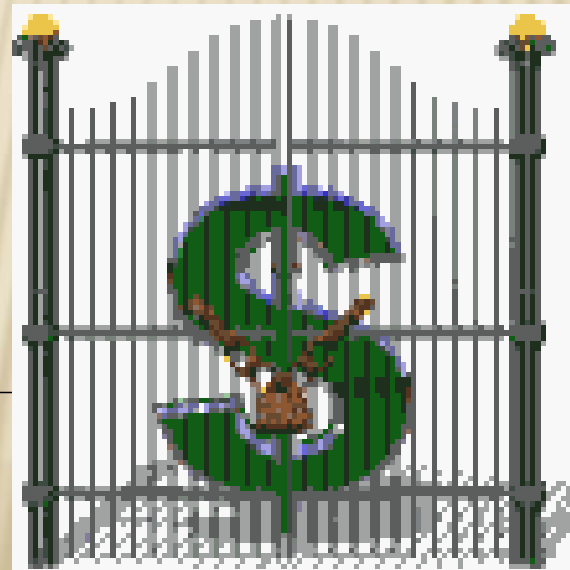
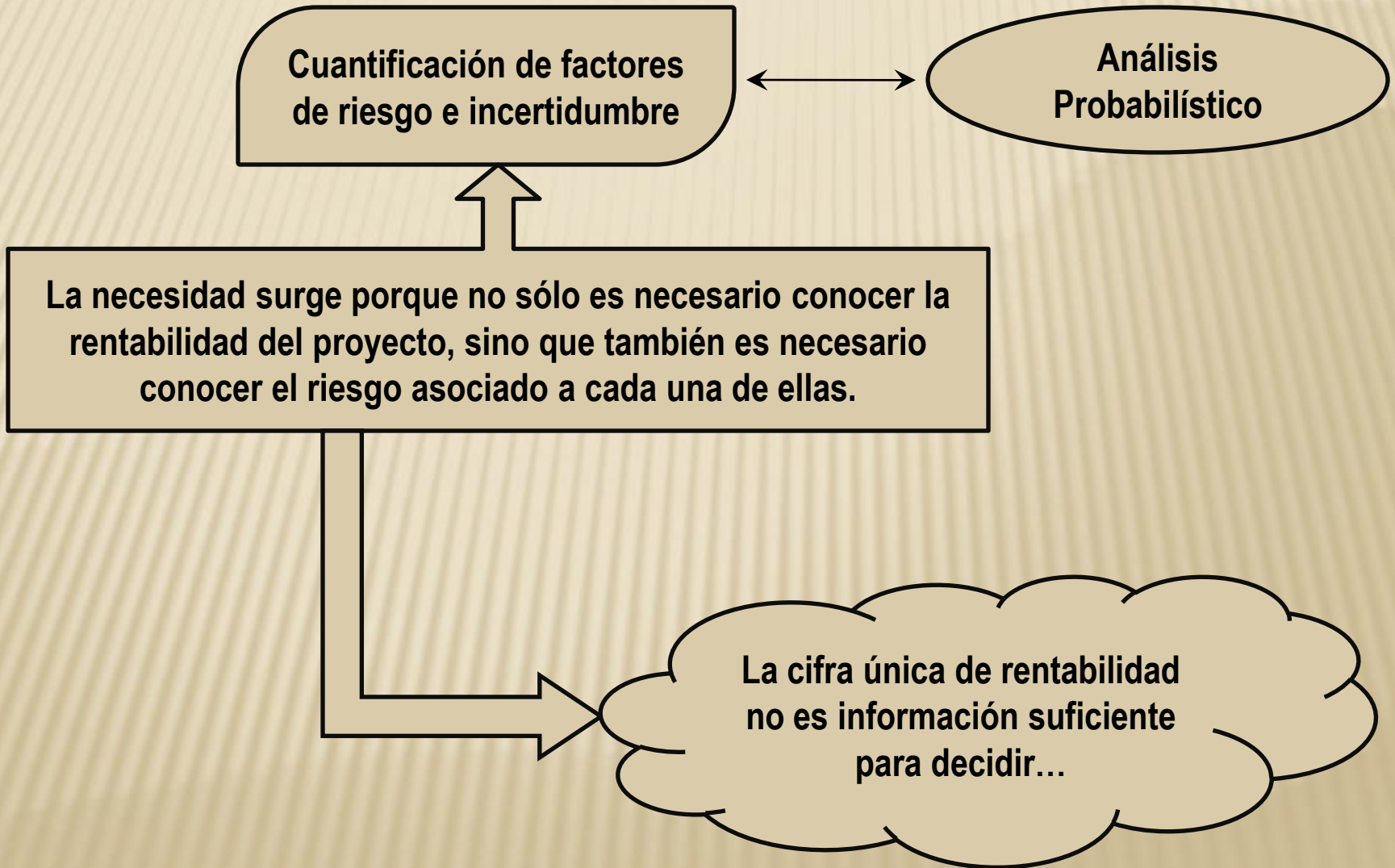


