

GESTIÓN DEL RIESGO DE INVERSIÓN EN MINERÍA: UN ENFOQUE NUEVO

Por: José Antonio Botín
Doctor Ingeniero de Minas



Esta conferencia incorpora conceptos del artículo: *“Botín, J.A., Smith, M.L. and Guzmán, R. A Methodological Model to assist on the optimization and risk management of mining investment decisions. Preprint 11-024. SME Annual Meeting. Denver, CO” . 2011”* , y otras publicaciones del autor sobre gestión de riesgo económico en minería.

OBJETIVOS

- **INTRODUCCIÓN**
- **CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE GESTIÓN DE RIESGO**
- **INVERSIÓN EN MINERÍA: ¿DONDE ESTÁ EL RIESGO?**
- **GESTIÓN DE RIESGO: MÉTODOS CONVENCIONALES**
- **MPRM : UN CONCEPTO NUEVO**

OBJETIVOS

➤ **INTRODUCCIÓN**

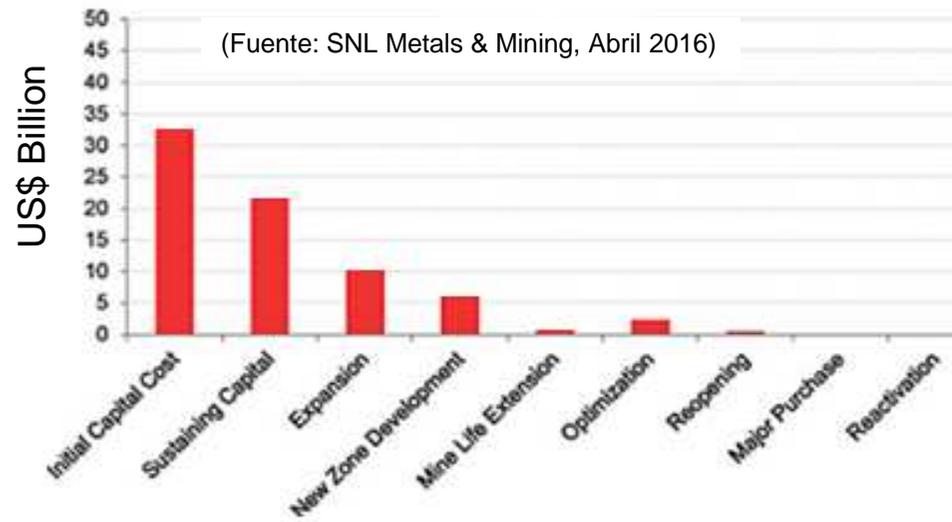
- *CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE GESTIÓN DE RIESGO*
- *INVERSIÓN EN MINERÍA: ¿DONDE ESTÁ EL RIESGO?*
- *GESTIÓN DE RIESGO: MÉTODOS CONVENCIONALES*
- *MPRM : UN CONCEPTO NUEVO*

EL MERCADO DE MINERALES

	(US\$ billion)		
	No energeticos	Energeticos	TOTAL
Valor ventas (turnover)	1.000	4.500	5.500
CAPEX (Inversion total)	100	200	300
CAPEX (Exploración)	10	40	50

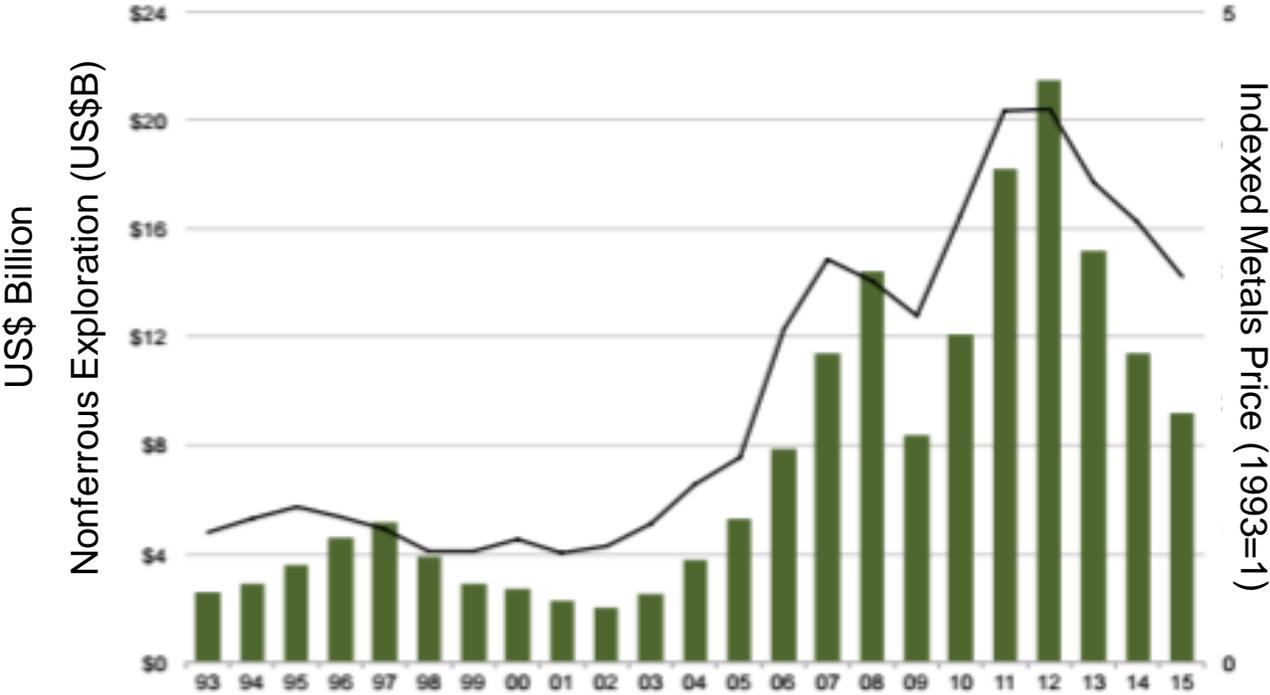
(Fuente: Elaboración propia. Datos 2014 estimados y redondeados)

INVERSIÓN DE CAPITAL TOTAL EN MINERÍA DE NO-FERREOS (Año 2015, según tipo de inversión)



INVERSIÓN GLOBAL EN EXPLORACION MINERA DE NO-FERREOS

(Periodo 1993-2015)



(Fuente: SNL Metals Economics Group)

OBJETIVOS

➤ *INTRODUCCIÓN*

➤ **CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE GESTIÓN DE RIESGO**

➤ *INVERSIÓN EN MINERÍA: ¿DONDE ESTÁ EL RIESGO?*

➤ *GESTIÓN DE RIESGO: MÉTODOS CONVENCIONALES*

➤ *MPRM : UN CONCEPTO NUEVO*

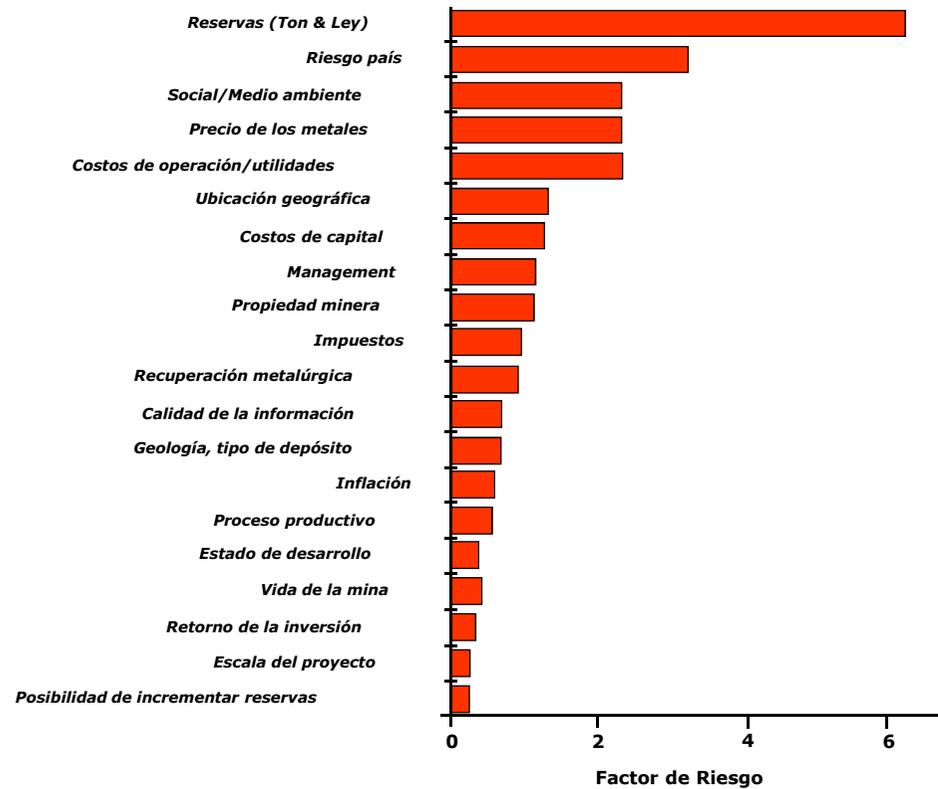
EL RIESGO ES FUNCION DE LA PROBABILIDAD Y EL IMPACTO

GESTIONAR EL RIESGO ES:

- ✓ Caracterizar sus fuentes y origen
- ✓ Evaluar su impacto económico
- ✓ Aplicar estrategias para limitarlo

Principales Riesgos de inversión en minería

(Fuente: Xtrata Mining, Comunicación verbal)



