



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

# VALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRAN ESCALA: APLICACIÓN DE UNA NUEVA HERRAMIENTA

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN ECONOMÍA APLICADA  
MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

FRANCISCO HAWAS VARGAS

PROFESOR GUÍA:  
ARTURO CIFUENTES OVALLE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
WILLIAM BAEZA LOPEZ  
EDUARDO CONTRERAS VILLABLANCA  
LUIS FELIPE OLIVA DIAZ

SANTIAGO DE CHILE  
DICIEMBRE 2012

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL Y AL GRADO DE  
MAGÍSTER EN ECONOMÍA APLICADA  
POR: FRANCISCO HAWAS VARGAS  
FECHA: DICIEMBRE DE 2012  
PROF. GUÍA: Sr. ARTURO CIFUENTES

## VALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRAN ESCALA: APLICACIÓN DE UNA NUEVA HERRAMIENTA

El desafío en la evaluación de proyectos es que los flujos de caja son inciertos. El enfoque convencional para abordar este problema consiste en descontar los flujos de caja con una tasa ajustada por riesgo. Sin embargo, la literatura de evaluación de proyectos ha encontrado varios problemas, conceptuales y prácticos, con la utilización de este método.

Un enfoque alternativo es el uso del análisis probabilístico. Este enfoque es más razonable dado que se incorpora el riesgo donde se genera, esto es, en los flujos de caja. La nueva herramienta propuesta en este trabajo se enmarca dentro del contexto del análisis probabilístico. La idea es modelar los flujos de caja a través de sus medias y matriz de covarianzas. Esta nueva herramienta utiliza también la Copula Gaussiana que a su vez se basa en los dos primeros momentos de la distribución del vector de flujos de caja.

Con estos elementos se pueden hacer simulaciones de Monte Carlo que permiten estimar las distribuciones de una gran variedad de indicadores tales como el Valor Presente Neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), la tasa interna de retorno modificada (MIRR), y el payback period (PBP). Las ventajas de este nuevo enfoque se demuestran aplicándolo a tres proyectos de infraestructura. Estos ejemplos dejan de manifiesto los méritos del método propuesto en comparación con el método tradicional de descontar los flujos con una tasa ajustada por riesgo.

# Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres, hermanos y familia en general por siempre creer en mi y ayudarme pacientemente a terminar este trabajo.

A Camila por sus constantes muestras de cariño.

A los profesores William Baeza, Eduardo Contreras y Luis Felipe Oliva por los comentarios y consejos entregados para esta tesis.

Finalmente al profesor Arturo Cifuentes por todo el conocimiento y ánimo que me entregó a lo largo de la realización de este proyecto.

# Índice general

<b>Agradecimientos</b>	<b>III</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Planteamiento del Problema y Discusión</b>	<b>4</b>
2.1. Formalización del problema . . . . .	4
2.2. Método Clásico . . . . .	5
2.3. Otros Métodos . . . . .	8
2.3.1. Tasa interna de Retorno (TIR) . . . . .	8
2.3.2. Tasa Interna de Retorno Modificada (MIRR) . . . . .	8
2.3.3. Payback Period (PBP) . . . . .	9
2.4. Revisión de la literatura . . . . .	9
<b>3. Incorporación del riesgo en los flujos de caja</b>	<b>13</b>
3.1. Nueva metodología de evaluación de proyectos . . . . .	16
<b>4. Descripción de casos: Proyectos de Infraestructura</b>	<b>21</b>
4.1. Caso 1: Tren de Texas . . . . .	21
4.1.1. Análisis de Evaluación Clásica . . . . .	22
4.2. Caso 2: Southport Minerals . . . . .	22
4.3. Caso 3: Airbus A3XX . . . . .	24
4.3.1. Análisis de Evaluación Clásica . . . . .	25
<b>5. Análisis de Resultados</b>	<b>27</b>
5.1. Tren de Texas . . . . .	27
5.1.1. Efecto de los parámetros en la varianza del VPN . . . . .	29
5.1.2. Análisis de resultados: TIR . . . . .	30
5.1.3. Análisis de resultados: PBP . . . . .	34