# TEMA 12

## RIESGO E INCERTIDUMBRE EN PROYECTOS MINEROS



## Riesgo e incertidumbre en proyectos mineros



## Riesgo e incertidumbre en proyectos mineros

### Métodos para analizar las decisiones de inversión en situaciones de riesgo

- Análisis de sensibilidad

Tratamos de responder la pregunta ¿qué sucedería si...?

- Análisis del valor esperado

Busca una media ponderada del valor económico del proyecto

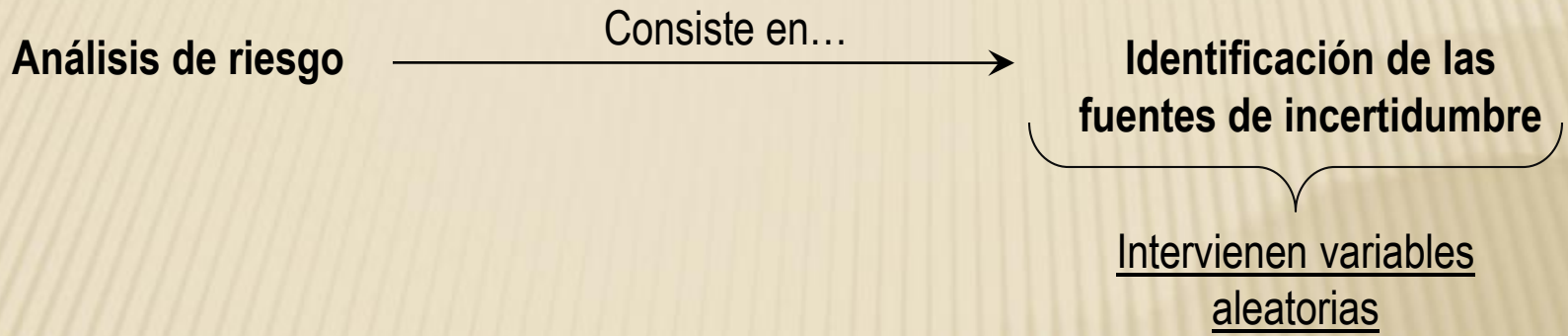
- Análisis de supervivencia

Investiga el riesgo de pérdida del capital invertido. Aunque tenga un VAN positivo, existe la probabilidad de que fracase

- Análisis de riesgo

Son cálculos repetitivos aplicando métodos de simulación aleatoria. La idea es encontrar los valores de riesgo aceptables