**La incertidumbre como fuente de riesgo
puede resultar en impactos “positivos” y
“negativos”**

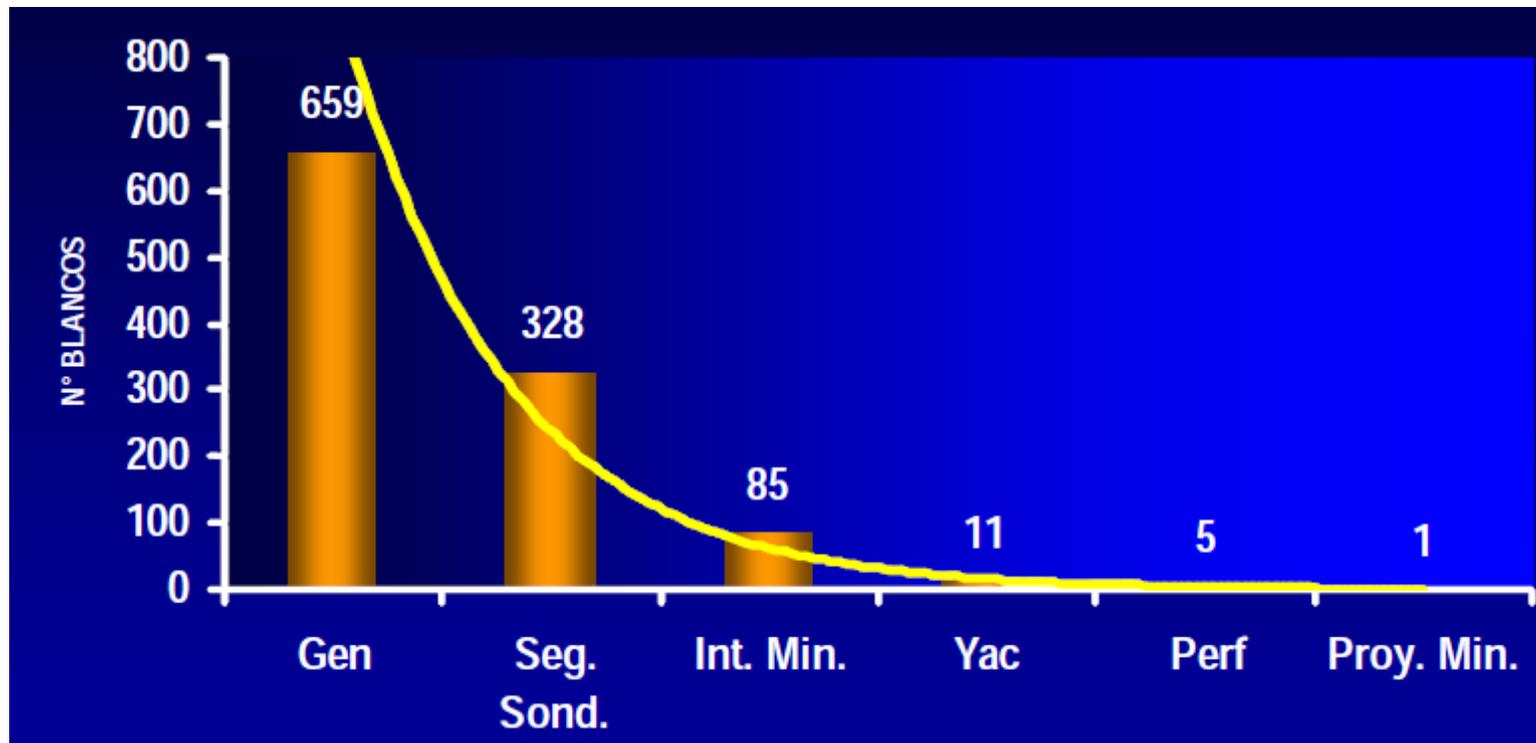
por tanto:

***Gestión de riesgo y optimización
deben ser parte de un único proceso de
gestión***

OBJETIVOS

- *INTRODUCCIÓN*
- *CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE GESTIÓN DE RIESGO*
- **INVERSIÓN EN MINERÍA: ¿DONDE ESTÁ EL RIESGO?**
- *GESTIÓN DE RIESGO: MÉTODOS CONVENCIONALES*
- *MPRM : UN CONCEPTO NUEVO*

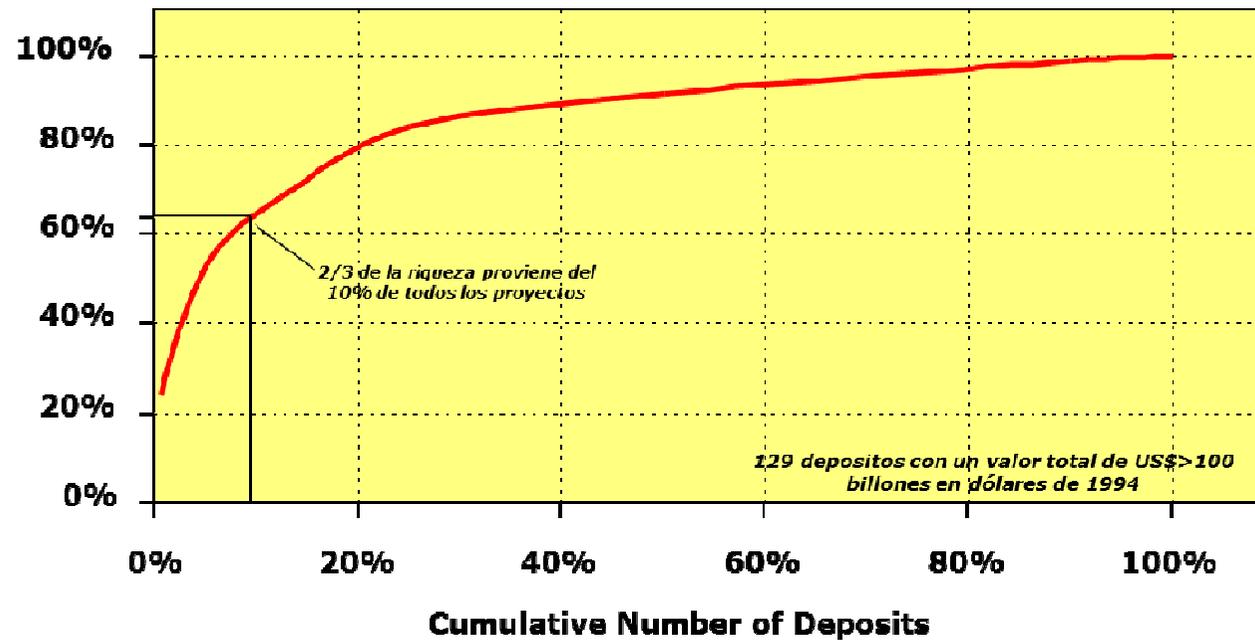
EL RIESGO EN EXPLORACION



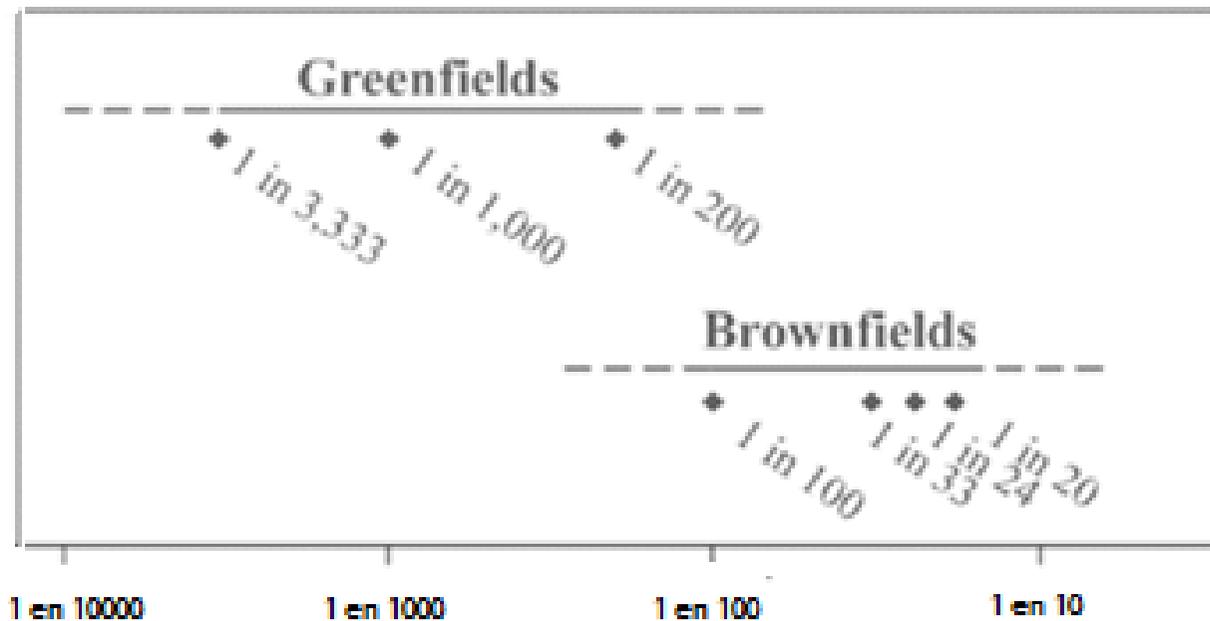
TAMBIEN SE CUMPLE LA REGLA DE PARETO

Cumulative NPV @ 8% discount rate

BASE METALS



TÍPICOS RATIOS DE ÉXITO EN EXPLORACION MINERA



(Fuentes: Lord et al. (2001), L. McMahon (2004), R. Schodde (2006), Rio Tinto (2007) and Kennecott (2007))