5.1.4. Análisis de resultados: MIRR . . . . .	38
5.2. Southport Minerals . . . . .	42
5.2.1. Efecto de los parámetros en la varianza del VPN . . . . .	44
5.2.2. Análisis de resultados: TIR . . . . .	45
5.2.3. Análisis de resultados: PBP . . . . .	49
5.2.4. Análisis de resultados: MIRR . . . . .	53
5.3. Airbus A3XX . . . . .	57
5.3.1. Efecto de los parámetros en la varianza del VPN . . . . .	59
5.3.2. Análisis de resultados: TIR . . . . .	60
5.3.3. Análisis de resultados: PBP . . . . .	64
5.3.4. Análisis de resultados: MIRR . . . . .	68
<b>6. Conclusiones</b>	<b>72</b>
<b>7. Bibliografía</b>	<b>75</b>
<b>A. Copula Gaussiana</b>	<b>77</b>
A.1. Simulación utilizando Copula Gaussiana . . . . .	77
<b>B. Validación de simulación</b>	<b>79</b>
B.1. Método de validación de la simulación de Monte Carlo . . . . .	79
B.1.1. Test Media VPN . . . . .	79
B.1.2. Test Varianza VPN . . . . .	80
B.2. Resultados validación simulación de Monte Carlo . . . . .	80
B.2.1. Resultados test media VPN . . . . .	80
B.2.2. Resultados test varianza VPN . . . . .	81

# Índice de figuras

3.1. Flujos de Caja . . . . .	13
3.2. Matriz de Covarianzas . . . . .	16
3.3. Tipos de Flujos de Caja . . . . .	17
4.1. Flujo de Caja Tren Texas . . . . .	23
4.2. Flujo de Caja Southport Minerals . . . . .	24
4.3. Flujo de Caja Airbus A3XX . . . . .	25
5.1. Sensibilidad de la varianza del VPN Tren de Texas . . . . .	30
5.2. Histograma TIR proyecto Tren de Texas . . . . .	31
5.3. Sensibilidad de la media de la TIR proyecto Tren de Texas . . . . .	32
5.4. Sensibilidad de la desviación estándar de la TIR proyecto Tren de Texas . . . . .	33
5.5. Sensibilidad de la skewness de la TIR proyecto Tren de Texas . . . . .	33
5.6. Sensibilidad de la kurtosis de la TIR proyecto Tren de Texas . . . . .	34
5.7. Histograma PBP proyecto Tren de Texas . . . . .	35
5.8. Sensibilidad de la media del PBP proyecto Tren de Texas . . . . .	36
5.9. Sensibilidad de la desviación estándar del PBP proyecto Tren de Texas . . . . .	36
5.10. Sensibilidad de la skewness del PBP proyecto Tren de Texas . . . . .	37
5.11. Sensibilidad de la kurtosis del PBP proyecto Tren de Texas . . . . .	38
5.12. Histograma MIRR proyecto Tren de Texas . . . . .	38
5.13. Sensibilidad de la media de la MIRR proyecto Tren de Texas . . . . .	40
5.14. Sensibilidad de la desviación estándar de la MIRR proyecto Tren de Texas . . . . .	40
5.15. Sensibilidad de la skewness de la MIRR proyecto Tren de Texas . . . . .	41
5.16. Sensibilidad de la kurtosis de la MIRR proyecto Tren de Texas . . . . .	42
5.17. Sensibilidad de la varianza del VPN proyecto Southport Minerals . . . . .	45
5.18. Histograma TIR proyecto Southport Minerals . . . . .	46
5.19. Sensibilidad de la media de la TIR proyecto Southport Minerals . . . . .	47