## Variables que aportan riesgo e incertidumbre a los proyectos mineros

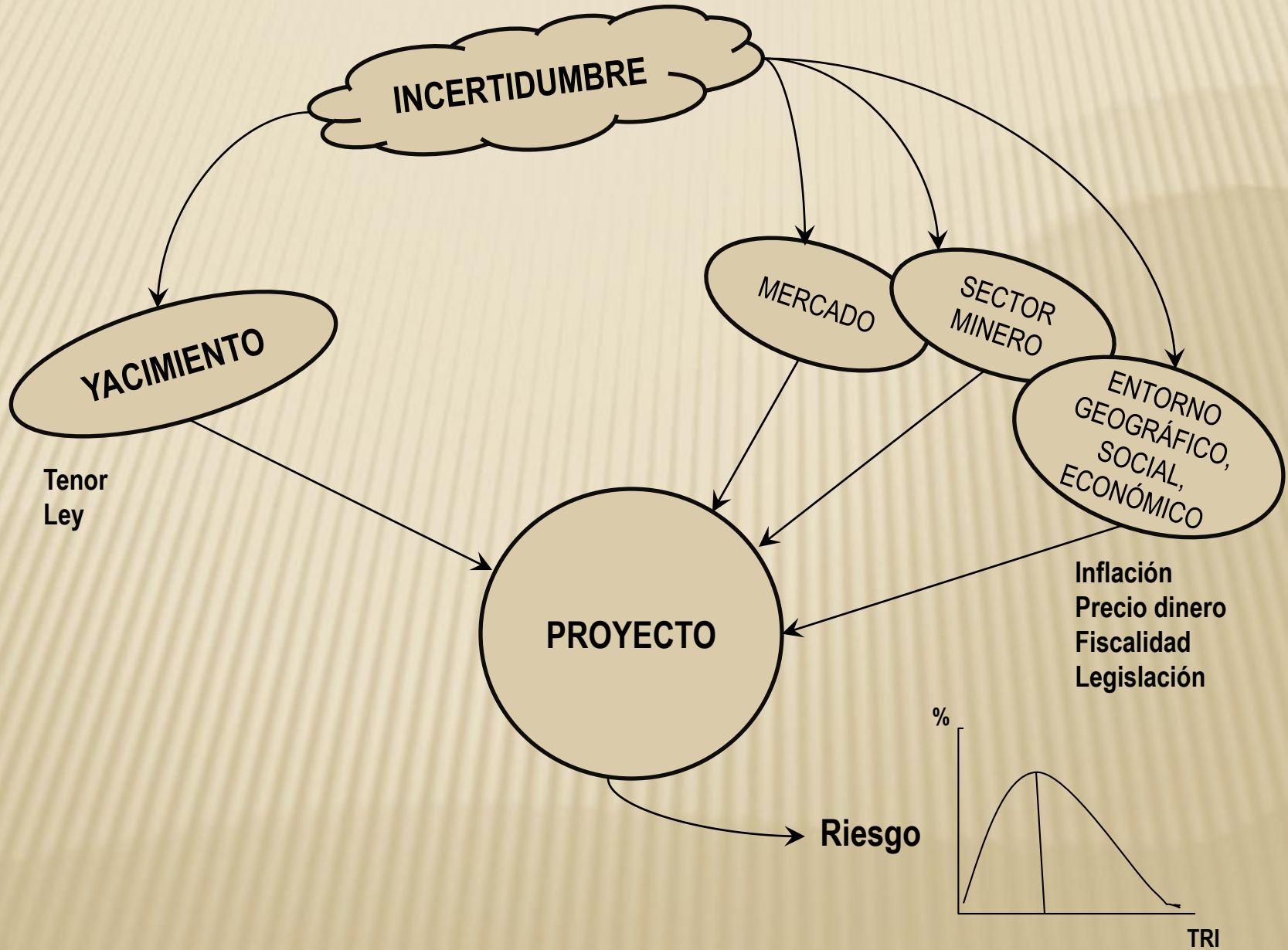


**Atendiendo a su origen  
(variables aleatorias)**

- Vinculadas al yacimiento
- Vinculadas a la operación minera
- Vinculadas al mercado y contexto exterior

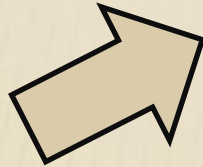
***Las dos primeras pueden clasificarse como fuentes internas de incertidumbre y el tercero como una fuente externa.***

# Fuentes de incertidumbre de un proyecto minero



## Variables que aportan riesgo e incertidumbre a los proyectos mineros

**Las causas principales de los cambios fortuitos en la economía de las explotaciones mineras**



Falta de información suficiente



Falta de control sobre determinadas variables

- Estimación mas detallada de los parámetros que intervienen en la economía del proyecto.

- Elaboración de sistema de gestión para establecer estrategias de actuación ante diversas situaciones.

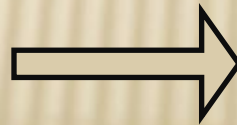


## Variables que aportan riesgo e incertidumbre a los proyectos mineros

### Variables vinculadas al yacimiento

- Los recursos totales y las reservas explotables
- Las leyes o calidades de los minerales a beneficiar
- Las características mineralógicas de la mena
- La disposición y variabilidad espacial de las masas mineralizadas
- Las propiedades geomecánicas o hidrogeológicas de los macizos rocosos
- Entre otros

