

# Valor de la Flexibilidad

## una introducción

### analizando con Hoja de Cálculo

### el caso de un garaje de varios pisos

Tao Wang y Richard de Neufville

## Para Recordar

- Es común en la ingeniería diseñar para un objetivo fijo (misión o especificaciones)
- Reconocer la variabilidad=> diseño diferente (debido a la no linealidad del sistema)
- Reconocer la flexibilidad=> Un diseño aún mejor (evita costos, se expande de acuerdo a las necesidades)

## Contenido de la presentación

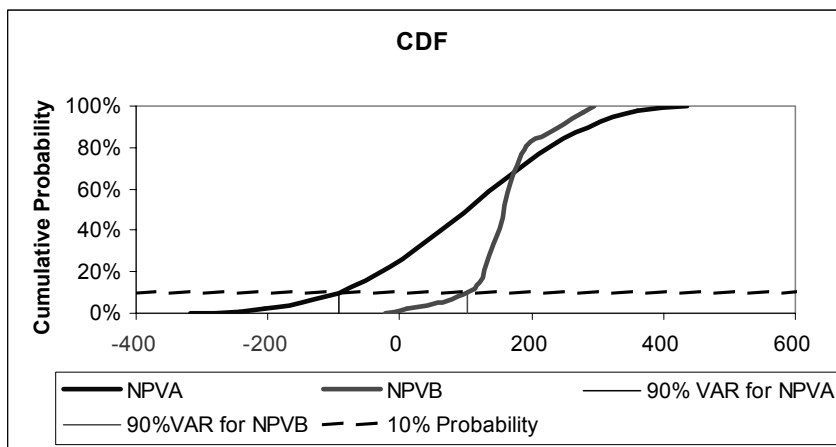
- Valor en Riesgo VeR
- Análisis de la flexibilidad mediante hoja de cálculo
- El caso del edificio de parqueo
- El caso de la minería

## Concepto del Valor en Riesgo

- El Valor en Riesgo (VeR) reconoce una realidad fundamental: El costo real de cualquier diseño solamente se conoce de manera probabilística
- Debido a la inevitable incertidumbre en
  - La demanda futura del sistema
  - El desempeño futuro del sistema
  - Muchos otros: mercados, factores políticos

## Definición de Valor en Riesgo

- Definición de Valor en Riesgo (VeR):
  - Representa una pérdida que no se superará con un determinado nivel de confianza.
  - “Nosotros estamos  $p$  por ciento seguros que no perderemos más de  $V$  dólares en este proyecto.”
- El VeR es fácil de observar en la distribución cumulativa de probabilidad (ver próxima diapositiva)



- Notese la distribución del NPV para los diseños A, B:
  - 90% VeR para NPVA es -\$91
  - 90% VeR para NPVB es \$102

### **Notas:**

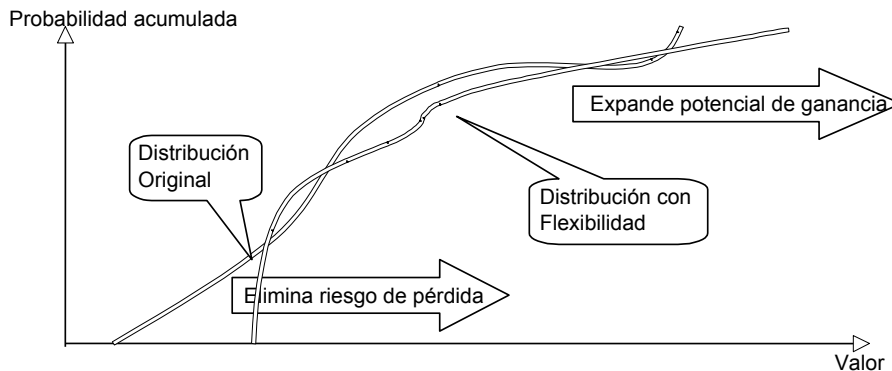
- La Función de distribución acumulativa (CDF) muestra la probabilidad que el valor de la variable aleatoria sea  $< \text{ó} = a$  la cantidad en el eje X
- VeR se puede encontrar en la CDF:
  - 90% VeR => probabilidad del 10% de que el valor sea menor o igual
  - VPN correspondiente al 10% de CDF es 90% VeR