EL RIESGO EN LA ETAPA DE EXPLORACION

(Modelo conceptual)

$$NPV\left(c_0 + \sum (c_i \cdot p_i)\right) < \text{RIESGO} < NPV\left(c_0 + \sum_i (c_i \cdot p_i) - V\right)$$

RIESGO: Valor esperado de las inversiones en el momento de la decisión de producción

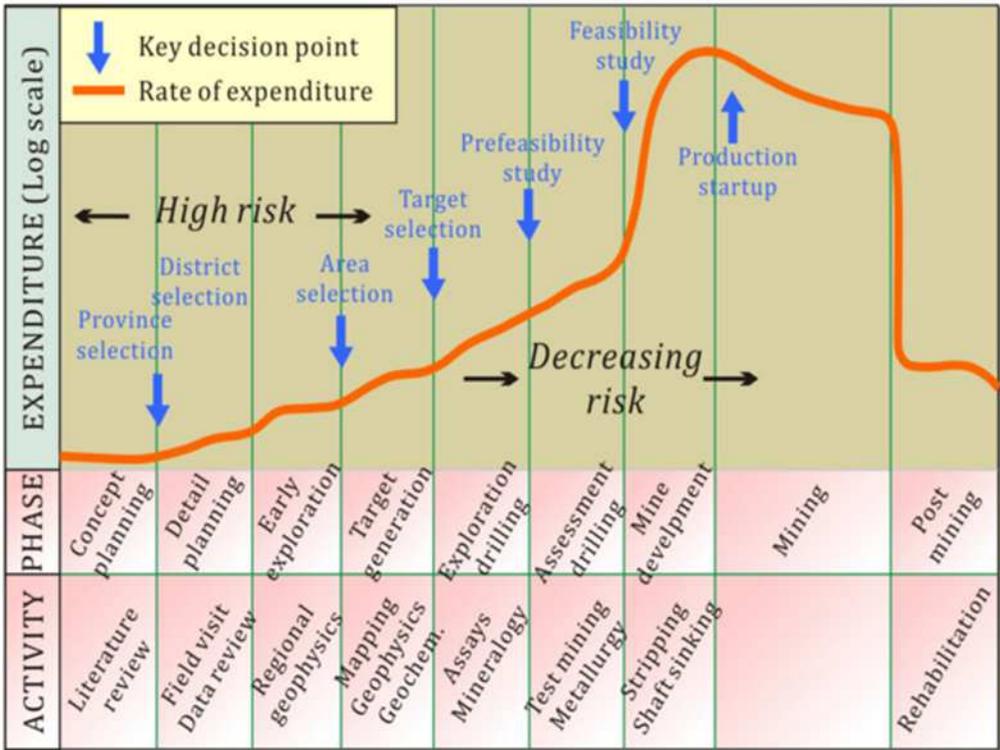
c_0 : Costes directo de los trabajos de exploración realizados en el momento de la evaluación t_0 .

c_i : Coste esperado del sub-proceso de exploración i . a realizar en el futuro (estimación de experto)

p_i : Probabilidad de que el proyecto no sea descartado antes de llegar al sub-proceso i .

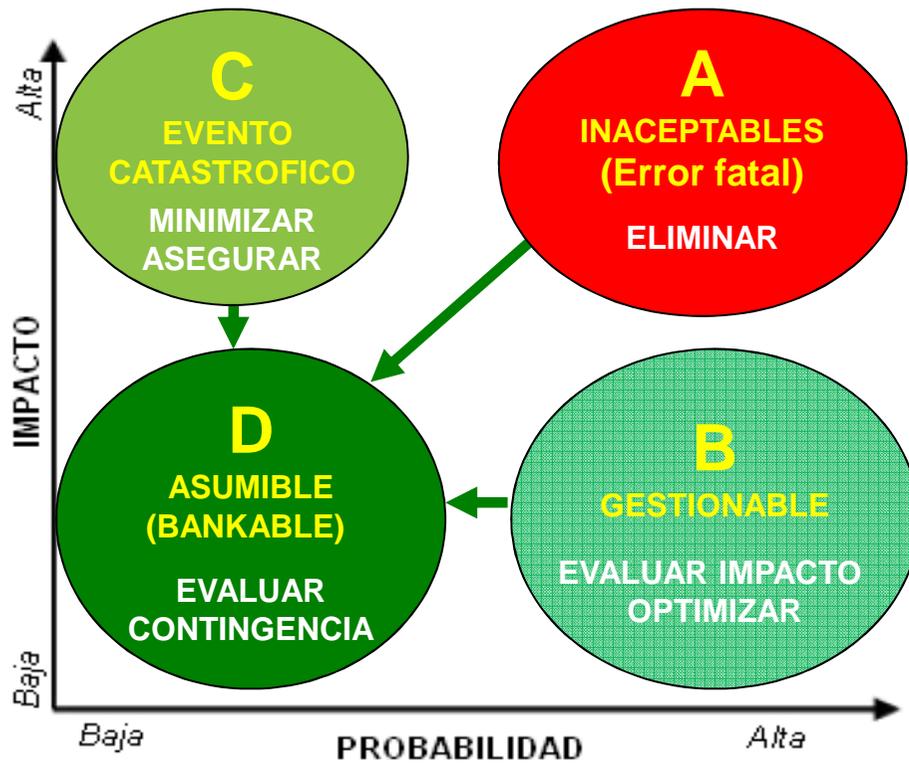
V : Retorno económico neto obtenible en caso de entrada en producción del proyecto

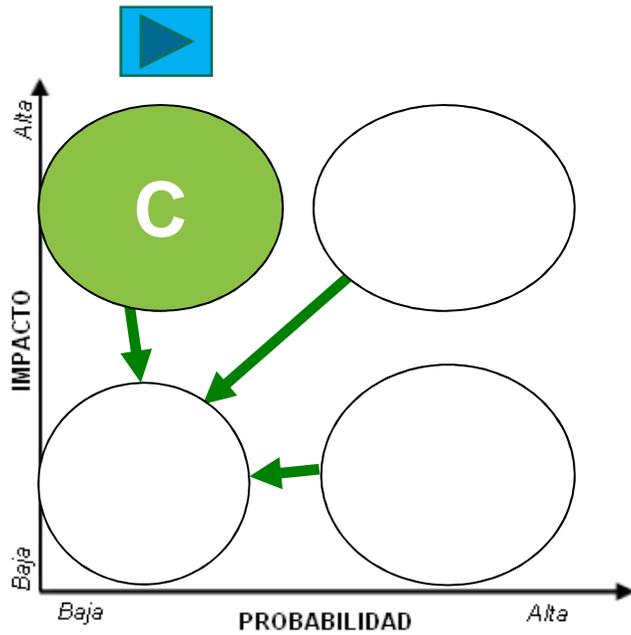
**EL PROYECTO MINERO
ES UN PROCESO DE
TOMA DE DECISION DE
INVERSIÓN PARA
REDUCIR DEL RIESGO
ECONOMICO HASTA
NIVELES ASUMIBLES**



(Fuente: David Groves, 2015)

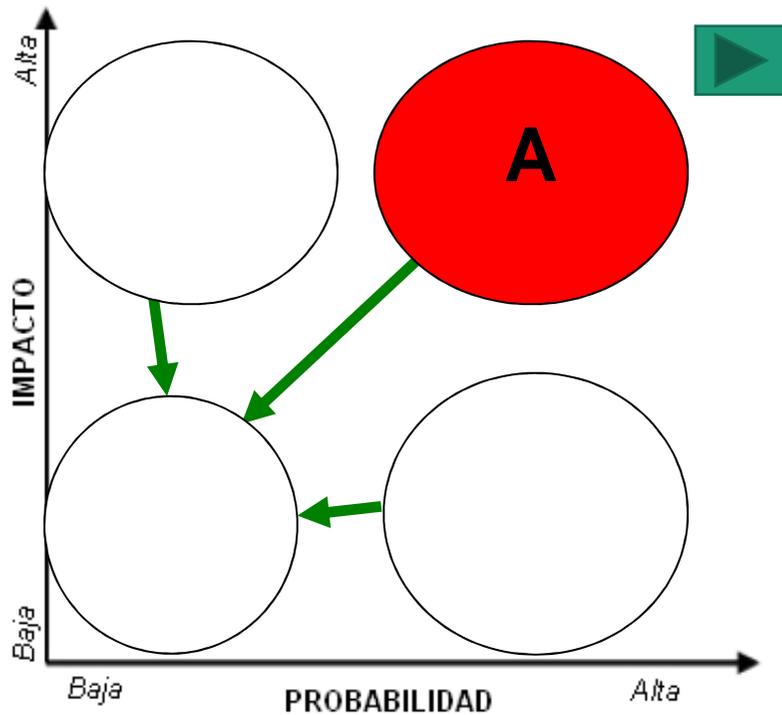
LOS CUATRO TIPOS DE RIESGO EN UNA DECISION DE INVERSION





“C”