Cantidad de reservas explotables

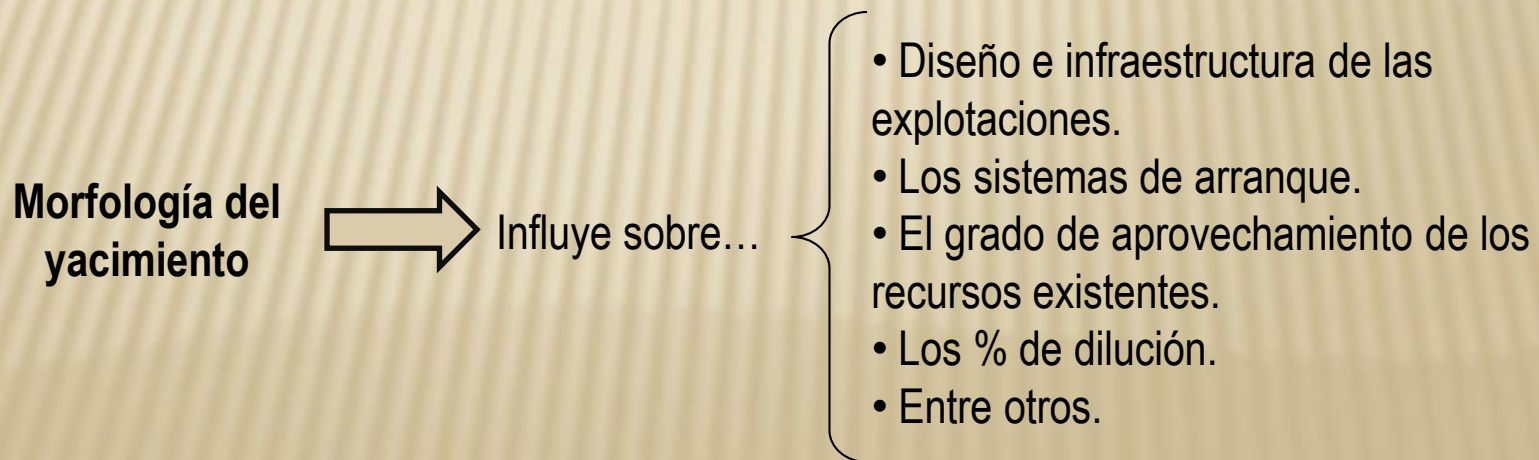
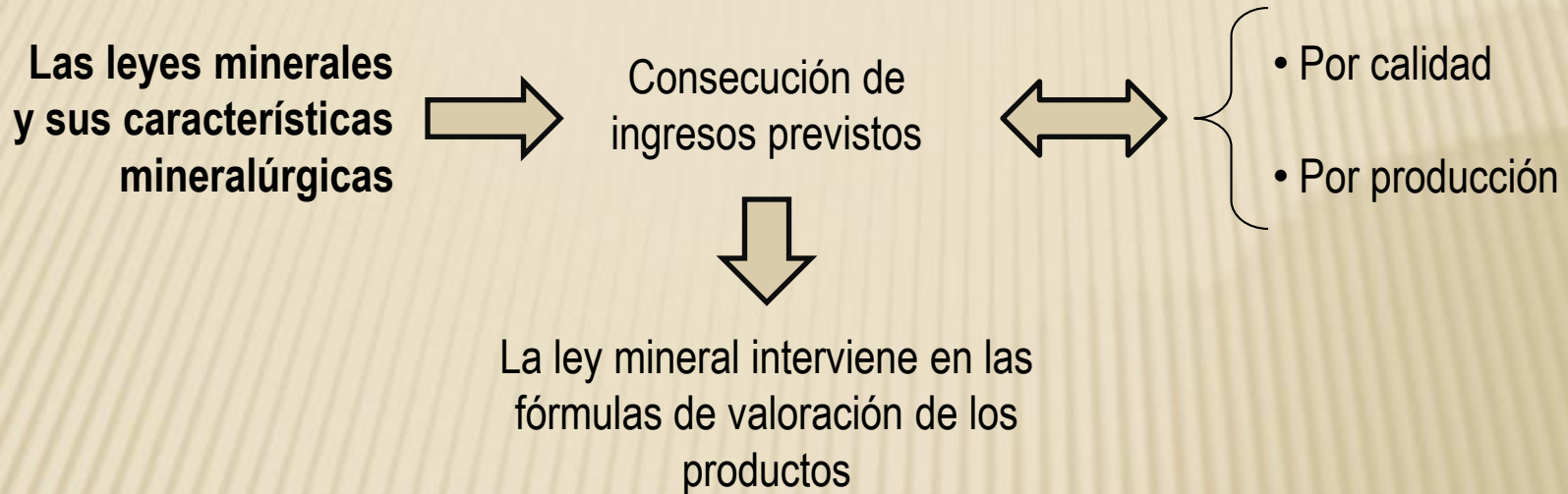


