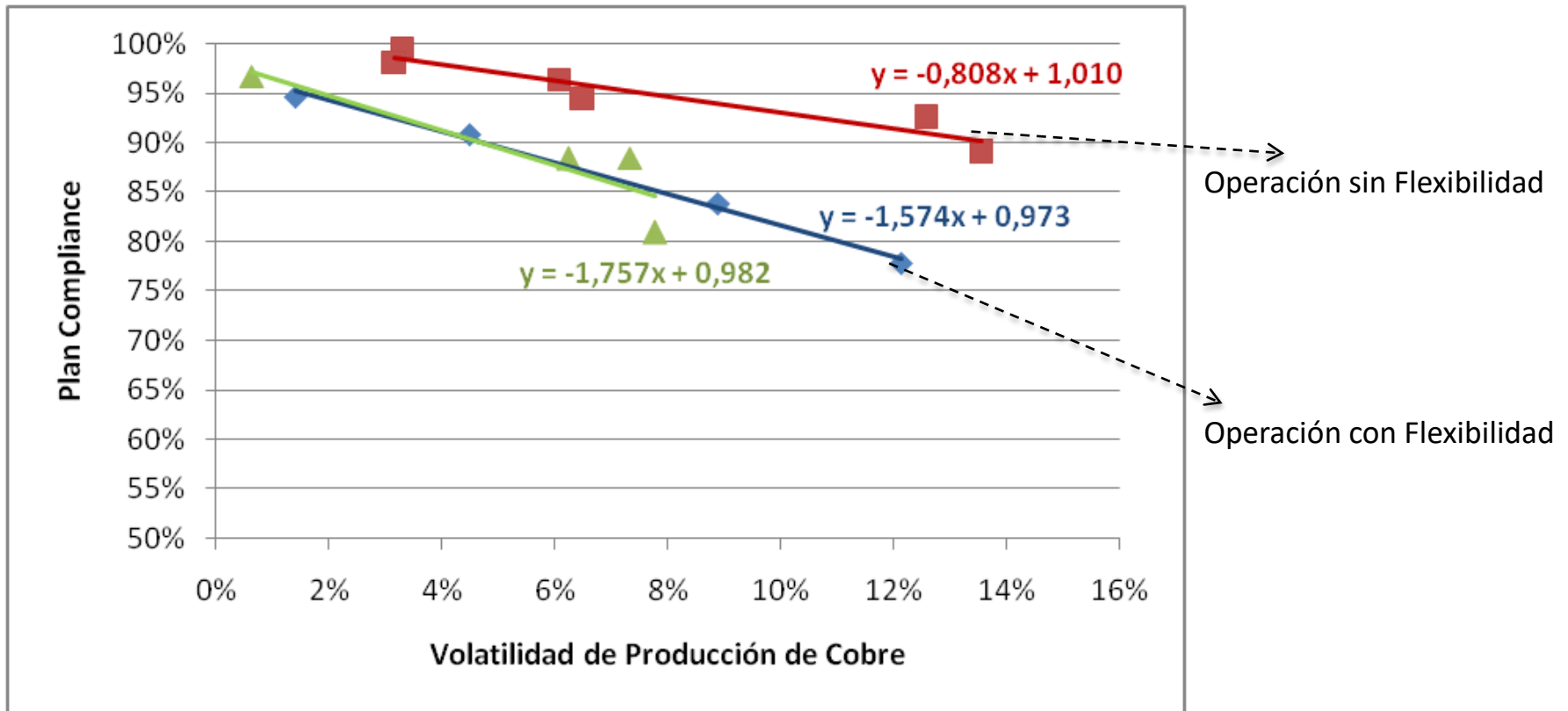
Reservas mineras

**Costo de operación**

# Programa de Producción debe ser Evaluado por VPN Y Confiabilidad

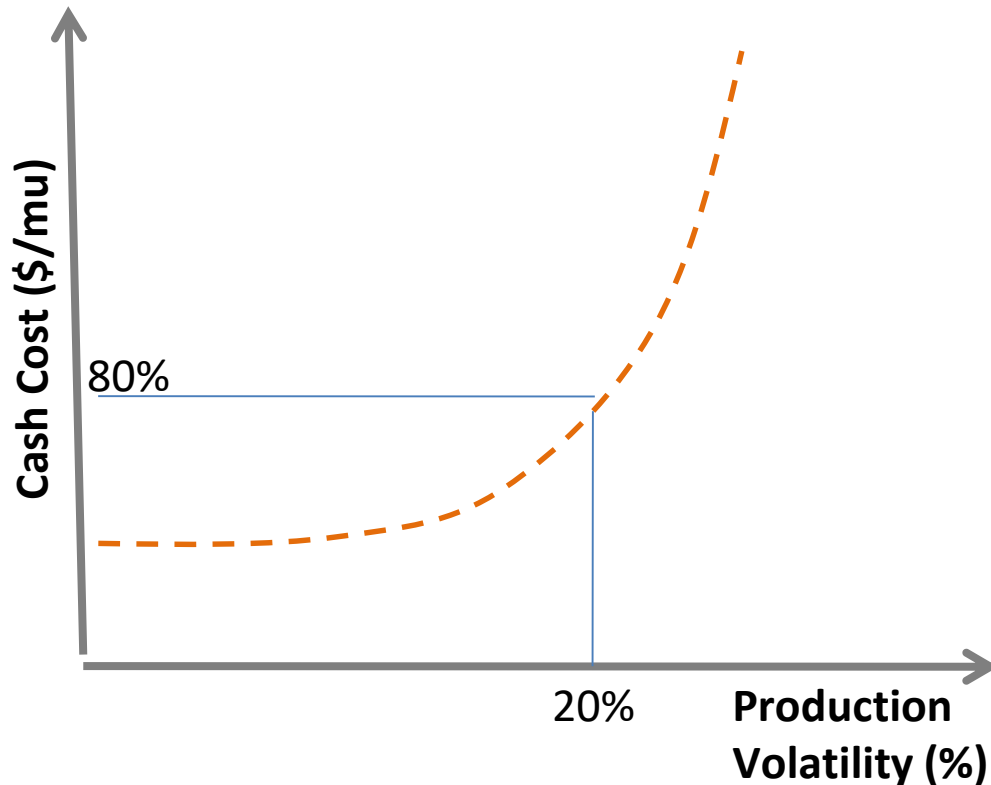


# Volatilidad del Programa de Producción Define la Desviación Operacional del Plan



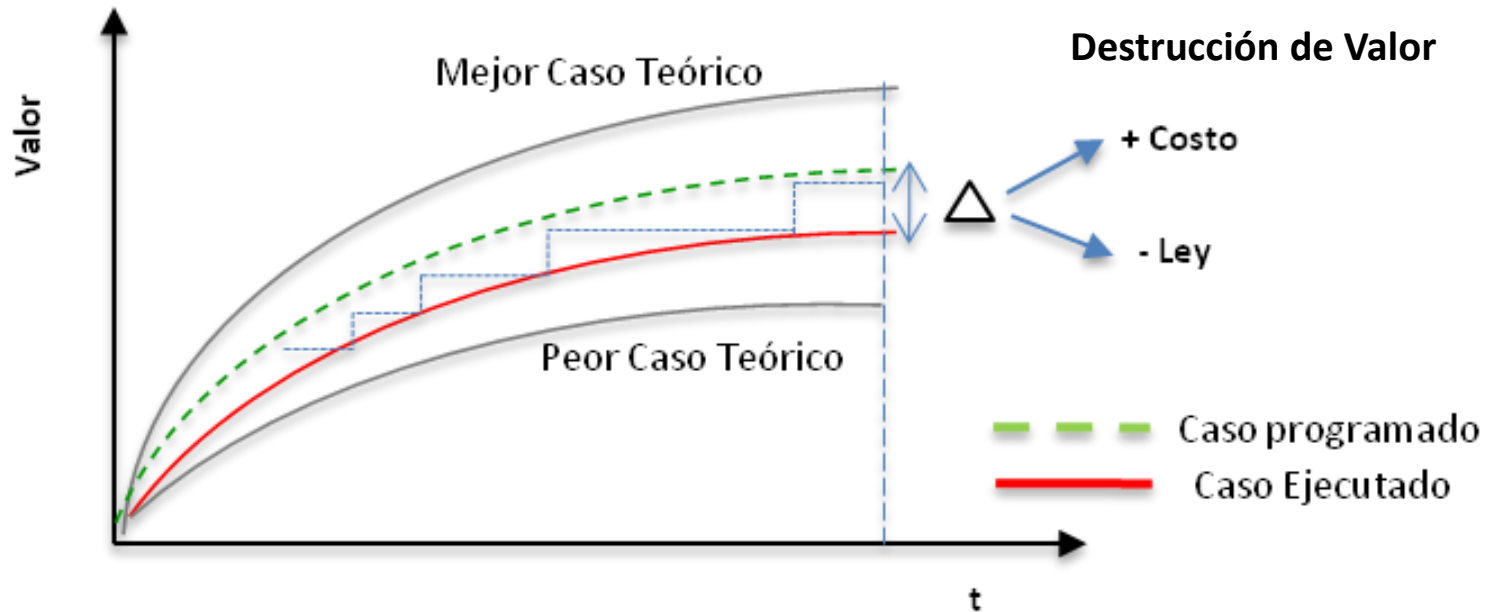
Ejemplo de 3 Minas a Cielo Abierto:

# Altas desviaciones operacionales → Altos costos de operación



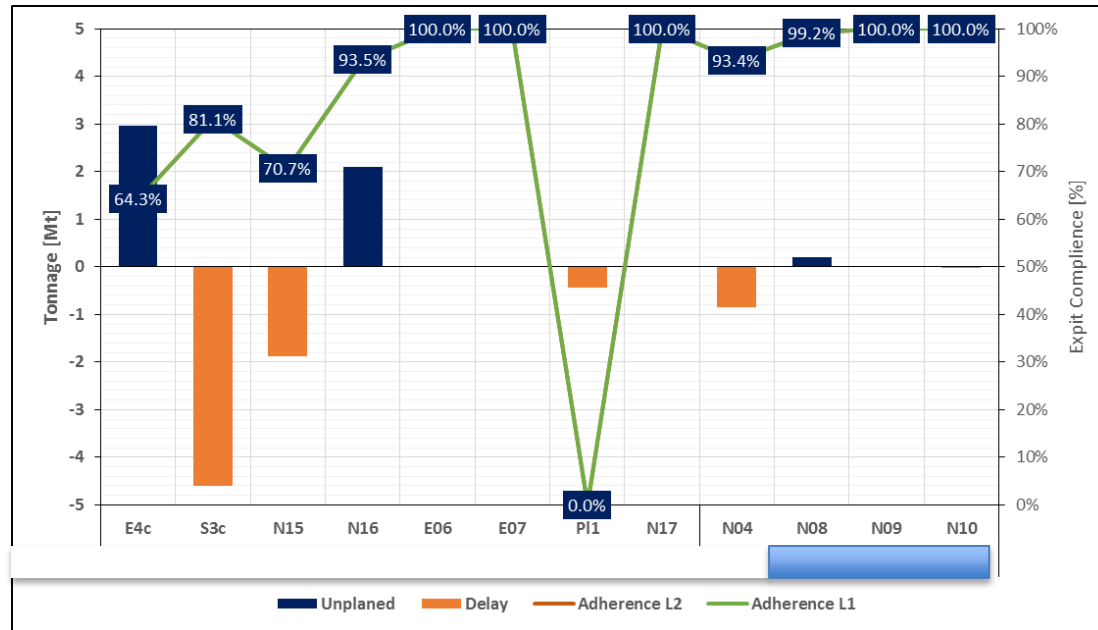
- Baja **confiabilidad** del sistema minero
- Baja **utilización** del sistema minero
- Baja **productividad** producto de cuellos de botella
- Diseños y operaciones unitarias **no planificadas de alto costo**