RIESGO CATASTROFICO
MINIMIZAR/ASEGURAR

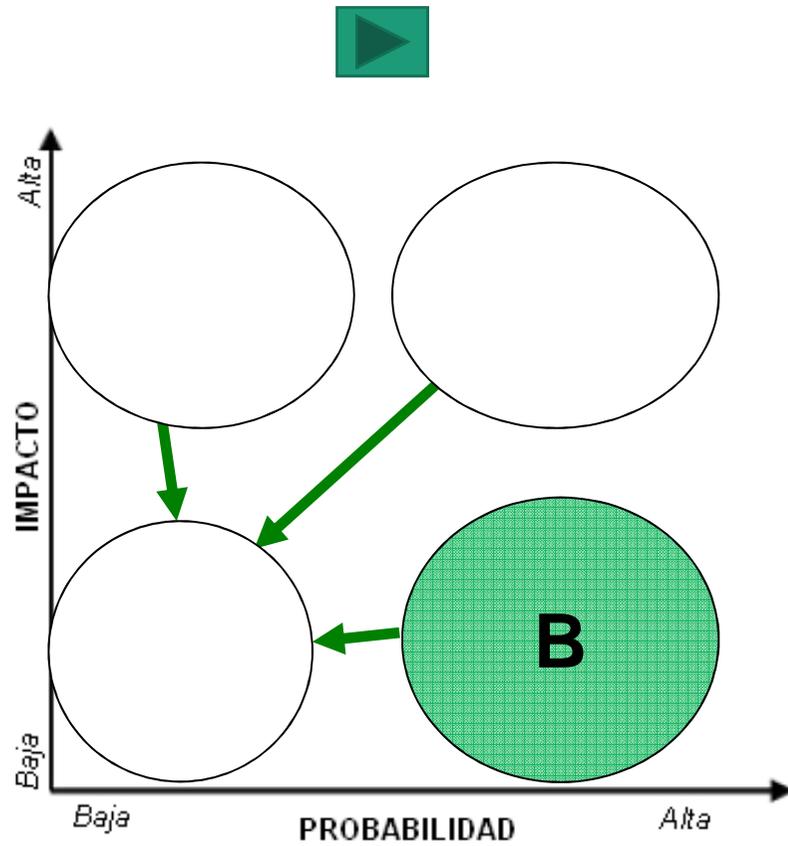


“A”

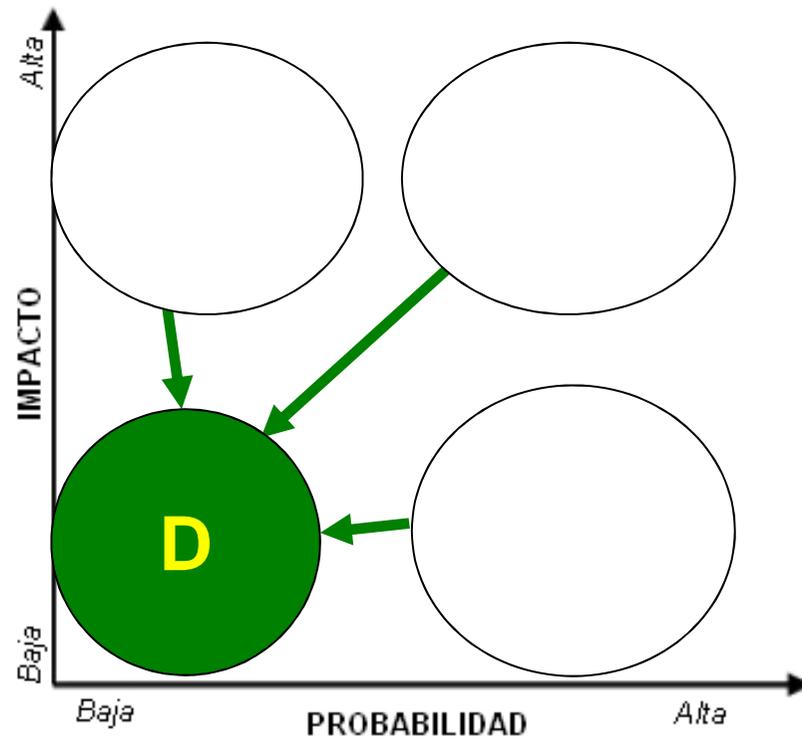
ERROR FATAL

**PUEDE SER CAUSA DE
INVIABILIDAD ECONOMICA**

**OJO: LA PROBABILIDAD DE UN ERROR FATAL ES MUCHO MAYOR
EN PROYECTOS ECONOMICAMENTE MARGINALES**



“B”
RIESGO GESTIONABLE
EVALUAR/OPTIMIZAR



“D”
RIESGO ASUMIBLE
(BANKABLE)

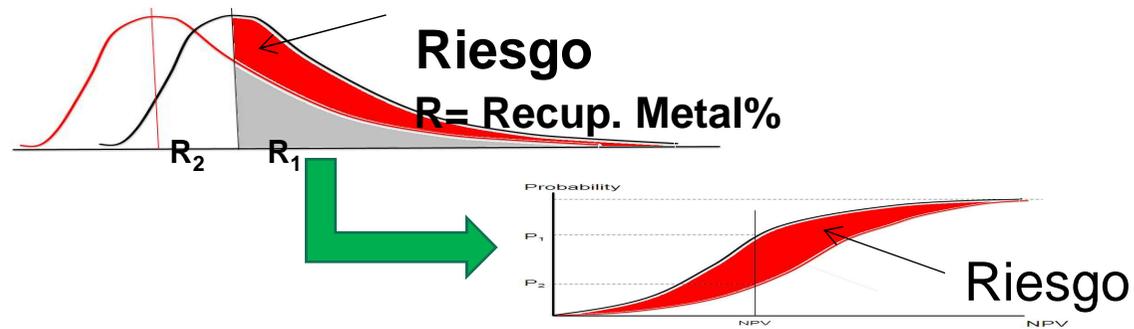


OBJETIVOS

- *INTRODUCCIÓN*
- *CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE GESTIÓN DE RIESGO*
- *INVERSIÓN EN MINERÍA: ¿DONDE ESTÁ EL RIESGO?*
- **GESTIÓN DE RIESGO: MÉTODOS CONVENCIONALES**
- *MPRM : UN CONCEPTO NUEVO*

SIMULACION MONTECARLO

Generación de función probabilística empírica del VAN/IRR resultante de modelos probabilísticos de parámetros del proyecto (Caso Base)



LIMITACIONES

- No es herramienta de gestión (no determina fuentes de incertidumbre)
- Introduce errores asociados al modelo estocástico
- Introduce errores por dependencia entre parámetros

“GLOBAL OPTIMIZERS”

Modelos basados en “O.R. y Simulación” que integran la incertidumbre del modelo de bloques en la planificación minera (Vulcan, Datamine, Wittle,..)

LIMITACIONES

- Foco en recursos y planificación minera, no evalúa riesgos aguas abajo**
- No gestiona el riesgo**

OPCIONES REALES

El riesgo asociado a un concepto de proyecto o “escenario” se cuantifica como el VAN de los flujos de caja diferenciales respecto a una opción “sin riesgo”

LIMITACIONES

- Foco en agregar valor al VAN, mediante evaluación de escenarios de entorno**
- Muy potente, si se emplea como herramienta de gestión de riesgo**

NINGUNO DE LOS METODOS CONVENCIONALES PERMITE LA GESTION DEL RIESGO, YA QUE:

...

- ✓ No caracterizan las fuentes de riesgo
- ✓ No se integran en la cadena de valor
- ✓ No se enfocan a la toma de decisión

...

“It is evident from the reviews of numerous projects that project team participants do not always concentrate on aspects which have greatest impact and significant effort was often devoted to items that had limited impact on cash flow. Furthermore, significant risks or contributions were not afforded due attention”. *(Fuente: Craig Hutton, Anglo American)*

OBJETIVOS

- *INTRODUCCIÓN*
- *CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE GESTIÓN DE RIESGO*
- *INVERSIÓN EN MINERÍA: ¿DONDE ESTÁ EL RIESGO?*
- *GESTIÓN DE RIESGO: MÉTODOS CONVENCIONALES*
- **MPRM : UN CONCEPTO NUEVO**

MPRM- Mine Project Risk Management

ES UN ENFOQUE METODOLOGICO PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO ECONOMICO QUE INTEGRA LA ESTRUCTURA DEL RIESGO Y LA CADENA DE VALOR DEL PROYECTO.

.. CON FOCO EN:

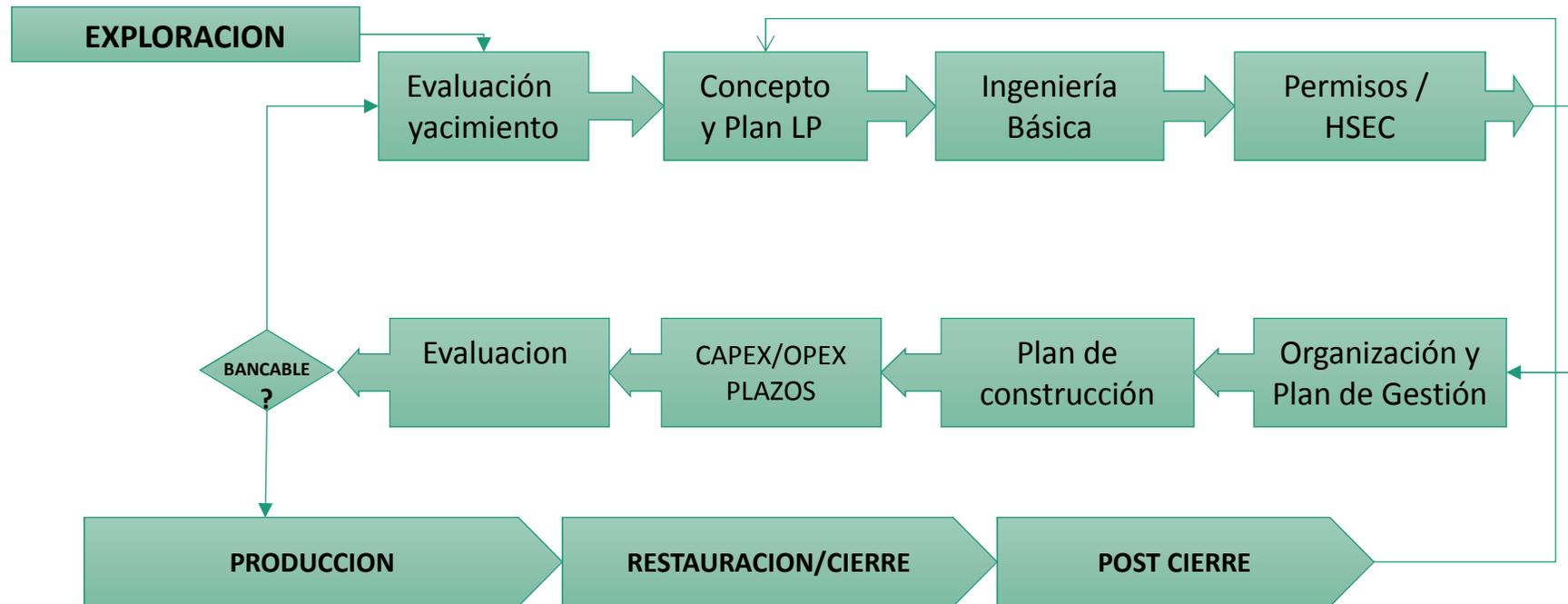
- ✓ **La decisión de inversión**
- ✓ **La eficiencia en la inversión**
- ✓ **El valor agregado al proyecto**