Condiciona la vida de las minas



Las capacidades anuales de extracción

## Variables que aportan riesgo e incertidumbre a los proyectos mineros





## Variables que aportan riesgo e incertidumbre a los proyectos mineros

### Características geomecánicas e hidrogeológicas

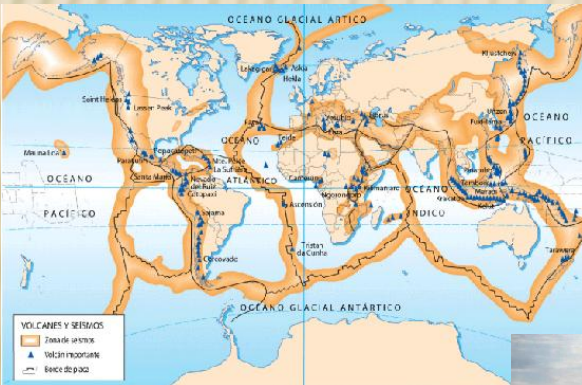
- Niveles de confianza para factores de seguridad, para ángulos de taludes en minas a cielo abierto.
- Drenajes. Presencia de aguas. Nivel freático. Obras de drenaje y desagüe.
- Estudio de las pendientes estables de los taludes, cuidar que no haya sobreexcavación. Evitar las labores de sostenimiento y relacionarlo siempre con la salud y la seguridad.



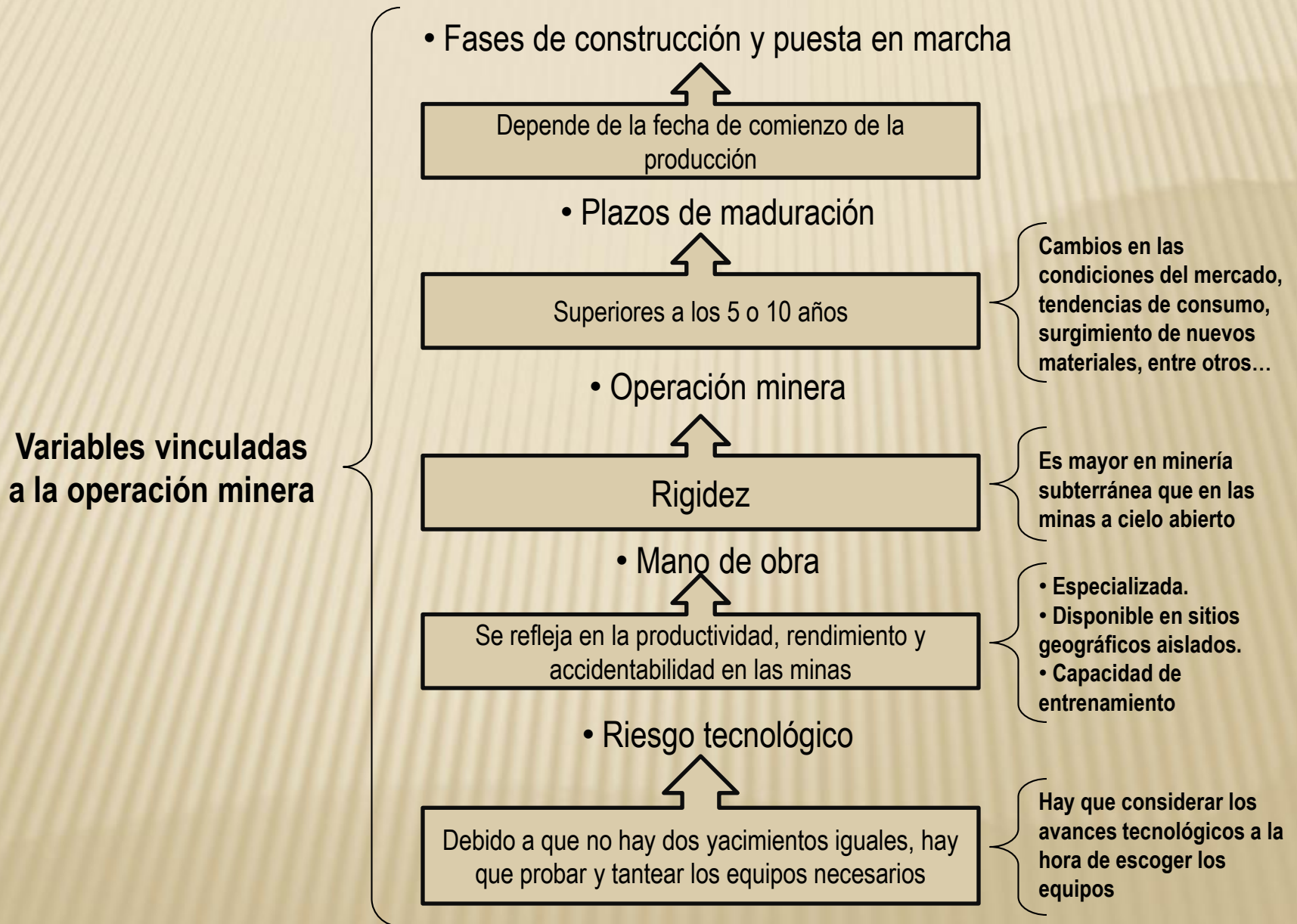
# Variables que aportan riesgo e incertidumbre a los proyectos mineros