# Desviaciones Operacionales=>Destrucción de Valor



- ❑ El programa de producción es un **documento fundamental** para desarrollar de manera eficiente la estrategia que maximiza el valor de la compañía
- ❑ **Desviaciones** del plan minero generalmente repercuten en **aumento de costos**, y prolongar el periodo de extracción de reservas, alimentando con **menores leyes de mineras** los procesos

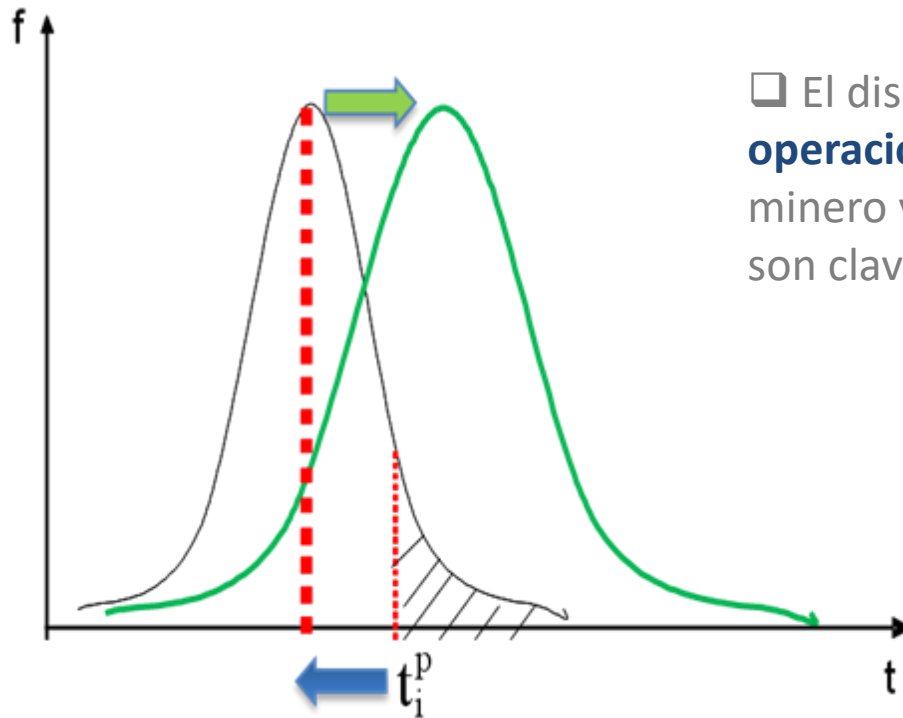
# Desviación Actual de una Operación. Ejemplo de Adherencia al Plan



- Pérdida de 35 Ktcu fino en 4 meses
- Aumento de costo de operación en periodos posteriores para recuperar la pérdida



# Adición de Flexibilidad Operacional para Apalancamiento del Valor del Negocio



□ El diseño y uso de **coberturas operacionales** en el diseño del sistema minero y en la planificación de la mina son claves para **optimizar el negocio**.