MPRM CREA UNA ESTRUCTURA DE RIESGO INTEGRADA EN LA CADENA DE VALOR DEL PROYECTO QUE PERMITE CARACTERIZAR LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRE CRITICAS:

EL FOCO ES AGREGAR VALOR AL PROYECTO MEDIANTE:

- ✓ Eliminación de los riesgos no asumibles (“bancables”)
- ✓ Agregar valor realización el potencial “hacia arriba” y reduciendo el potencial “hacia abajo”

ESQUEMA DE LA CADENA DE VALOR DEL PROYECTO



LAS TRES FASES DE MPRM

I - CARACTERIZACION (AUDITORIA):

- Estructura de Riesgo (Matriz)
- Diagnostico previo
- Análisis cualitativo

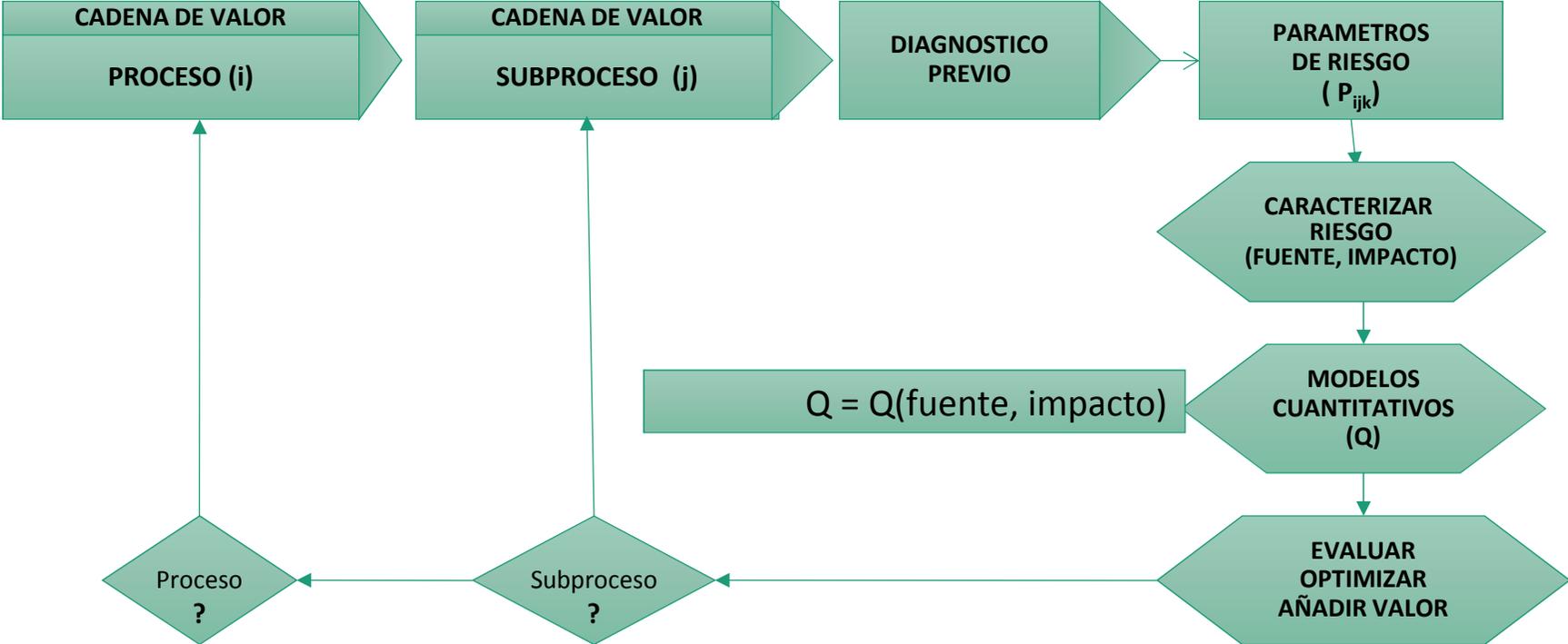
II - CUANTIFICACIÓN:

- Modelos cuantitativos
- Cuantificación "UP-DOWNSIDE"

III - GESTION/OPTIMIZACIÓN:

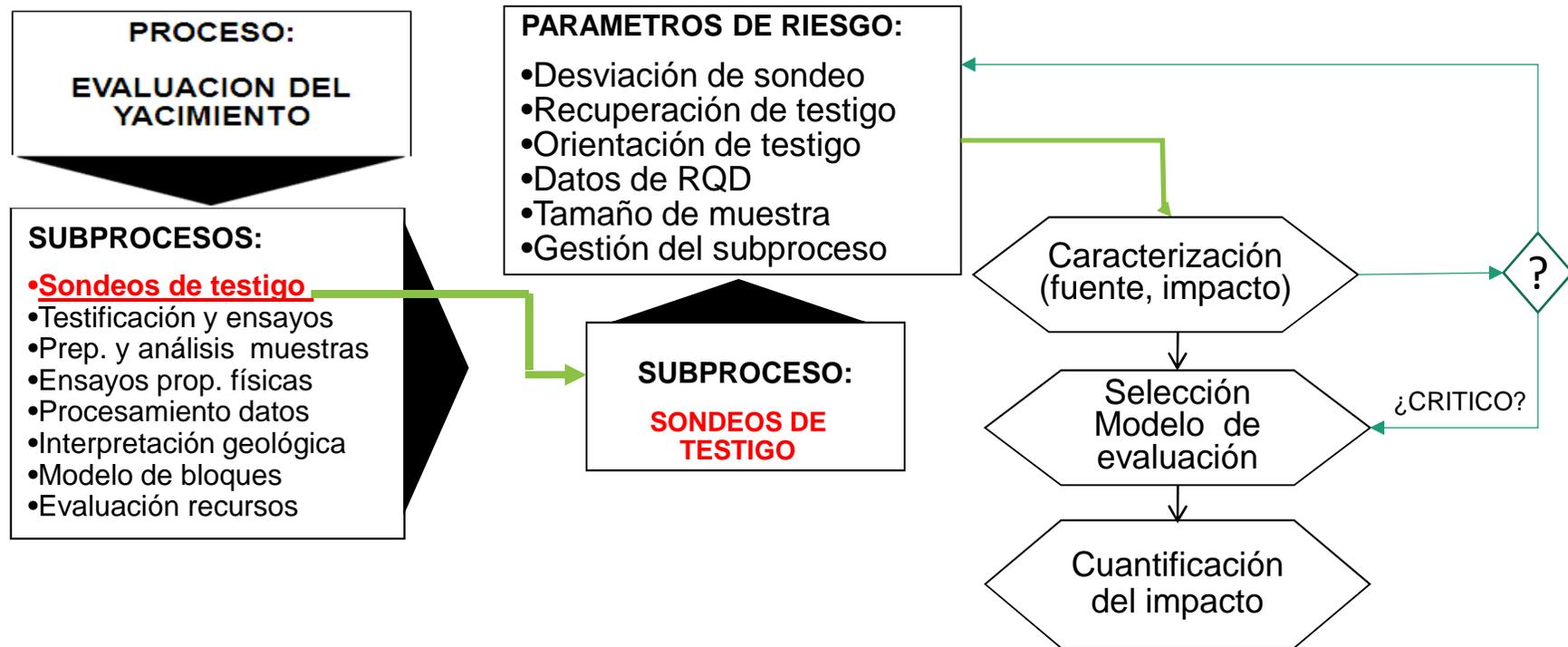
- Análisis coste-beneficio
- Optimización / limitación riesgo
- Revisión de proyecto

MPRM – EL PROCESO DE CARACTERIZACION



MPRM – EL PROCESO DE CARACTERIZACION

ESTRUCTURA DE RIESGO DE UN SUBPROCESO (Ejemplo)



FUENTES DE RIESGO E INCERTIDUMBRE (Ejemplo)

FUENTES DE INCERTIDUMBRE:

- Insuficiente información
- Uso deficiente de la información
- Poca exactitud/precisión de datos
- Representatividad de muestras
- Concepto de proyecto
- Ingeniería básica
- Plan y cronograma del proyecto
- Planes de gestión operacional
- Mercado Minerales (precio, demanda.)
- Mercados financieros

FUENTES DE PELIGRO:

- Ubicación y layout del proyecto
- Ingeniería de mina
- Ingeniería de tratamiento
- Control medio ambiental
- Control de geotécnico
- Política de aseguramiento de riesgo
- Licencia social
- Cambios Legales/regulatorios
- Gestión del Project

AREAS DE IMPACTO (Ejemplo)