## Riesgo natural de fuerza mayor

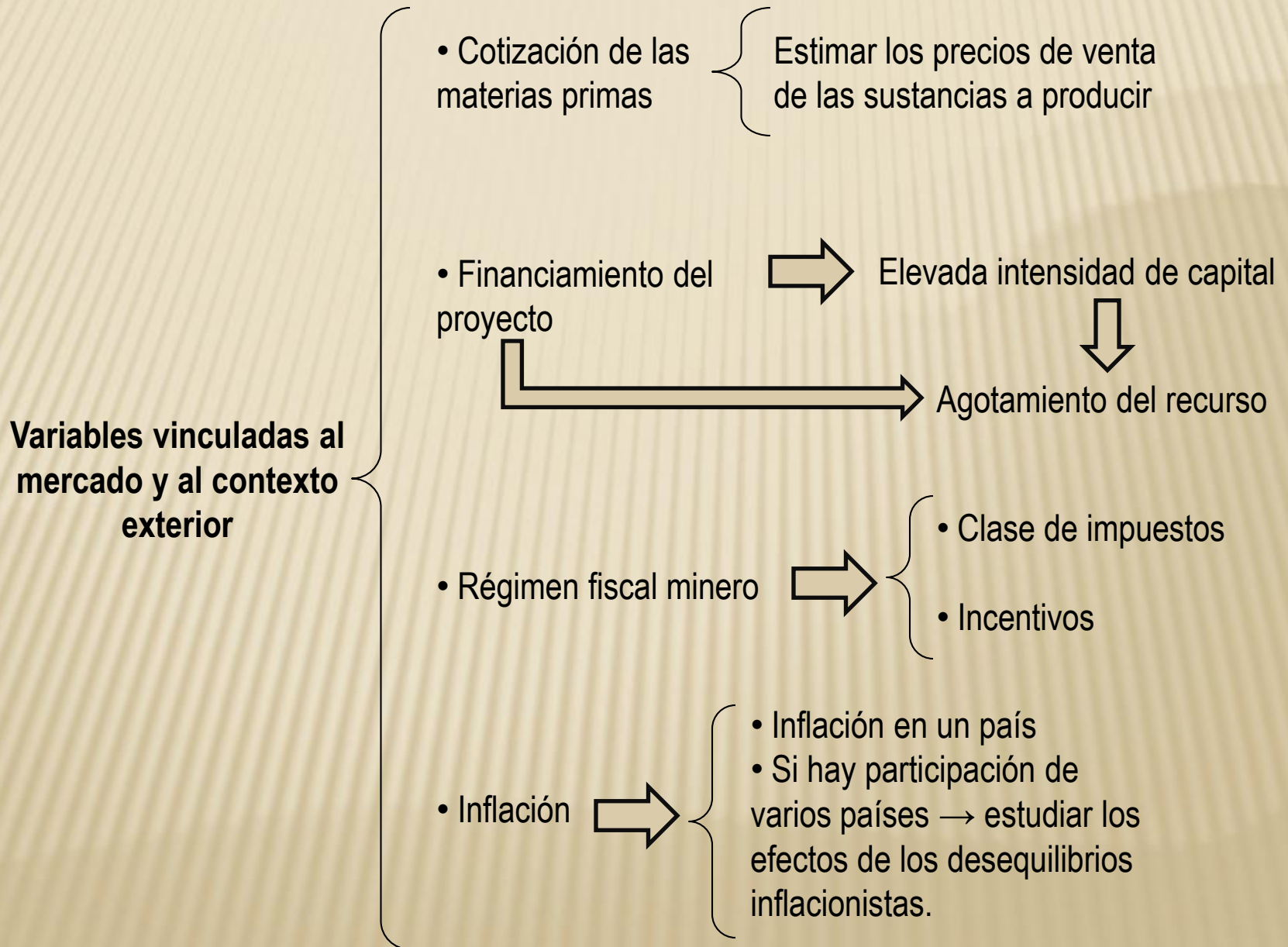
- Zonas de intensa actividad sísmica
- Zonas de frecuentes inundaciones
- Avalanchas
- Volcanes
- Entre otras