- Sectores de contingencia
- Equipos adicionales
- Adición de infraestructura de transporte
- Stocks
- Mayor número de sectores preparados

↑  
**Productividad**

# Aproximación Sistémica a la Planificación Minera

## “Maximización de la Adherencia al Plan”



*El balance entre **Riesgo y Retorno** del **Sistema Minero** permite un diseño eficiente y **programa de producción robusto** que viabilizan la **adherencia al plan**.*



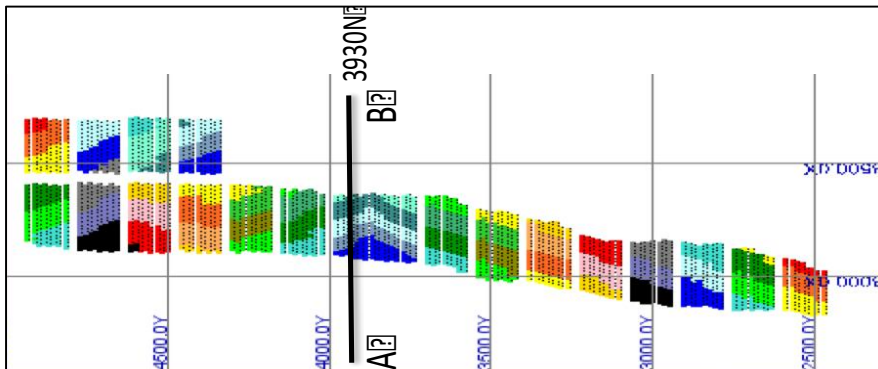
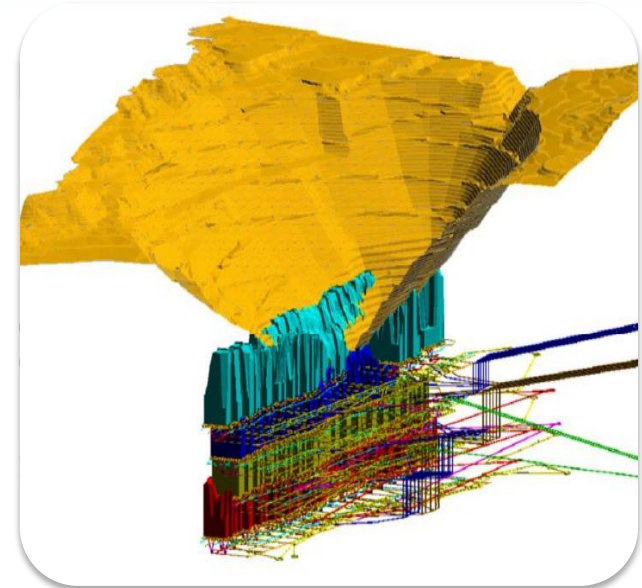
**Productividad**



**Costos**

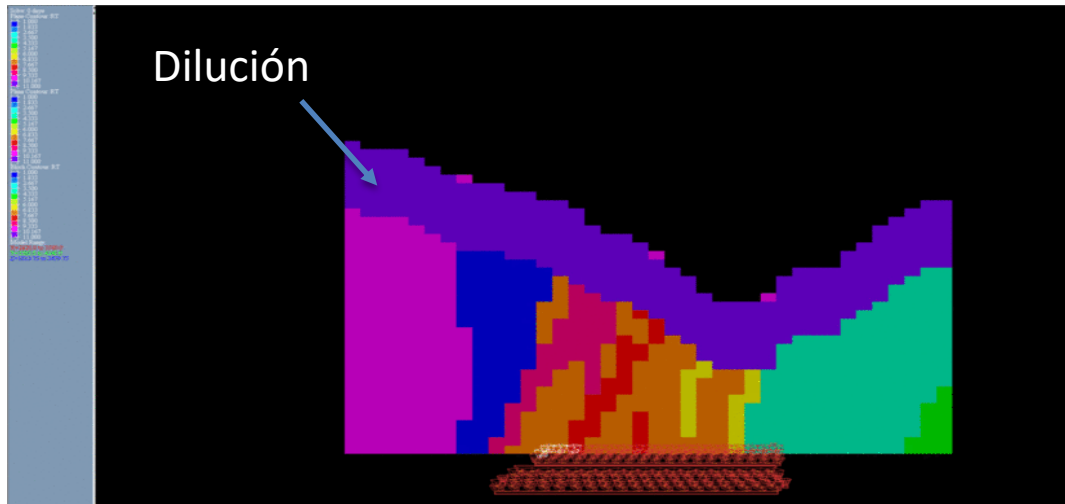
**REDCO**  
Mining Consultants

# Proyecto Chuquicamata Subterráneo

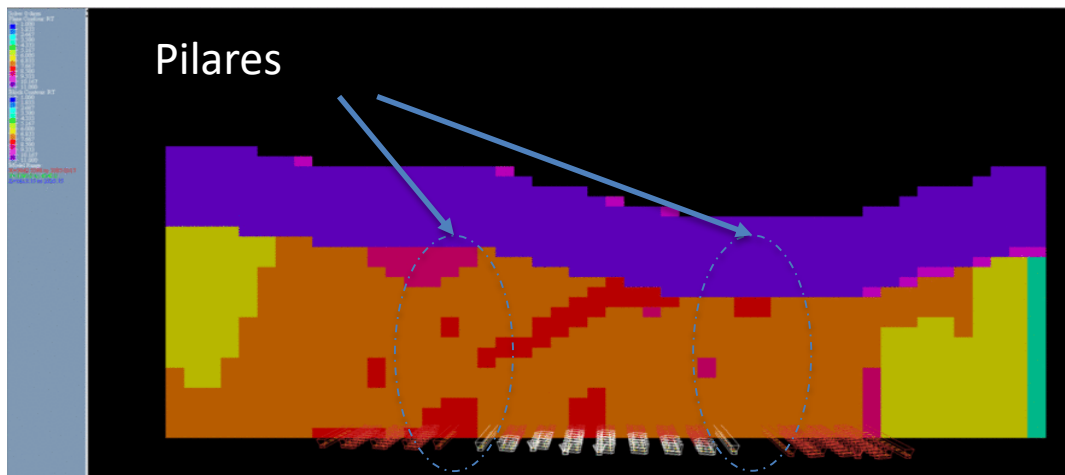


- ❑ 140 Ktpd, 7 años
- ❑ 3500 MUS\$
- ❑ 2700 pto. de extracción
- ❑ Primer lift 14 años
- ❑ Total vida mina 45 años