- Recursos
- Dilución
- Método de Explotación
- Planificación Mina
- Ritmo de producción mina
- Ritmo de tratamiento
- Recuperación metalúrgica
- Calidad del producto
- Impacto ambiental
- Coste de capital
- Coste de operación
- Fecha de puesta en producción
- Impactos cualitativos (Social, político..)
- Variables Caso Base (precio, tipo cambio, impuestos)

MATRIZ DE FUENTES DE RIESGO CRITICOS

(EJEMPLO)

PARAMETRO DE RIESGO (P)	FUENTES DE RIESGO			
	INFORMACIÓN INSUFICIENTE	USO DEFICIENTE DE LA INFORMACIÓN	PRECISIÓN EXACTITUD	REPRESENTATIVIDAD DE LA MUESTRA
Densidad in-situ	X			X
Humedad	X	X	X	X
Porosidad	X			X
Mineralogia		X		
Estructura	X	X	X	X
Resistencia		X		

MPRM – EL PROCESO DE CARACTERIZACION



DIAGNOSTICO (Ejemplo)

- ¿Hay riesgo en método explotación?
- ¿Es adecuado el calculo de cut-off?
- ¿Es calculo de dilución preciso?
- ¿Es plan de producción flexible?
- ¿Sistemas de control de ley validado?
- ¿Es rendimiento de equipos realista?
- ¿Volumen de desagüe OK?
- ¿Es ingeniería de transporte OK?
- ¿Es ingeniería botaderos OK?
- ¿Sistemas de ventilación OK?
- ¿Sistemas de comunicación adecuados?
- ¿Sistemas de seguridad OK?

MPRM – EL PROCESO DE CARACTERIZACION

SUBPROCESOS

- Ensayos de proceso
- Producción de diseño (t/h)
- Granulometría molienda
- Recup. metalúrgica %
- Disponibilidad planta (%)
- Calidad del producto
- Tests (molienda, filtros..)
- Especificaciones equipos

Ingeniería
procesamiento

DIAGNOSTICO (Ejemplo)

- ¿Disponibilidad molienda realista?
- ¿Son muestras P. Piloto representativas?
- ¿Son tests molienda representativos?
- ¿Está recuperación metal bien estimada?
- ¿Hay riesgo cumplir calidad de producto?
- ¿Es lay-out proceso adecuado?
- ¿Es nivel de automatización OK?
- ¿Es “scale-up” prudente?
- ¿Tests rendimiento equipos OK?
- ¿Se incluyen perdidas en transporte?

MPRM – EL PROCESO DE CUANTIFICACION

DESARROLLO DE MODELOS CUANTITATIVOS PARA CADA RIESGO CRITICO

Riesgos Clase A : “Error fatal”

$\Delta(\text{VAN})$ respecto a alternativa con riesgo asumible

Método: Experiencia + evaluación opción alternativa

Riesgos Clase B : Gestionables

$\Delta(\text{VAN})$ coste información vs valor agregado

Métodos: Técnica de optimización s/fuente

Riesgos Clase C : Catastróficos

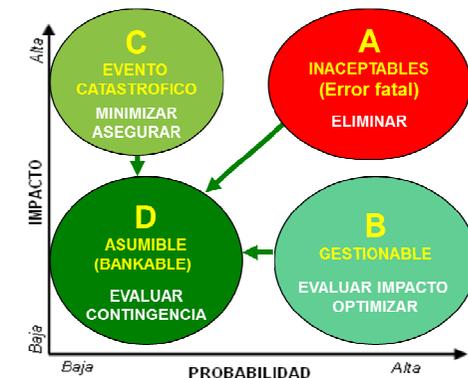
$\Delta(\text{VAN})$ respecto a concepto con riesgo asumible

Método: Revisión de concepto y valoración impacto

Riesgos Clase D : Asumible (bancable)

Contingencia en CAPEX Y OPEX

Método: Modelos cuantitativos



MPRM – EL PROCESO DE GESTION

ALGUNOS CASOS DE ESTUDIO PUBLICADOS:

1-RIESGO ASOCIADO AL PLAN DE CONSTRUCCIÓN (Proyecto Chuquicamata subterráneo) - [botin-Campbell-SME Preprint-2014.pdf](#)

2-RIESGO ASOCIADO A LA DILUCION DE LEY (Proyecto Chuquicamata subterráneo) - [Botin-Del Castillo-SAIMM-2013.pdf](#)

3-RIESGO ASOCIADO A LA LEY DE LAS RESERVAS Y RECURSOS (Proyecto Gabriela Mistral) - [Botin-Valenzuela-IJMRE-2014.pdf](#)

4-RIESGO ASOCIADO AL COSTE DE OPERACION (Proyecto Andina) - [Botin-Vergara-Resource Policy-2015.pdf](#)

(Nota: Estas publicaciones están disponibles previa petición al autor)

APLICACIONES DE MPRM

- **Análisis de estrategias de inversión**
- **Valoración de proyecto de exploración**
- **Evaluación de riesgos remanentes en estudio de viabilidad**
- **Estudios de “Due diligence”**
- **Gestión de riesgo en operaciones mineras**

GESTIONE EL RIESGO !!