## **VeR y Flexibilidad**

- El VeR es un concepto financiero común
- Que enfatiza las pérdidas, riesgos
- Sin embargo, los diseñadores también tienen que mirar el potencial de ganancia: “Value of Gain”
- Diseños flexibles agregan valor al:
  - Reducir el riesgo de pérdida
  - Incrementar el potencial de ganancia
  - Ver Siguiente diapositiva

# Fuentes de valor de la Flexibilidad

Elimina pérdida ; Expande Ganancia



## Secuencia de análisis en Excel para ilustrar el valor de la flexibilidad

- 1: Examinar la situación sin flexibilidad  
– Este es el diseño del caso base.
- 2: Introducir variabilidad (simulación)  
=> Un diseño diferente (en general)
- 3: Introducir flexibilidad  
=> Un diseño aún mejor y diferente

- Nota: Las Técnicas de simulación en Excel son enseñadas en ESD.70

## Caso del edificio de parqueo

- Ubicado en área donde la población crece
- Demanda real es necesariamente incierta
- Oportunidad de diseño: Reforzar la estructura
  - Permite la futura adición de pisos (flexibilidad)
  - Cuesta más (la flexibilidad cuesta)
- Asunto del Diseño: vale la pena el extra costo?

## Detalles del caso del edificio de parqueo

- Demanda
  - Al inicio es de 750 espacios
  - En el curso de los siguientes 10 años se espera un crecimiento exponencial en otros 750 espacios
  - Luego del año 10 puede incrementarse en 250 más
  - La demanda puede estar 50% desviada de las proyecciones, en cualquier sentido;
  - La volatilidad anual del crecimiento es del 10%
- Ingreso promedio anual/espacio usado= \$10,000
- La tasa de descuento se asume en 12%

## Detalles del caso (Cont)

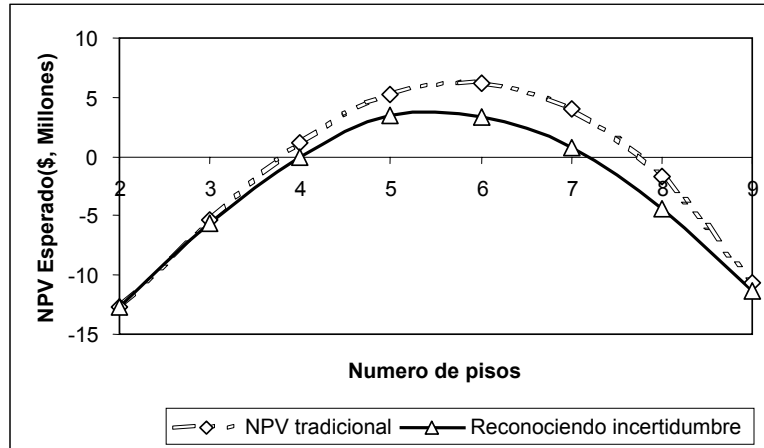
- Costos
  - Costos operativos anuales (personal, limpieza, etc.) = \$2,000 /año/espacio disponible  
(nota: espacios usados < espacios disponibles)
  - Arriendo anual de la tierra = \$3.6 Millones
  - Costo de construcción = \$16,000/espacio + 10% por cada nivel sobre el nivel del suelo
  
- Es posible acomodar 200 vehiculos por nivel

## Paso 1: Elaborar caso base

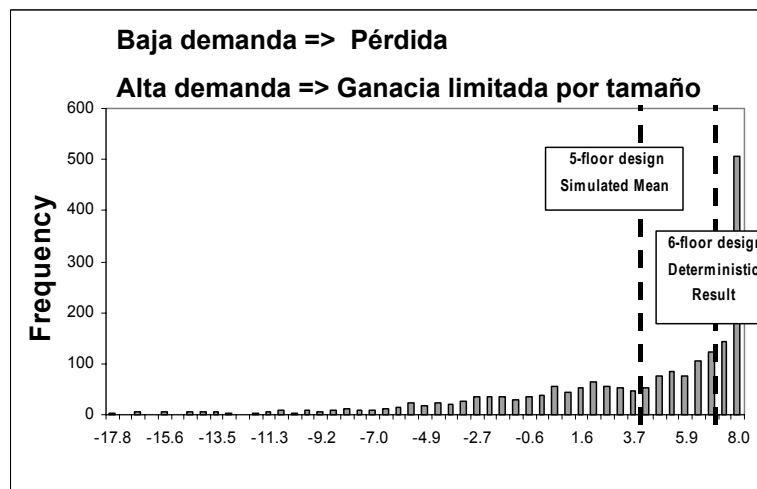
Demanda crece como se espera, no hay variabilidad