# Confiabilidad del Footprint de Producción

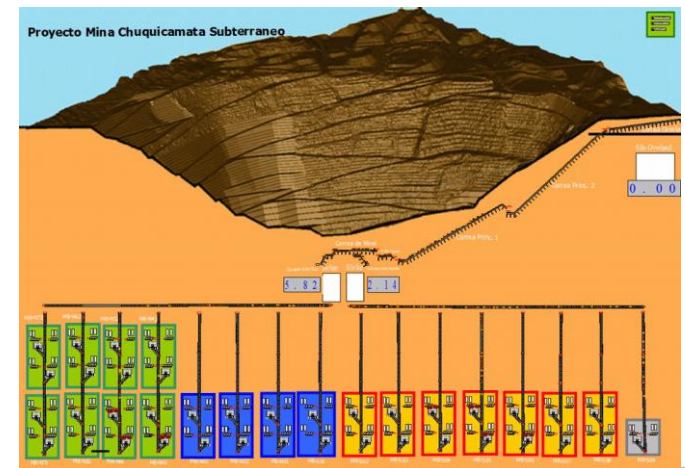
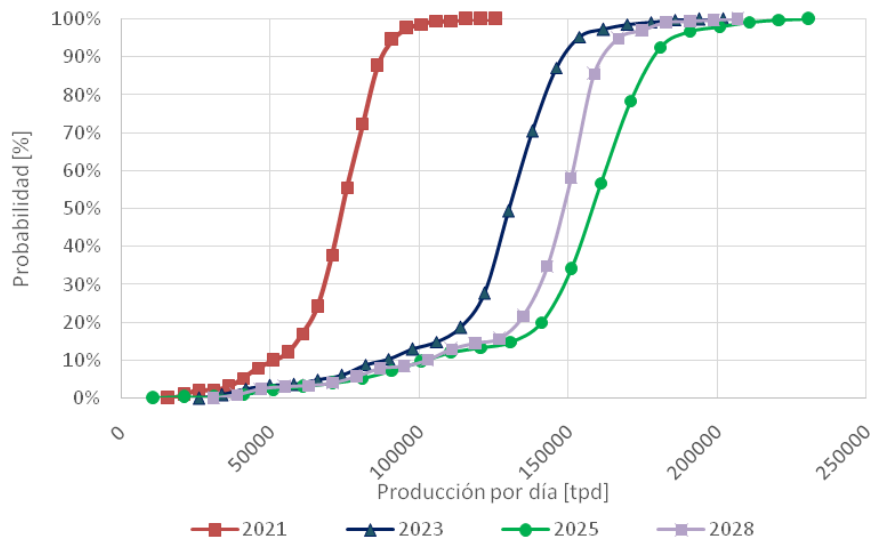


- Entrada de dilución en las diferentes etapas de tiraje.
- Ocurrencia de colapsos
- Preparación minera
- Cierre del rajo



# Capacidad de Producción Variable y Confiabilidad del Sistema Minero

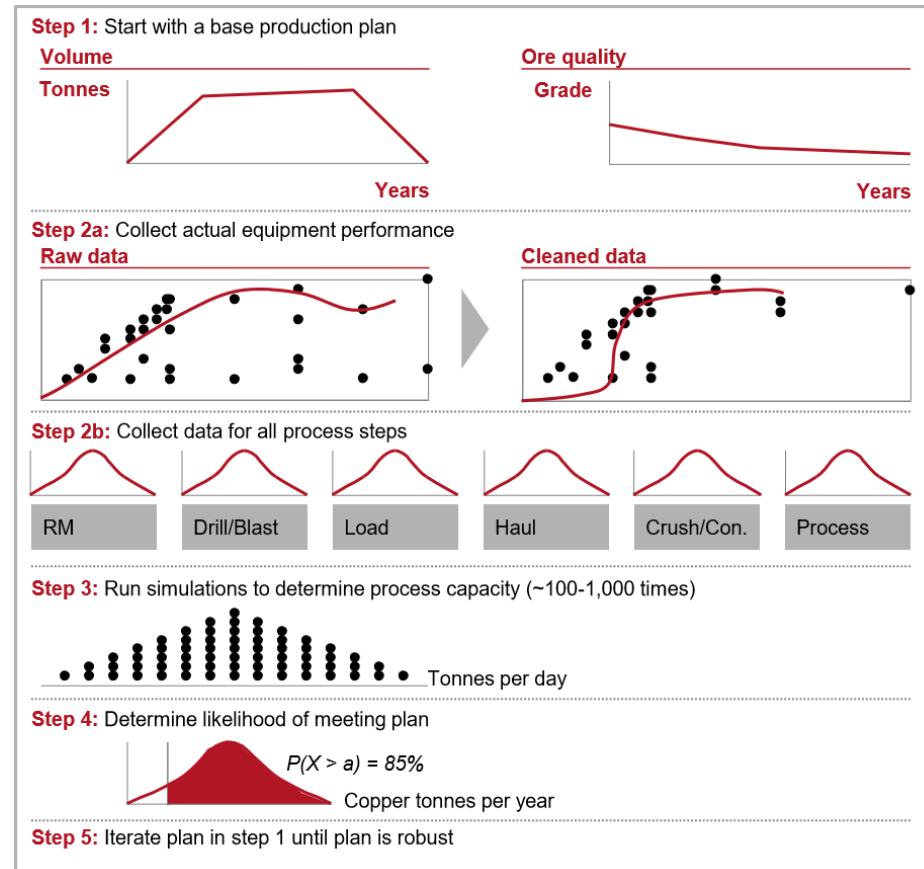
- ❑ *Fragmentación*
- ❑ *Disponibilidad del sistema de manejo de materiales*
- ❑ *Programa de mantención de chancadores y correas*
- ❑ *Alineamiento con la estrategia de extracción*



**REDCO**  
Mining Consultants

# SIMPLAN- Herramienta para Simular Programas de Producción

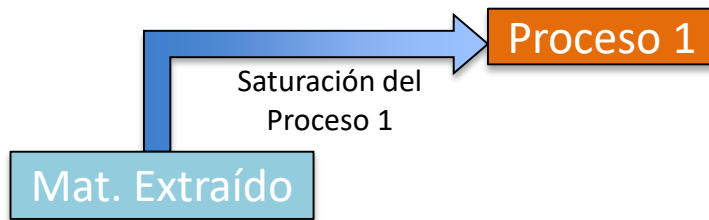
1. Construir un programa de producción base
2. Análisis de datos históricos y ajuste de distribuciones o Simular Sistema Minero
3. Ajuste de distribuciones por operación unitaria y/o proceso
4. Simular replicaciones
5. Estimar la confiabilidad del plan de producción
6. Adherir flexibilidad
7. Dibujar curva riesgo/retorno



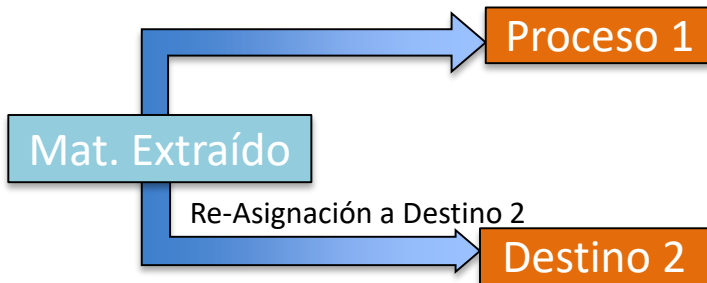
# SIMPLAN- Herramienta para Simular Programas de Producción