5.20. Sensibilidad de la desviación estándar de la TIR proyecto Southport Minerals	48
5.21. Sensibilidad de la skewness de la TIR proyecto Southport Minerals . . . . .	48
5.22. Sensibilidad de la kurtosis de la TIR proyecto Southport Minerals . . . . .	49
5.23. Histograma PBP proyecto Southport Minerals . . . . .	50
5.24. Sensibilidad de la media del PBP proyecto Southport Minerals . . . . .	51
5.25. Sensibilidad de la desviación estándar del PBP proyecto Southport Minerals	51
5.26. Sensibilidad de la skewness del PBP proyecto Southport Minerals . . . . .	52
5.27. Sensibilidad de la Kurtosis del PBP proyecto Southport Minerals . . . . .	53
5.28. Histograma MIRR proyecto Southport Minerals . . . . .	53
5.29. Sensibilidad de la media de la MIRR proyecto Southport Minerals . . . . .	55
5.30. Sensibilidad de la desviación estándar de la MIRR proyecto Southport Minerals . . . . .	55
5.31. Sensibilidad de la skewness de la MIRR proyecto Southport Minerals . . . . .	56
5.32. Sensibilidad de la kurtosis de la MIRR proyecto Southport Minerals . . . . .	57
5.33. Sensibilidad de la varianza del VPN proyecto Airbus A3XX . . . . .	60
5.34. Histograma TIR proyecto Airbus A3XX . . . . .	61
5.35. Sensibilidad de la media de la TIR proyecto Airbus A3XX . . . . .	62
5.36. Sensibilidad de la desviación estándar de la TIR proyecto Airbus A3XX . . . . .	62
5.37. Sensibilidad de la skewness de la TIR proyecto Airbus A3XX . . . . .	63
5.38. Sensibilidad de la kurtosis de la TIR proyecto Airbus A3XX . . . . .	64
5.39. Histograma PBP proyecto Airbus A3XX . . . . .	64
5.40. Sensibilidad de la media del PBP proyecto Airbus A3XX . . . . .	65
5.41. Sensibilidad de la desviación estándar del PBP proyecto Airbus A3XX . . . . .	66
5.42. Sensibilidad de la skewness del PBP proyecto Airbus A3XX . . . . .	67
5.43. Sensibilidad de la kurtosis del PBP proyecto Airbus A3XX . . . . .	67
5.44. Histograma MIRR proyecto Airbus A3XX . . . . .	68
5.45. Sensibilidad de la media de la MIRR proyecto Airbus A3XX . . . . .	69
5.46. Sensibilidad de la desviación estándar de la MIRR proyecto Airbus A3XX . . . . .	69
5.47. Sensibilidad de la skewness de la MIRR proyecto Airbus A3XX . . . . .	70
5.48. Sensibilidad de la kurtosis de la MIRR proyecto Airbus A3XX . . . . .	71
B.1. Test media VPN proyecto Tren de Texas . . . . .	81
B.2. Test media VPN proyecto Southport Minerals . . . . .	81
B.3. Test media VPN proyecto Airbus A3XX . . . . .	82
B.4. Test varianza VPN proyecto Tren de Texas . . . . .	82

B.5. Test varianza VPN proyecto Southport Minerals . . . . .	83
B.6. Test varianza VPN proyecto Airbus A3XX . . . . .	83



# Capítulo 1

## Introducción

Existe consenso en cuanto a que el valor de un proyecto o activo financiero corresponde al valor presente de sus flujos futuros.

La incertidumbre respecto al futuro implica que los flujos de caja tienen una naturaleza estocástica. Esta incertidumbre nace de la imposibilidad de predecir con certeza variables tales como: ventas futuras, gastos de operación, número de clientes, tiempos de construcción, tasas de interés, etc., es decir, variables que influyen en la estimación de los flujos. La forma en que esta incertidumbre es incluida en la valoración tiene distintos enfoques.

El enfoque tradicional para valorar proyectos es utilizar una estimación de los flujos futuros y calcular su valor presente con una tasa de descuento adecuada. Esta tasa de descuento es el vehículo para incorporar la incertidumbre al modelo de valoración. Esta metodología incorpora el riesgo o incertidumbre asociado a los flujos en el denominador, a pesar de que este se genera en los flujos de caja (numerador). Esta metodología, que es la más popular, se conoce como Valor Presente Neto (VPN).

Las alternativas más comunes para estimar la tasa de descuento, son el Weighted Average Cost of Capital (WACC) y el Capital Asset Pricing Model (CAPM).

El WACC corresponde al costo promedio de las fuentes de financiamiento (deuda y patrimonio). Desafortunadamente, cambios en la estructura de capital provocan cambios en el WACC. En estricto rigor, si la estructura de capital varía en el tiempo, lo correcto es utilizar un WACC también variable, para capturar la evolución de la estructura de capital. En la práctica esto resulta engorroso y poco práctico. Lo típico es usar un WACC

constante, lo cual necesariamente implica algunas imperfecciones.

El segundo método ampliamente utilizado es el CAPM. Este corresponde a una relación de equilibrio entre el premio por riesgo de un activo y el de mercado. En equilibrio el premio por riesgo del activo es igual al premio por riesgo del mercado multiplicado por el beta. El beta del activo es una medida de co-movimiento entre el retorno del activo y del mercado. Mantener constante la tasa estimada vía CAPM, para descontar los flujos del proyecto, no es correcto si el beta o el premio por riesgo varía en el tiempo.