# Variables que aportan riesgo e incertidumbre a los proyectos mineros



## Variables que aportan riesgo e incertidumbre a los proyectos mineros

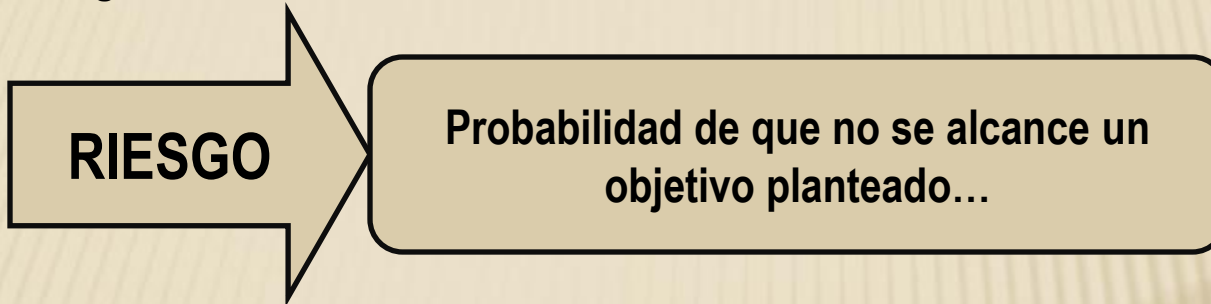


## Variables que aportan riesgo e incertidumbre a los proyectos mineros

### Variables vinculadas al mercado y al contexto exterior

- La estabilidad o el régimen del partido en el poder.
- La situación laboral y política salarial del país.
- Las relaciones internacionales con otros países.
- Las limitaciones de participación de capital extranjero.
- Las posibles nacionalizaciones en sectores básicos.
- Los requerimientos para usar productos nacionales o locales.
- Aplicación de medidas ambientales restrictivas.
- Las discriminaciones fiscales.
- Las restricciones en la repatriación de capital o beneficios.
- Legislaciones aplicables y reformas.
- Restricciones en la adquisición de monedas extranjeras.
- Entre otras.

## Análisis de riesgo



### Estimación de probabilidades

A. Clásica (a priori o colectiva): si un fenómeno puede ocurrir en  $N$  formas y  $N_A$  de ellas poseen un atributo  $A$ , la probabilidad es

$$P(A) = N_A/N$$

B. Empírica (inductiva o de frecuencia): si un experimento se realiza  $N$  veces y conduce  $N_A$  veces a un tipo de resultado  $A$ , se define:

$$P(A) = \lim_{N \rightarrow \infty} (N_A/N)$$

C. Subjetiva (o proyectiva):  $P(A)$  es una medida del “grado de creencia” en una cierta proposición  $A$ .

# Análisis de riesgo

## 1. Procesos de cálculo

- Flujo de fondos esperados
- VAN esperados

## 2. Árboles de decisión

- Elección de estrategias entre varias opciones.
- Aparición de un estado de naturaleza entre varios posibles.

Se consigue  
representar  
gráficamente

- La estructura global del problema
- La sucesión de decisiones necesarias
- Las situaciones de riesgo que con éstas se encuentran

# Análisis del valor esperado

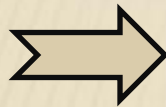
Proceso de  
análisis

1. Identificar los puntos de decisión y las opciones disponibles en cada uno de ellos.
2. identificar los puntos de riesgos.
3. Estimar los datos necesarios.
4. Valorar los cursos de acción posibles y seleccionar el óptimo.