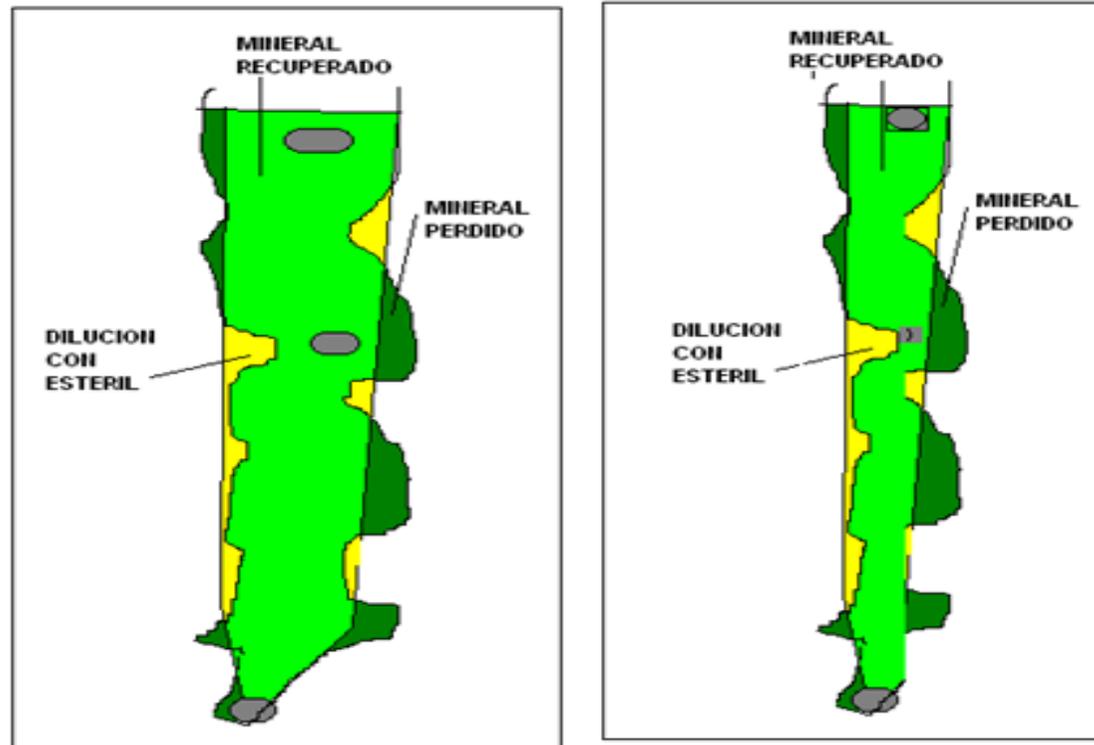


GRACIAS

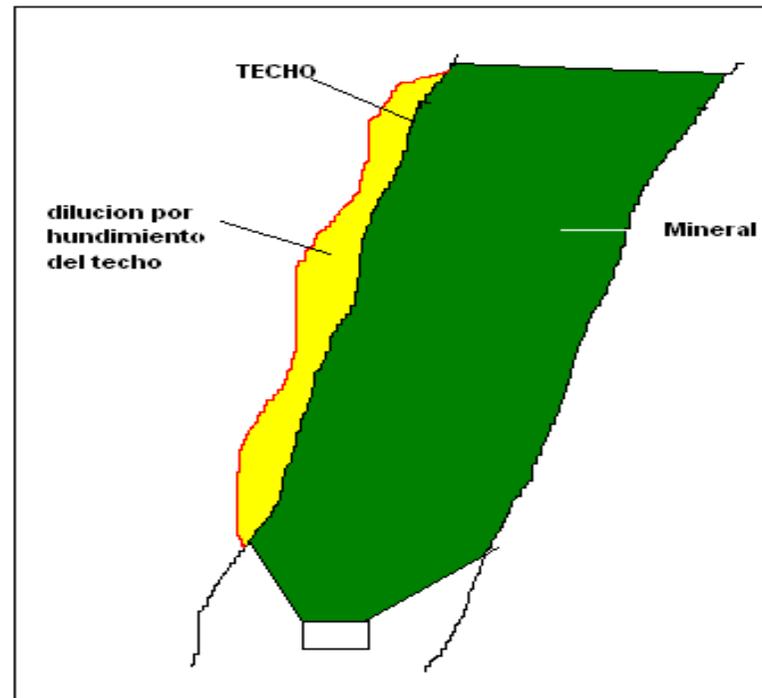
jabotin@iies.es

LAMINAS VINCULADAS

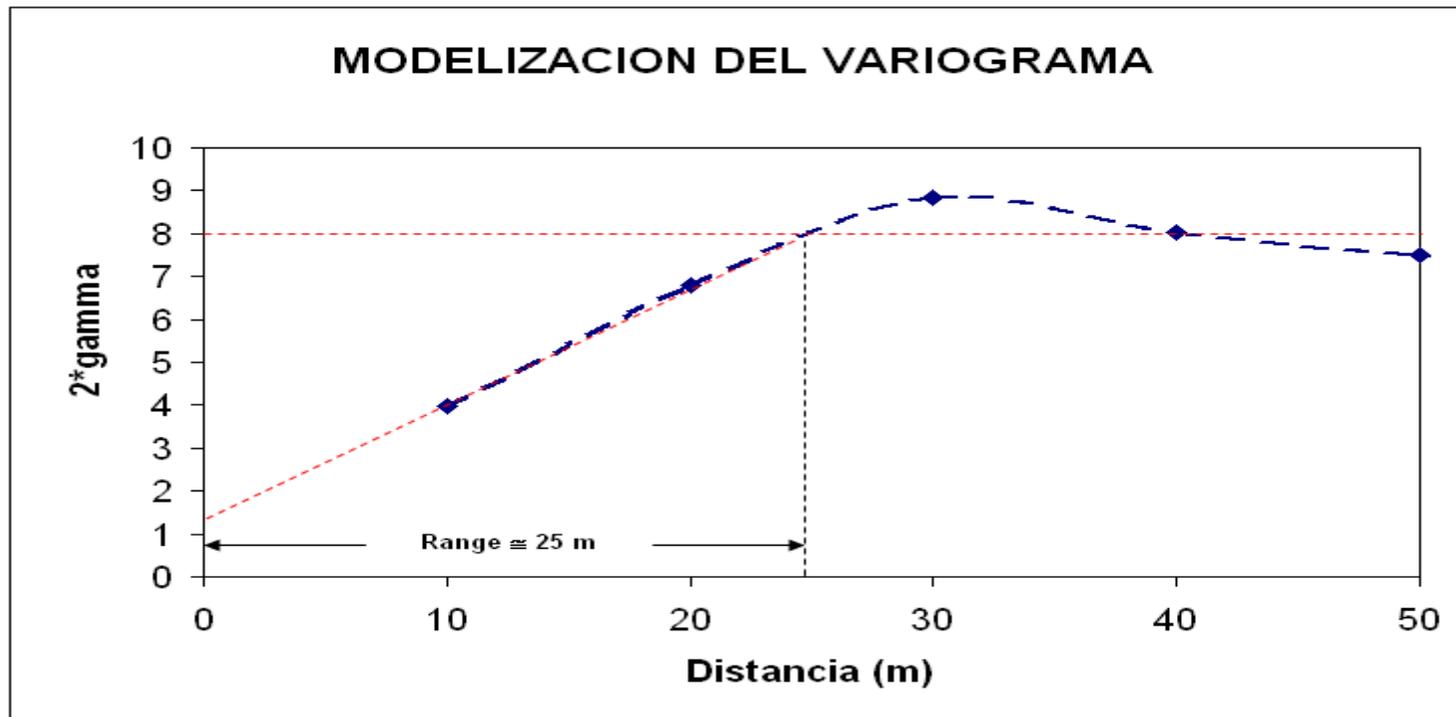
POTENCIA VS DILUCION DE DISEÑO



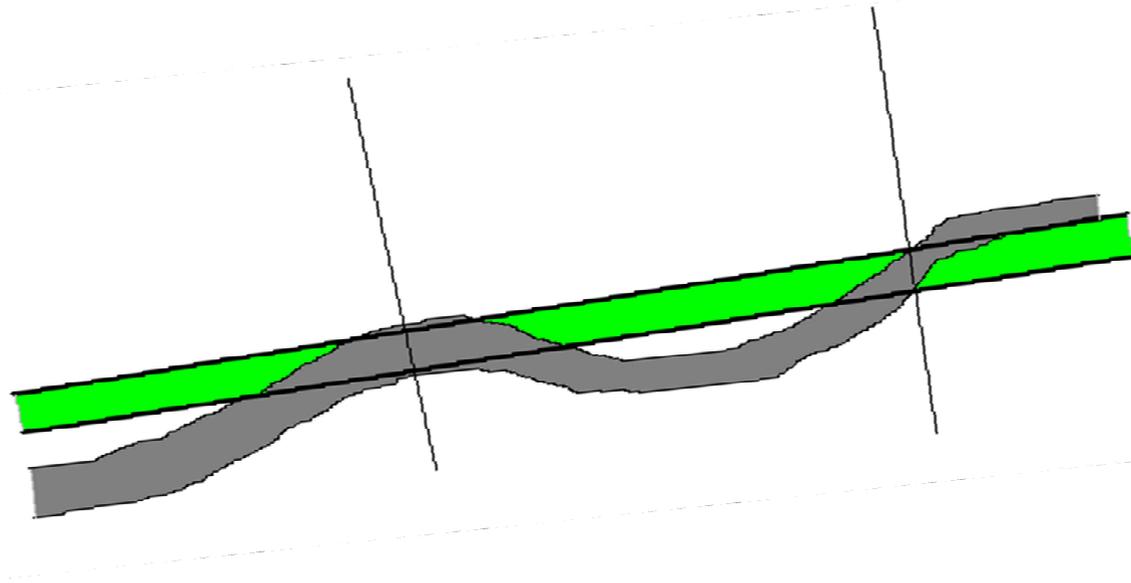
POTENCIA VS DILUCION OPERACIONAL



DENSIDAD DE INFORMACIÓN



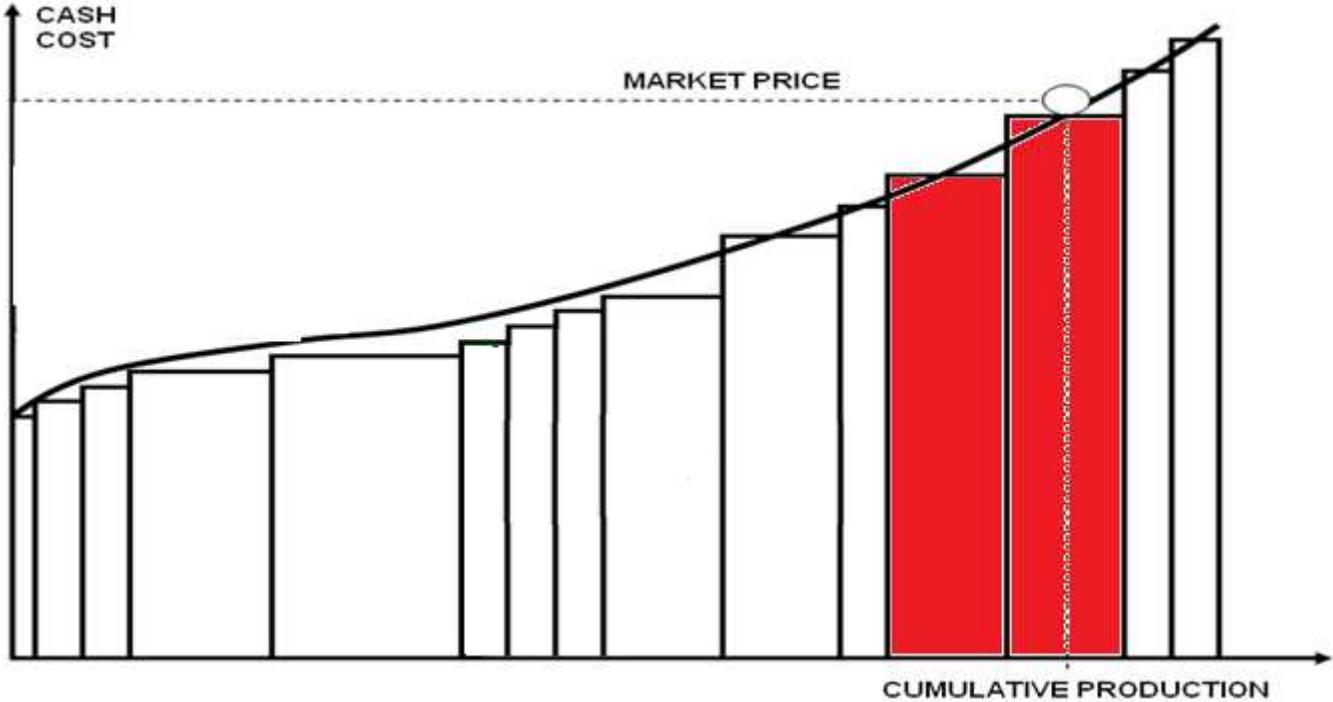
INTERPRETACION DEL YACIMIENTO



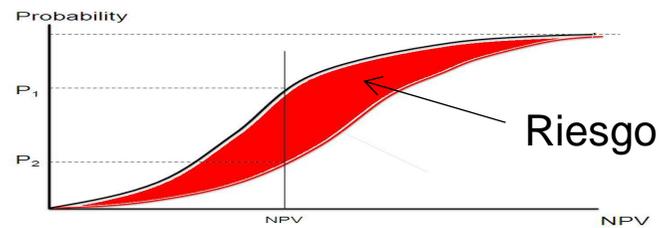
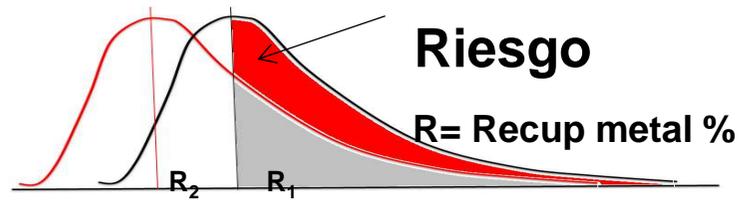
ELECCION DEL METODO DE EXPLOTACIÓN