Año	0	1	2	3	19	20
Demanda		750	893	1,015	1,688	1,696
Capacidad		1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
Ingresos		\$7,500,000	\$8,930,000	\$10,150,000	\$12,000,000	\$12,000,000
Costos Recurrentes						
Costo operación		\$2,400,000	\$2,400,000	\$2,400,000	\$2,400,000	\$2,400,000
Costo arriendo	\$3,600,000	\$3,600,000	\$3,600,000	\$3,600,000	\$3,600,000	\$3,600,000
Flujo de Caja		\$1,500,000	\$2,930,000	\$4,150,000	\$6,000,000	\$6,000,000
Flujo de caja descontado		\$1,339,286	\$2,335,778	\$2,953,888	\$696,641	\$622,001
Valor presente neto del flujo	\$32,574,736					
Costo de hasta 2 niveles	\$6,400,000					
Costo por niveles superiores al 2	\$16,336,320					
Valor presente Neto	<b>\$6,238,416</b>					

El diseño óptimo para el caso base (sin incertidumbre) es de 6 pisos



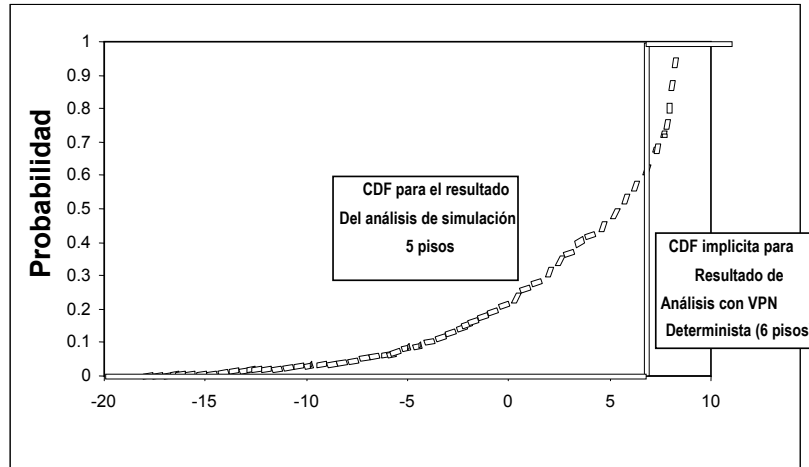
Paso 2: Simular incertidumbre



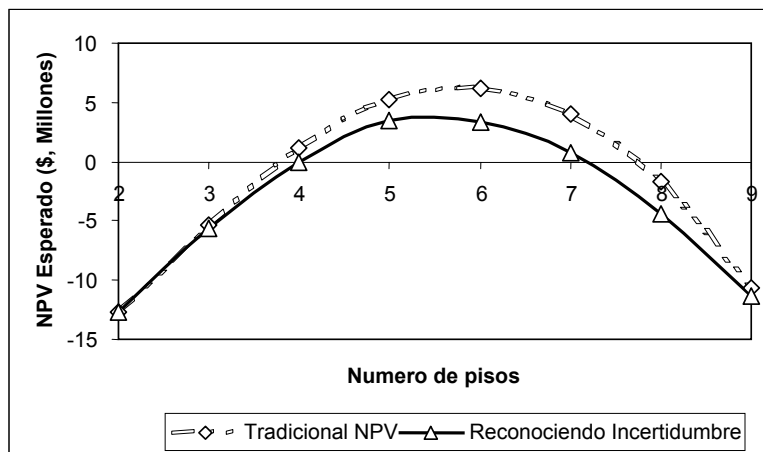


# Distribuciones Cumulativas del VPN

Compare los diseños, 5 pisos con incertidumbre  
contra 6 pisos en el diseño irreal sin incertidumbre