## Proceso de Machine Learning para Ajuste de Restricciones

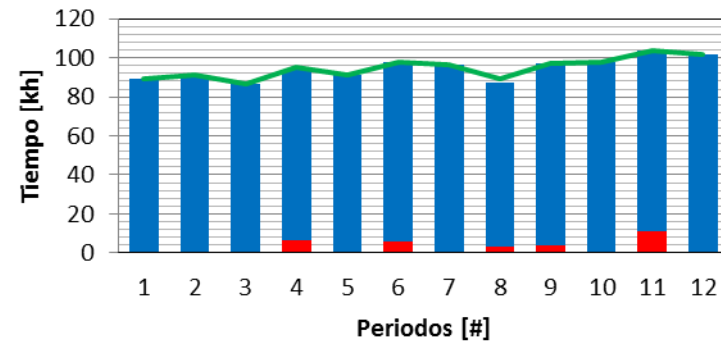
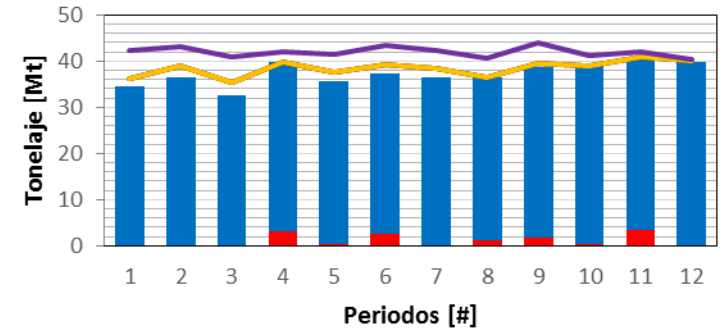
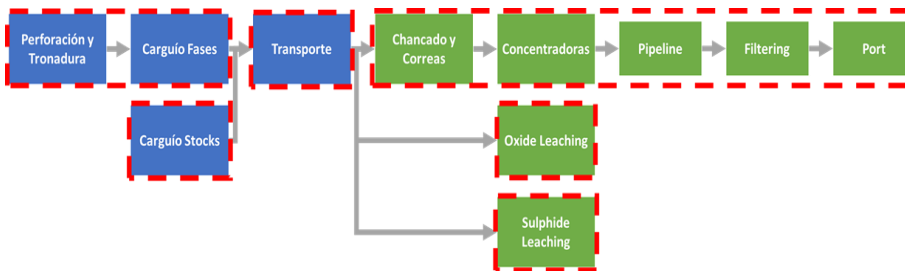
- Asignado a Proceso 1 saturado



- Re-asignado a su Destino 2

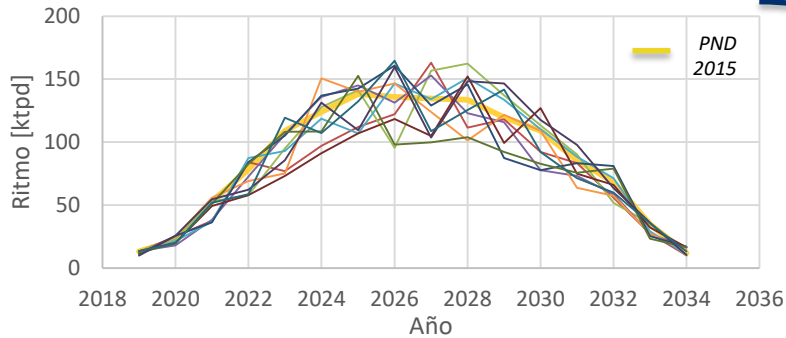


- Identificación de los cuellos de botella

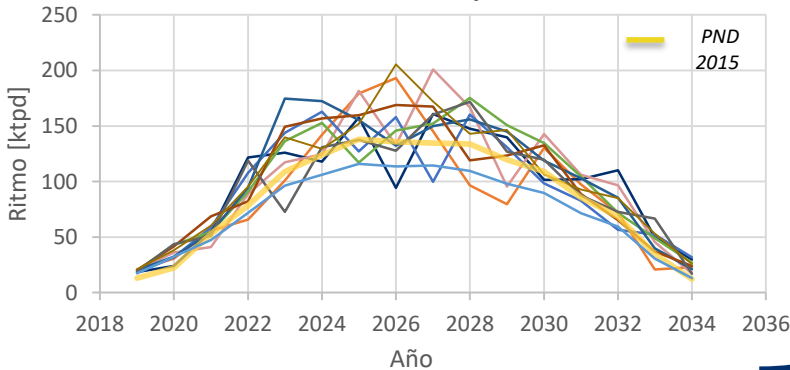


# Volatilidad de un Escenario del Programa de Producción de PMCHS

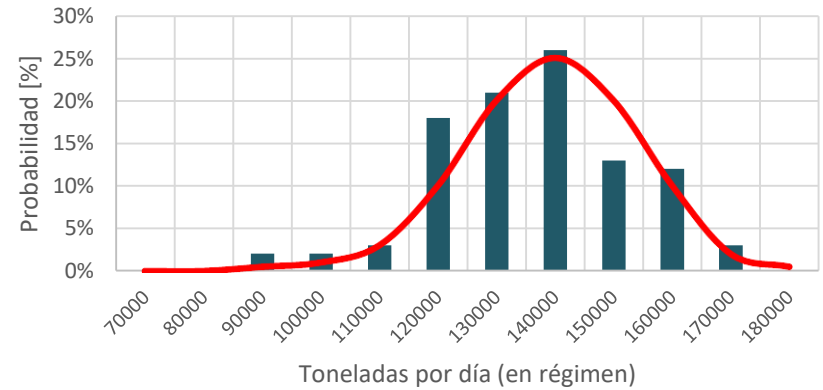
Variabilidad en la extracción



Variabilidad Sist. Manejo de Materiales

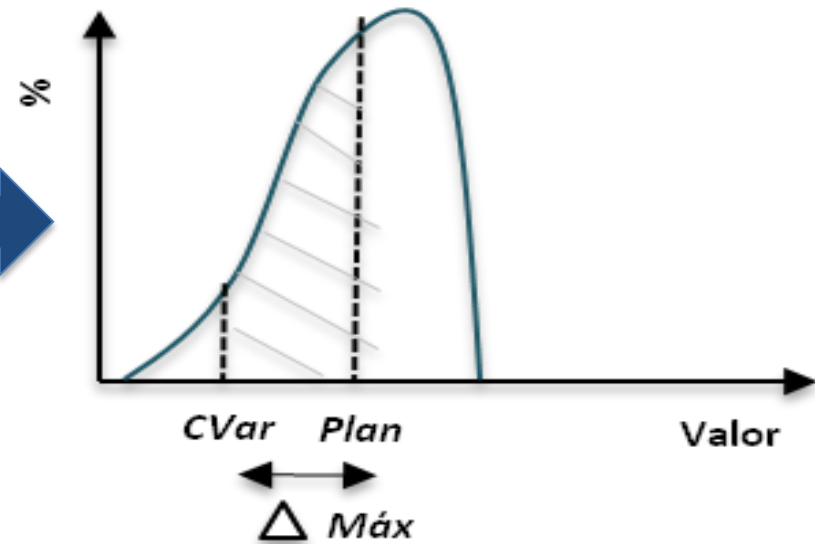
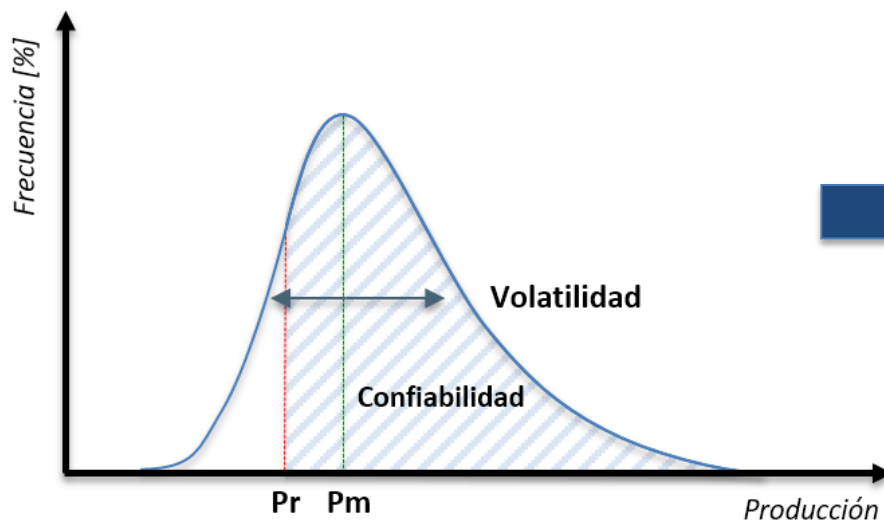