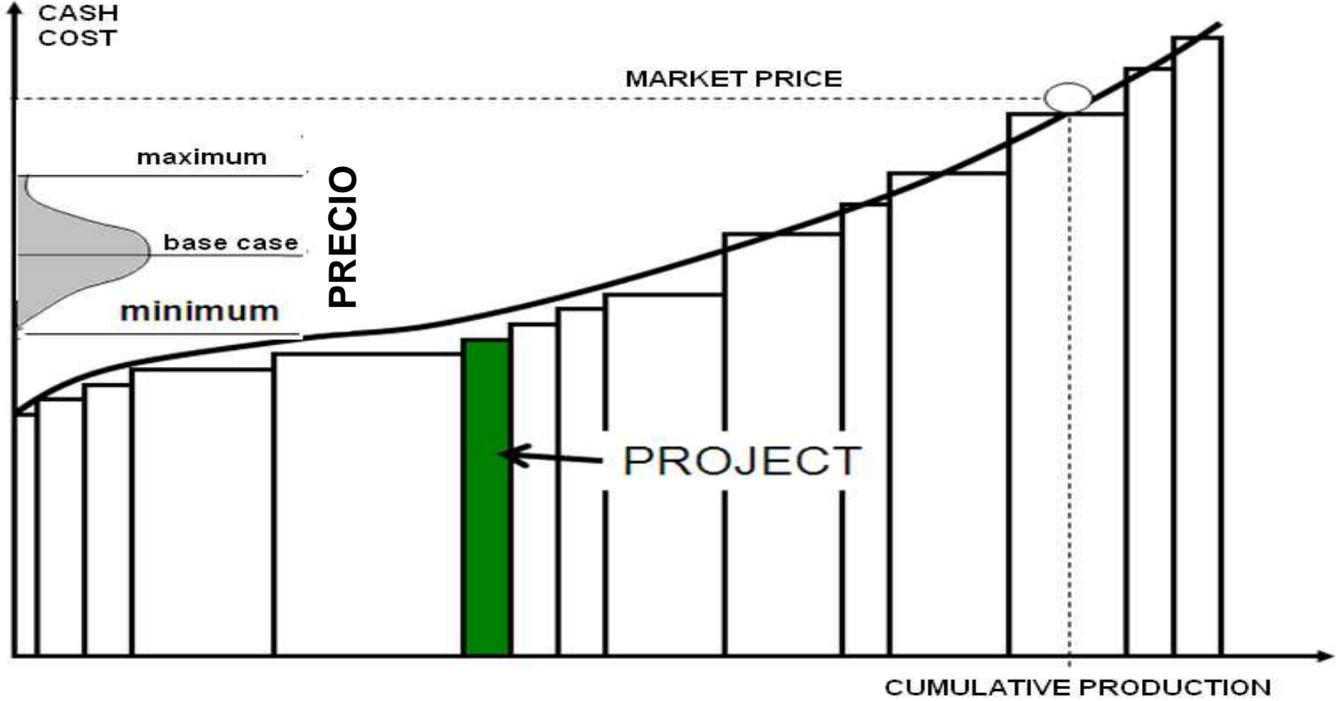
OJO: SI EL PROYECTO ES ECONOMICAMENTE MARGINAL CUALQUIER INCERTIDUMBRE PUEDE CONVERTIRSE EN ERROR FATAL



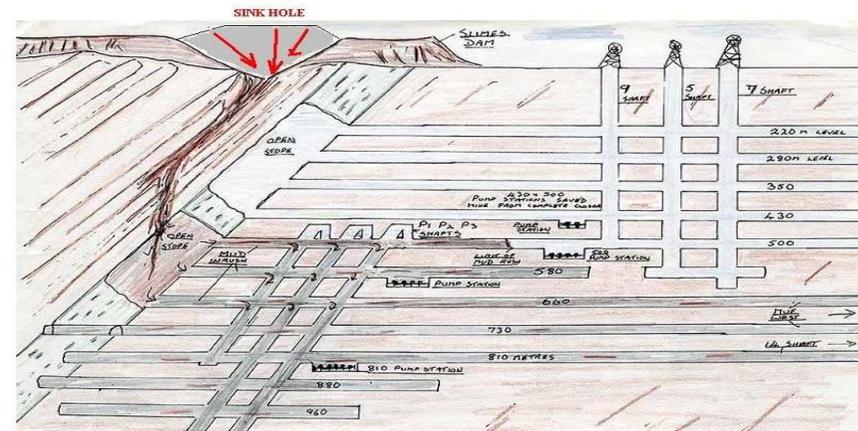
Riesgo asociado a la incertidumbre en la recuperación metalúrgica R



Riesgo asociado al precio de venta



RIESGO CATASTROFICO (MUFULIRA, ZAMBIA, 1970)



El 25/09/1970, 1 Millón t. de relaves se cuejan en la mina subterránea por una chimenea de hundimiento. 89 mineros mueren sepultados.

RIESGO CATASTROFICO (LOS FRAILES, España, 1998)

Rotura del tranque con descarga de 5 mill m³ de relaves, que cubrieron miles de hectáreas de cultivo y amenazaron el “Parque nacional Coto Doñana, patrimonio de UNESCO. (Proyecto cerrado **después de invertir \$200 Mill**)



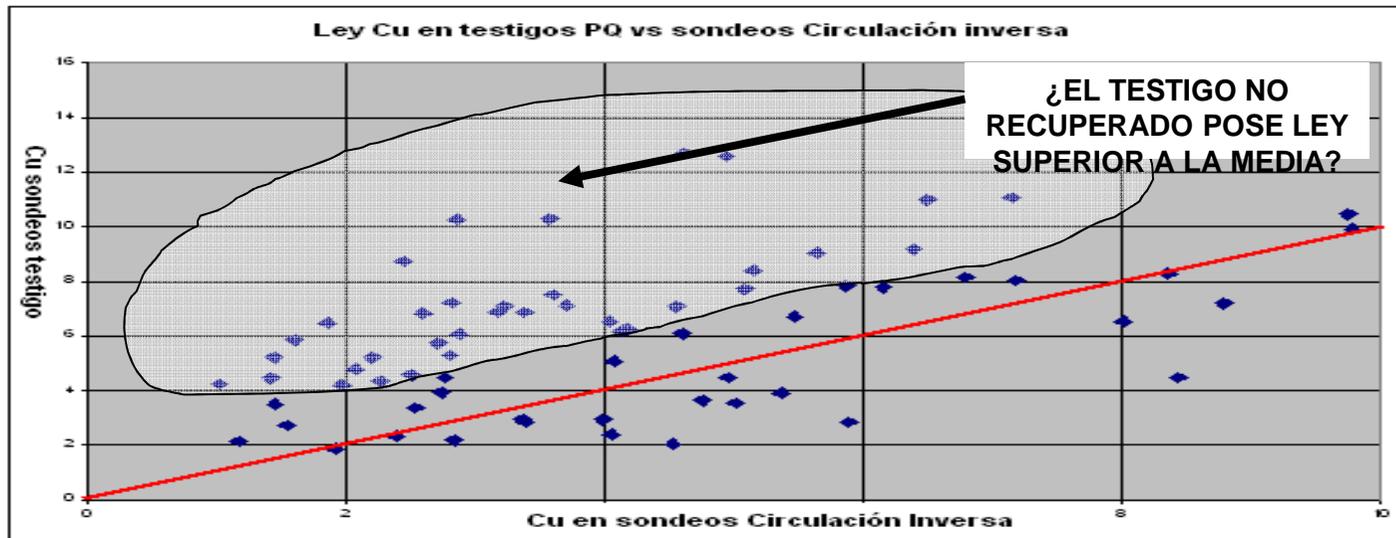


RIESGO CATASTROFICO
(Mina San José, Chile, 2010)
La rampa de acceso estaba
demasiado cerca de la rampa
de acceso





SESGO EN LA RECUPERACION DE TESTIGO



EJEMPLO DE SESGO EN SONDEOS DIAMANTINOS VS CIRCULACION INVERSA

Comparison of assays from 17 RC holes twinned with cored holes shows a reduction in reported copper grades by a factor of 30% between the original holes and the RC holes.

PUBLICACIONES GRUPO MPRM (2011-2015)

1. Botin J.A, Guzman, R. and Smith, M. 2011. A Methodological model to assist the optimization and risk management of mining investment decisions. Preprints of the 2011 annual SME Meeting. The Society for Mining, Metallurgy and Exploration. Littleton, Colorado, USA.
2. Botin J.A, Del Castillo, M.F. and Guzman, R. 2013. A Real Option Application to Manage Risk Related to Intrinsic Variables of a Mine Plan: A case Study on Chuquicamata Underground Mining Project. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Vol. 113. July 2013. Pp. 583.
3. Botin J.A., Guzman R., Valenzuela F. and Monreal C. 2014. A Conditional Simulation Model to Quantify Financial Risk Associated to Uncertainty on the Grade of Ore Reserves Inventory. International Journal of Mining, Environment and Reclamation. Taylor and Francis. London. 2014
4. Botin J., Guzman R., Sanchez, F., 2014. A Methodological Model to Manage Financial Risk Associated to Uncertainty on Rock Mass Caveability and Ore Fragmentation in the Design of Block Caving Mining Methods. Preprints of the 2014 annual SME Meeting. The Society for Mining, Metallurgy and Exploration. Littleton, Colorado, USA.
5. Botín, J., Campbell, A., & Guzmán, R. (2015). A discrete-event simulation tool for real-time management of pre-production development fleets in a block-caving project. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 29(5), 347-356.