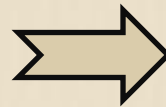
## 3. Matriz de pagos

# Análisis de riesgo

Análisis de supervivencia



Probabilidad de supervivencia



Es la probabilidad de no perder el capital total invertido en un conjunto de proyectos con probabilidades de éxito conocidas

Análisis de riesgo (Método de Montecarlo)

1. Variables aleatorias

Variables que pueden tomar diversos valores

- Continuas (función de probabilidad)

$$F(x) = \sum_{t=-\infty}^x f(t)$$

$$\sum p x(X_1) = 1$$

- Discretas (función de densidad de probabilidad)

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$$

$$P(a < x \leq b) = \int_a^b f_x(x) dx$$

Si:

$$P(-\infty < x \leq +\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_x(x) dx = 1$$

• Valores esperados

- Continua

$$E[X] = \sum_{i=1}^n x_i p(x_i)$$

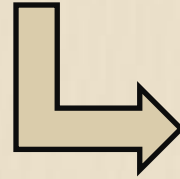
- Discreta

$$E[X] = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$$



# Análisis de riesgo

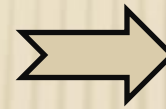
## 2. Método de Montecarlo



Obtiene sus datos con muestreos simulados.

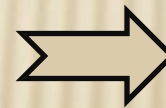
### Análisis de riesgo (Método de Montecarlo)

A. Modelo económico

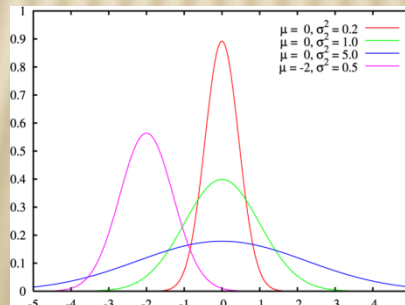
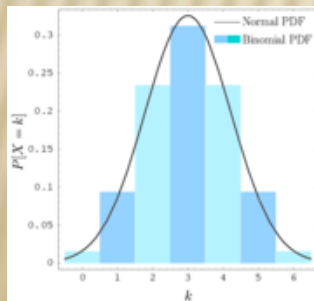


Indicador de rentabilidad que esté en función de los datos conocidos y los no afectados de incertidumbre

B. Funciones de distribución



Todos los datos sujetos a incertidumbre, representados por variables aleatorias, con posibles interdependencias y correlaciones



$$\lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 1$$

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$$

## Análisis de riesgo

### Simulaciones de Montecarlo

1. Se genera al azar un valor de cada variable aleatoria, de acuerdo con su función de distribución → Muestreo simulado
2. Se introduce en el modelo económico el conjunto de valores producidos. Se determina el indicador de rentabilidad X y se registra.
3. Se repite 1 y 2 tantas veces se requiera hasta ejecutar el numero de simulaciones deseados.
4. Se clasifican por intervalos los valores del indicador de rentabilidad X obtenidos, se calculan, tabulan y representan gráficamente las frecuencias relativas y las probabilidades acumuladas. Se calculan además el valor medio y la varianza. Este análisis es llamado Perfil de Riesgo.

# Análisis de riesgo



- Variables aleatorias independientes

- Variables aleatorias dependientes



Correlaciones entre variables

## Muestreo Aleatorio

Existen tres niveles de dependencia entre dos variables aleatorias X e Y

- a) Nula: las variables X e Y son mutuamente independientes.
- b) Total: existe una relación funcional  $Y = \varphi(x)$  entre las variables.
- c) Parcial: hay una correlación estadística más o menos marcada entre X e Y.

## ¿Qué variables, en minería, tienen carácter de variables aleatorias?

### Variables aleatorias en minería

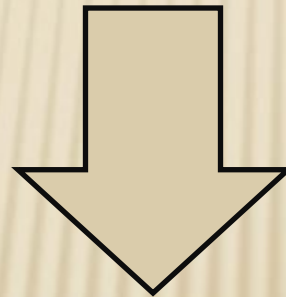
- Reservas minerales.
- Leyes (tenores).
- Recuperación mineralúrgica.
- Costos de explotación.
- Precios de venta.
- Producción anual.
- Ventas anuales.
- Inversiones.
- Vida de las instalaciones.
- Valores residuales.
- Entre otras.



## En Resumen...

**El Análisis de Riesgo permite:**

- Rentabilidad esperada.
- Variabilidad de la rentabilidad.
- Riesgo



**Toda esta información permite a los inversionistas “filtrar las propuestas”, pues disponen de criterios para decidir si un proyecto es o no aceptable.**