Histograma Planes

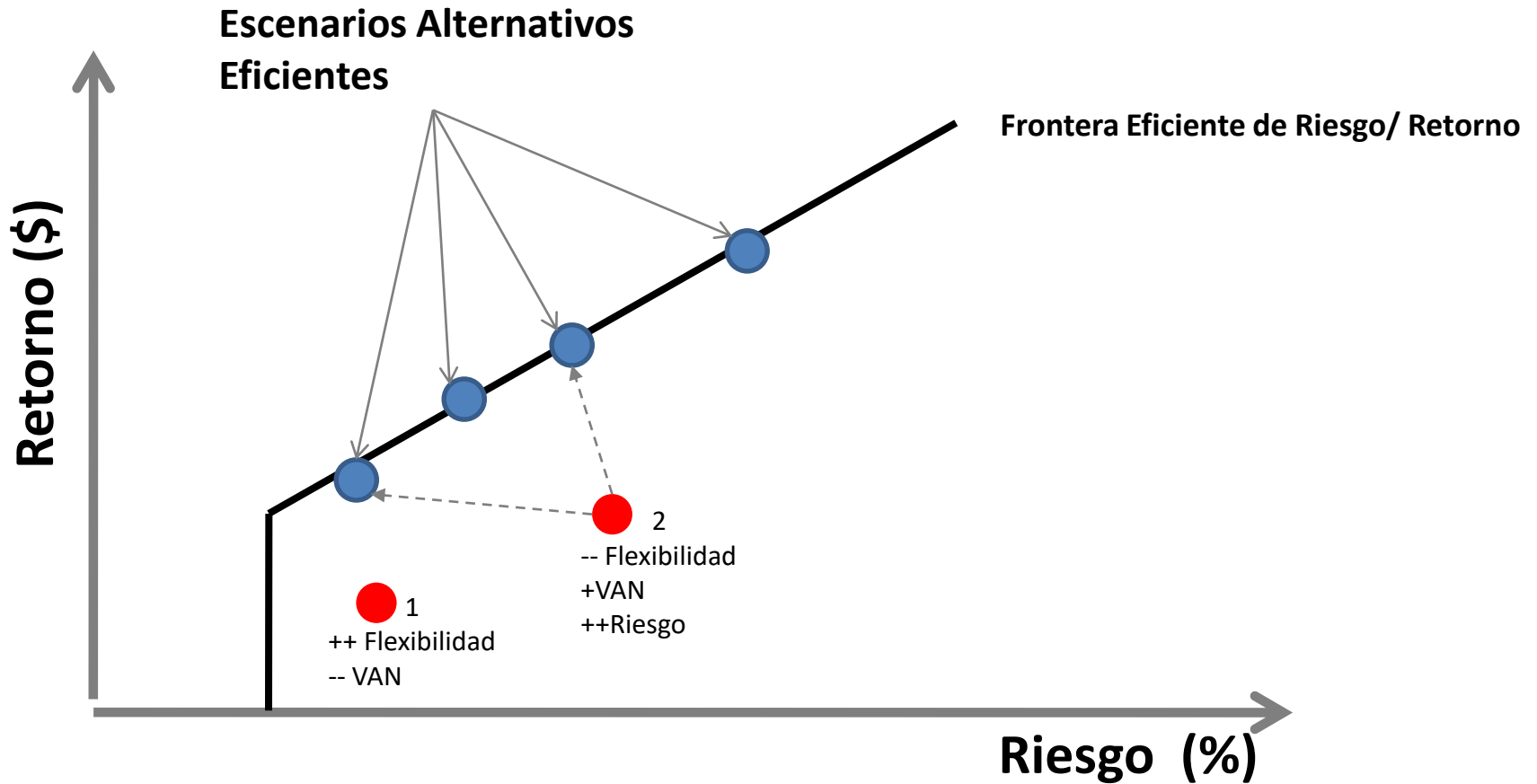




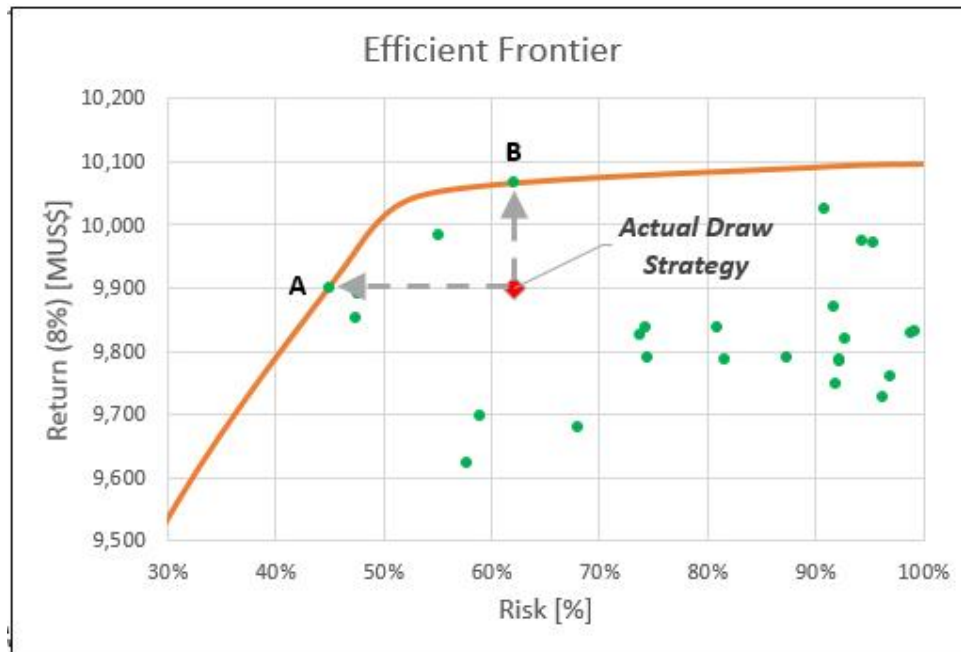
# Volatilidad del Programa de Producción => Riesgo Operacional



# Optimización del Portafolio



# Frontera Eficiente en la Planificación de Block Caving



Opciones A y B adhieren flexibilidad a la estrategia de extracción o la forma de operar la mina para hacer frente a la variabilidad