Reconociendo incertidumbre =>  
diseño diferente (5 pisos)



## Paso 3: Introducir flexibilidad en el diseño (Expandir cuando se requiera)

Año	0	1	2	3	19	20
Demanda		820	924	1,044	1,519	1,647
Capacidad		800	800	1,200	1,600	1,600
Decisión de ampliar			expand			
Capacidad Extra			400			
Ingresos		\$8,000,000	\$8,000,000	\$10,440,000	\$15,190,000	\$16,000,000
Costos recurrentes						
Costos operativos		\$1,600,000	\$1,600,000	\$2,400,000	\$3,200,000	\$3,200,000
Costo Arriendo tierra	\$3,600,000	\$3,600,000	\$3,600,000	\$3,600,000	\$3,600,000	\$3,600,000
Costo de ampliación			\$8,944,320			
Flujo de Caja		\$2,800,000	-\$6,144,320	\$4,440,000	\$8,390,000	\$9,200,000
<b>Flujo de Caja Descontado</b>		<b>\$2,500,000</b>	<b>-\$4,898,214</b>	<b>\$3,160,304</b>	<b>\$974,136</b>	<b>\$953,734</b>
Valor presente del flujo de caja	\$30,270,287					
Costo de capacidad hasta 2 niveles	\$6,400,000					
Costo capacidad niveles sobre el 2	\$7,392,000					
Precio de la opción	\$689,600					
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>\$12,878,287</b>					

**Incluyendo flexibilidad => Otro, diseño mejor:**

**4 pisos con estructura reforzada que permite expansión**

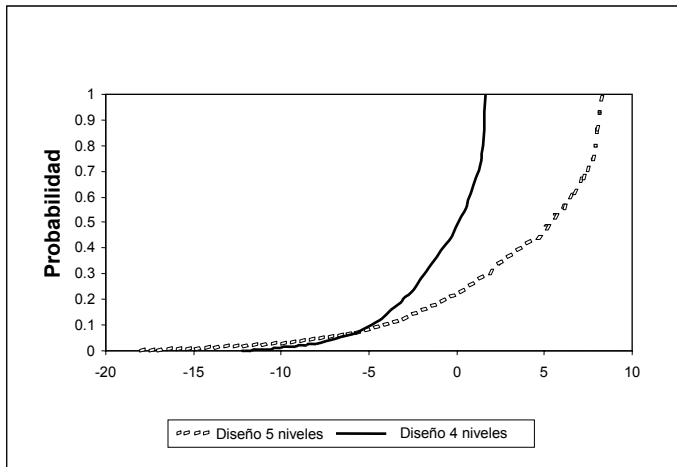
## Resumen de resultados de diseño de acuerdo a diferentes perspectivas

Perspectiva	Simulación	Opción incluida	Diseño	Estimado VPN esperado
Determinista	No	No	6 niveles	\$6,238,416
Reconociendo incertidumbre	Si	No	5 niveles	\$3,536,474
Incorporando flexibilidad	Si	Si	4 niveles con refuerzos en la estructura	\$10,517,140

**Porque es el diseño óptimo mucho mejor cuando diseñamos con flexibilidad?**

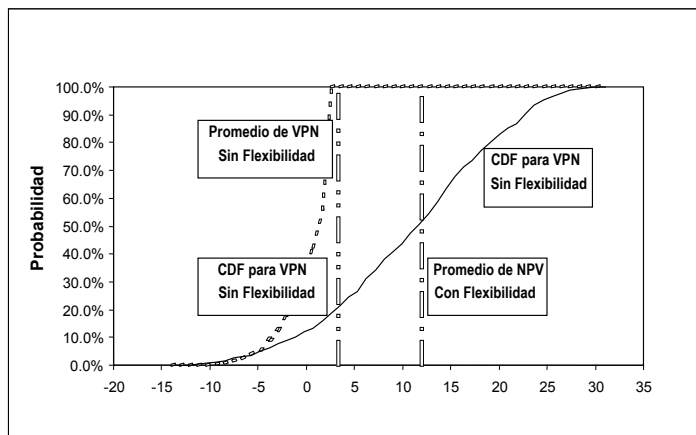
# Fuentes de valor de la flexibilidad:

## 1) Minimiza exposición al riesgo de pérdida



# Fuentes de valor de la flexibilidad:

## 2) Maximiza potencial de ganancia



## Comparación de diseños con y sin flexibilidad

Diseño	Diseño pensamiento flexible (4 levels, strengthened structure)	Diseño sin pensamiento flexible (5 levels)	Comparación
Inversión inicial	\$18,081,600	\$21,651,200	Mejor con opciones
VPN esperado	\$10,517,140	\$3,536,474	Mejor con opciones
Valor mínimo	-\$13,138,168	-\$18,024,062	Mejor con opciones
Valor máximo	\$29,790,838	\$8,316,602	Mejor con opciones

Wow! Todo es mejor! Cómo ocurrió esto?

Causa principal: cambiar el marco del problema

- Reconocer incertidumbre; añadir pensando flexible

## Simulación de flujo de caja Opción para abandonar en minería

Para una operación de minería subterránea  
marginamente rentable

Vassilios Kazakidis, Profesor Asociado  
Ingeniería de Minas, Laurentian University

El texto se refiere a un análisis de hoja de cálculo usado  
para demostración

Presentación en borrador: No citar o circular sin autorización

## Resumen

- Modelo de simulación de flujo de caja elaborado en Excel para modelar la decisión de abandonar una mina subterránea de níquel marginalmente rentable.
- El modelo fue creado usando costos reales e información de la producción de una mina que opera actualmente.
- El Níquel es un metal históricamente volátil (~35%/año).
- El abandono ocurre cuando los precios de metal llegan a precios lo suficientemente bajos para hacer el proyecto no rentable (el evento disparador).
- Cuando los precios del metal caen lo suficiente, esto causa que los costos operativos excedan los ingresos generados.
- Si esto ocurre durante cualquier periodo, un “Si condicional” en el modelo dispara el abandono, y se incurre en un costo asociado con el abandono

Por Vassilios Kazakidis (no citar o circular sin autorización)

## Simulación de Ingresos y Costos

- Los ingresos generados durante cada periodo son determinados simulando el precio del metal con base en un valor inicial (\$2.8/lb) y una volatilidad (40%) empleando un movimiento browniano. Luego, el precio del metal es multiplicado por el número de libras extraídas por periodo para obtener los ingresos generados.
- El costo operacional es simulado para cada periodo basado en un valor inicial (\$1.412 M) y la volatilidad del costo (9.6%), de nuevo, usando un movimiento browniano. La volatilidad en los costos son causadas por incertidumbres debido a problemas en el suelo o fallas en los equipos que son comunes en minas subterráneas, y que afectan los costos.
- Se tiene la opción de abandonar la mina al inicio de cada uno de los periodos simulados si el costo operativo > Ingresos.

Por Vassilios Kazakidis (No citar o circular sin permiso)

## Disposición del modelo

- El modelo está dividido en 3 hojas de cálculo:
  - Parámetros de entrada
  - Sin opción de abandonar
  - Opción de abandonar
- En la hoja de “Sin opción de abandonar”, no es posible abandonar la mina.
- En la hoja de “Opción de abandonar”, puede ocurrir el cierre de la mina.
- Al Simular valores del VPN para ambas hojas de cálculo se observa que el VPN en la “opción de abandonar” es consistentemente superior al “Sin opción de abandonar”.
- Con la “Opción de abandonar”, la porción más baja (incluso negativa) de los VPN quedan prácticamente eliminados.
- el *valor de la flexibilidad* es la diferencia entre los valores simulados del VPN en ambas hojas de cálculo.

Por Vassilios Kazakidis (No citar o circular sin autorización)

## Resumen

- Fuentes de valor de la flexibilidad
  - Reduce el riesgo de pérdida
  - Expande potencial de ganancia
- La gráfica del VeR representa en forma elegante las fuentes de valor de la flexibilidad
- Las hojas de cálculo con simulación son una herramienta poderosa para estimar el valor de la flexibilidad