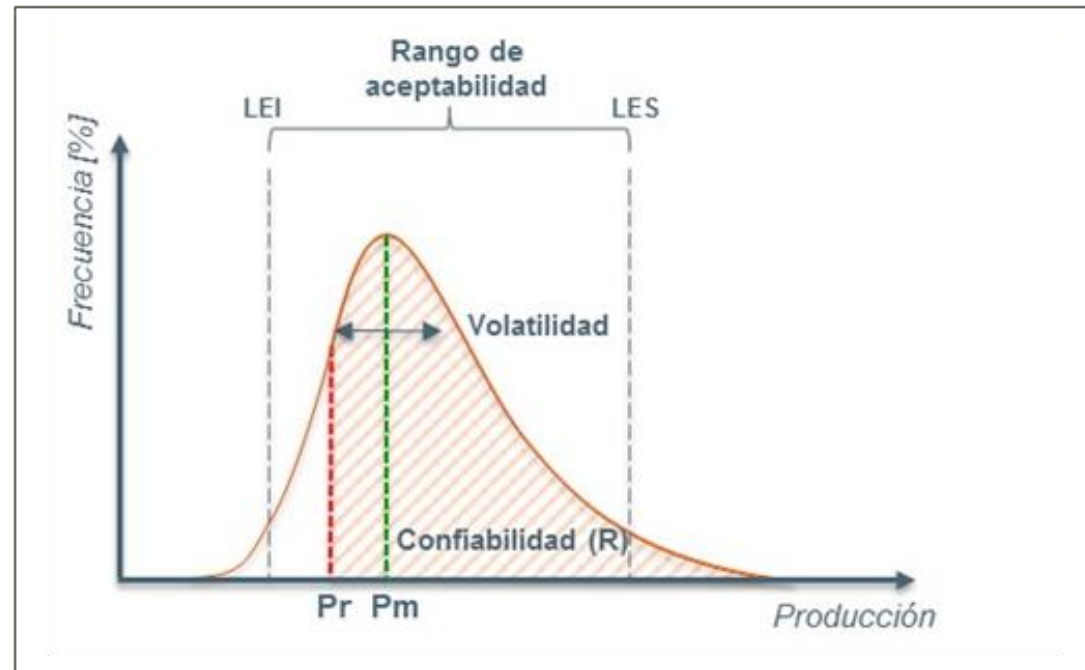
# Métrica de Cumplimiento del Plan (*Plan Compliance*)

$$Compliance = \text{Max} \left[ 0, \left( 1 - \left( \frac{V}{C_{pk}} \right) * \left( \frac{1-R}{0.5} \right) \right) \right]$$

$$\forall Pr \in [LEI, LES]$$

Donde,

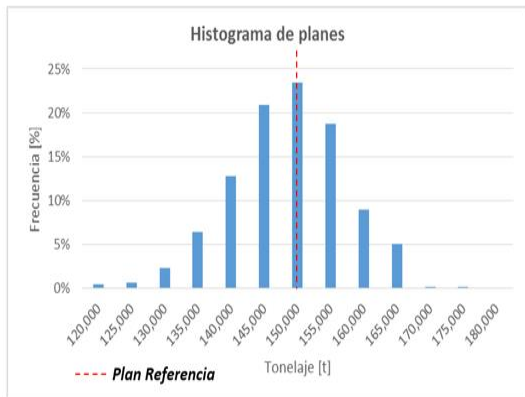
- **$V/C_{pk}$ : shape factor**, to account for the shape of the mining system capacity distribution curve in relation to the limits of acceptance for mine plans.
- **$(1-R)/0.5$ : position factor**, to account for the location of the proposed plan within the distribution curve of the mining system production plans.



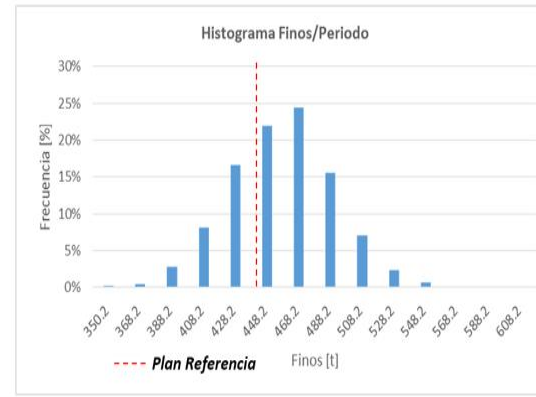
# Ejemplos Numéricos de KPIs para *Plan Compliance*

<b>System Capacity Pm [Mt]</b>	420								
<b>Desv. Est. [Mt]</b>	10			30			50		
<b>Volatility [%]</b>	2.4%			7.1%			11.9%		
<b>Plan Alternative (Pr)</b>	Pr (a1)	Pr (a1)	Pr (a1)	Pr (b1)	Pr (b2)	Pr (b3)	Pr (c1)	Pr (c2)	Pr (c3)
<b>Mine Production [Mt]</b>	410	420	430	410	420	430	410	420	430
<b>Reliability [%]</b>	84%	50%	16%	63%	50%	37%	58%	50%	42%
<b>LEI [Mt]</b>	390			330			270		
<b>LES [Mt]</b>	450			510			570		
<b>Cpk</b>	1.00	1.00	0.67	1.00	1.00	0.89	1.00	1.00	0.93
<b>Compliance [%]</b>	<b>99</b>	<b>98</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>93</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>88</b>	<b>85</b>

# Volatilidad del Programa de Producción y Estimación de Riesgo Operacional

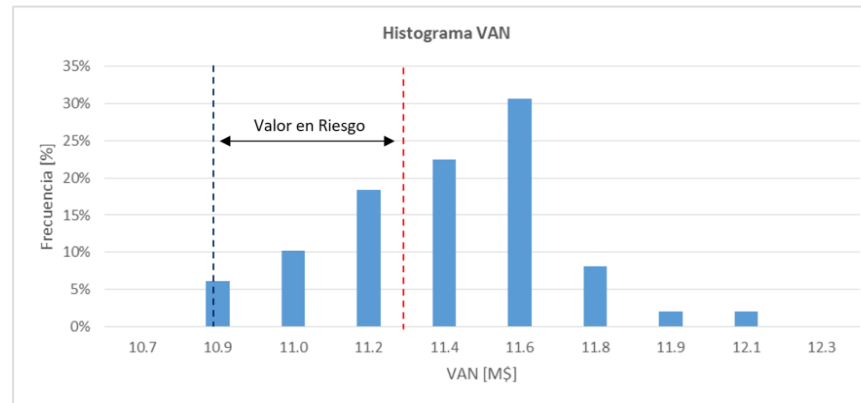


Parámetro	Promedio [t]	Desv. Est [t]	Volatilidad [%]	Confiabilidad Pr [%]
Plan (150 ktpd)	146,174	8450.1	5.78%	33%



Parámetro	Promedio [t]	Desv. Est [t]	Volatilidad [%]	Confiabilidad Pr [%]
Fino	447.4	31.8	7.12%	53%

Parámetro	Mina	Proceso (Finos)
Capacidad Media del Sistema [t]	146,174	447.4
Desv. Est [t]	8,450	31.8
Volatilidad [%]	5.8%	7.1%
<b>Plan de Referencia [t]</b>	<b>150,000</b>	<b>445</b>
<b>Confiabilidad [%]</b>	<b>33%</b>	<b>53%</b>
Cp	1	1
LEI [t]	120,824	352
LES [t]	171,524	543
Cpk	0.85	1.00
<b>Plan Compliance [%]</b>	<b>91%</b>	<b>93%</b>

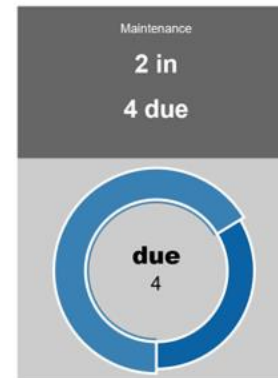
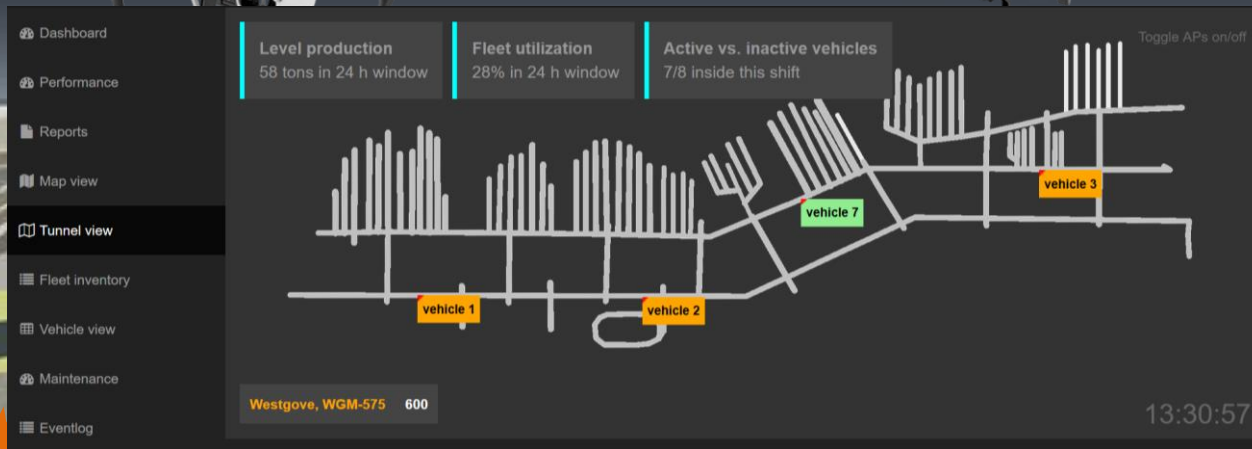


--- VAN Plan : 11.3 MUS\$

--- CVAR: 10.88 MUS\$

CVAR (10%)	VAN Plan [MUS\$]	Valor en Riesgo
10.88	11.32	3.85%

# Mine Compliance On-Line

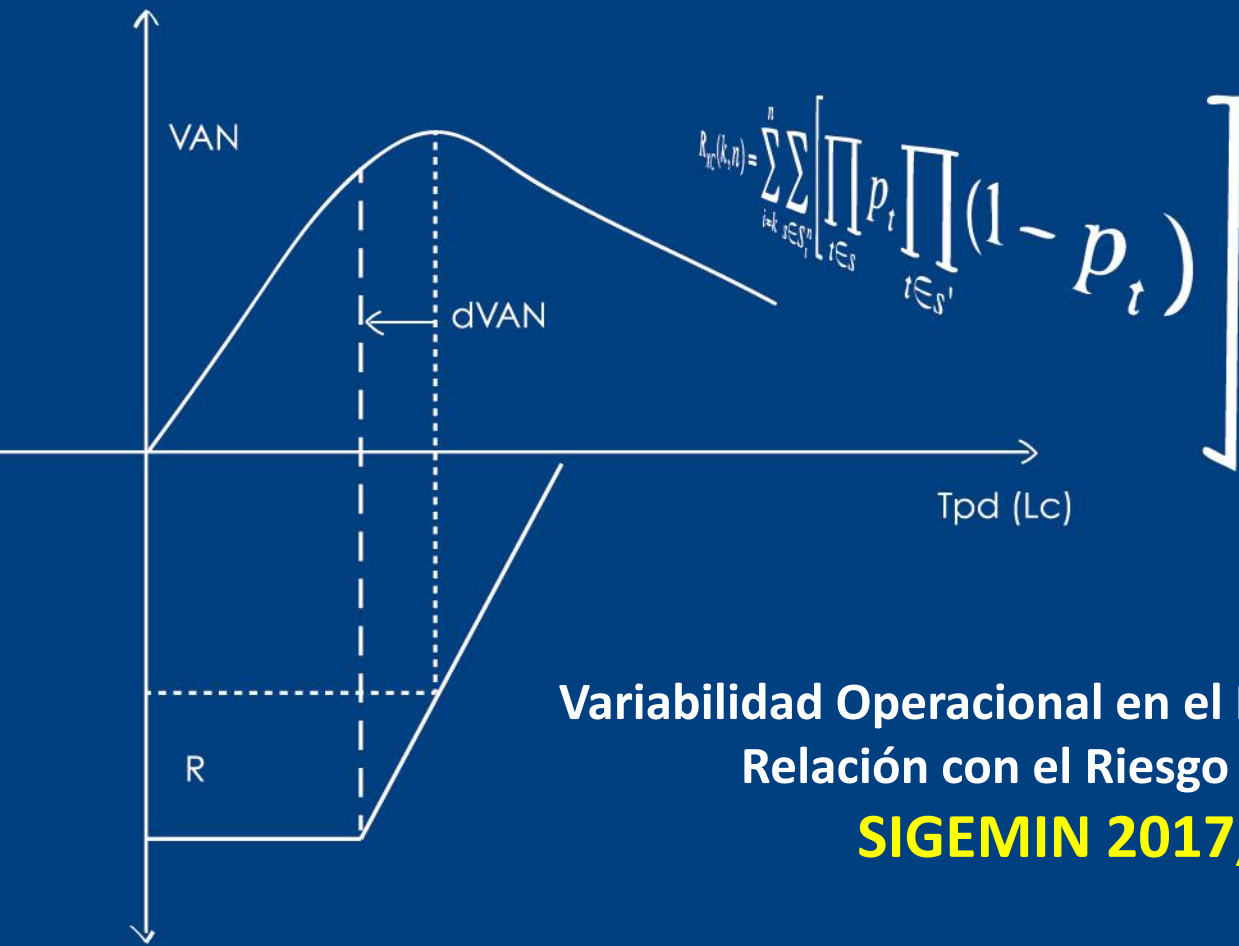


# Conclusiones

---

- ❑ Variabilidad operacional debe ser incorporada en el cálculo de programas de producción mineros, para estimar la confiabilidad de los mismos.
- ❑ La adición de flexibilidad operacional permite mitigar la falta de confiabilidad y minimizar el riesgo del negocio minero
- ❑ La volatilidad de planes de producción induce a desviaciones operacionales que destruyen valor; 10% de desviaciones geométricas producen pérdida de valor anuales por sobre el 5%.
- ❑ Las desviaciones operacionales deben medirse para gestionarlas y se deben establecer KPIs para acotar las mismas.





**Variabilidad Operacional en el Planeamiento de Minas y su  
Relación con el Riesgo del Negocio Minero**  
**SIGEMIN 2017, LIMA, Perú**

**REDCO**  
Mining Consultants