Un problema adicional del VPN es el tratamiento de los flujos negativos. Al descontar todos los flujos (positivos y negativos) con la misma tasa de descuento, inevitablemente se introduce un error sistemático. Es decir se está “castigando” a los flujos positivos, y tratando en forma excesivamente “optimista” a los negativos.

Mas aún, debido a que la tasa de descuento es el único instrumento para manejar el riesgo en el enfoque usual, no hay forma de incorporar la estructura probabilística del proyecto. La estructura probabilística esta compuesta tanto por la incertidumbre en cada flujo como por la asociación entre ellos. Estas características permiten incluir más información acerca del proyecto en el proceso de valoración.

Otros problemas asociados con el VPN convencional es que existen muchas situaciones en las cuales ni el WACC ni el CAPM son aplicables. Esto ocurre en proyectos en que no se dispone de datos históricos y no existen proyectos similares con los cuales realizar la estimación. Además el VPN convencional es problemático cuando hay que elegir entre dos proyectos cuyo perfil de riesgo es diferente. En principio, se podrían utilizar tasas de descuento diferentes, pero al menos conceptualmente, esto sería contradictorio, ya que la tasa de descuento debe ser función del costo del capital.

Por último, si bien los problemas ya mencionados del método convencional (VPN) no se manifiestan en todos los proyectos, existe un abanico importante de casos en que estos son un factor limitante. Entre los casos que ponen de manifiesto los problemas de este esquema de valoración están grandes proyectos de infraestructura en que la inversión toma más de un periodo en realizarse. Específicamente, en estos casos, la estructura de capital es notoriamente variable, al menos durante el periodo de construcción. De hecho, este puede durar varios años e incorporar elementos tan variados como: aporte de capital

privado (private equity), préstamos bancarios, bonos de alto rendimiento, franquicias tributarias, etc. En el fondo, esto implica un WACC altamente variable al menos durante los primeros años. Mas todavía, en este tipo de proyectos, durante el periodo de construcción y operación, lo más probable es que los flujos tengan un grado de correlación que el VPN no puede capturar. Es decir, el VPN convencional no está preparado para incorporar estas complejidades.

La necesidad de contar con técnicas de valoración más flexibles para tratar problemas como los descritos anteriormente han sido abordados por la literatura de análisis probabilístico de los flujos de caja. El avance de esta literatura permite la modelación estocástica de los flujos de caja. Es en el marco de esta literatura que esta memoria busca presentar un método que permita considerar de forma explícita la incertidumbre asociada con los flujos.

# Capítulo 2

## Planteamiento del Problema y Discusión

Todo inversionista debe decidir qué proyectos financiar dentro de un conjunto de posibles candidatos. Alternativamente, debe poder decidir si ejecutar o no un proyecto específico.

Para tomar esta decisión, el inversionista, primero debe modelar la incertidumbre asociada a los flujos de caja. El segundo paso es definir una métrica que le permita elegir los proyectos que le entregan mayor valor.

A continuación se definen aquellos parámetros con que se modela la incertidumbre, se muestran métricas estándar para la elección de proyectos y se analiza el método clásico de evaluación de proyectos.

### 2.1. Formalización del problema

El primer paso es definir el concepto de proyecto. Un proyecto corresponde a una serie de flujos de caja  $C_0, \dots, C_n$  donde  $C_i$  corresponde al flujo de caja en el periodo  $i$ . Estos flujos ocurren a lo largo de  $n + 1$  periodos que por lo general son años.

En los casos más simples  $C_0$  es negativo y el resto de los flujos son positivos. En este caso la inversión se realiza en un periodo. En general los proyectos pueden tomar más periodos en realizar la inversión, o tener desembolsos por reparaciones programadas. Esto indica que la evolución de los flujos puede ser bastante general.

Los proyectos son todos de naturaleza incierta dado que las variables que determinan los flujos de caja son estocásticas. Es decir, en último término, los flujos de caja son estocásticos. En este contexto, los flujos de caja se pueden caracterizar como variables aleatorias. Como tal, los flujos disponen de una media  $\mu_i$  para  $i = 0, \dots, n$  y una matriz de covarianzas  $\Sigma$ .

Dado que los flujos de caja ocurren en diferentes periodos es necesario disponer del valor del dinero en el tiempo. En este caso se supone que el costo del dinero en el tiempo es constante e igual a  $r$ .

Esta es la estructura que enfrenta el inversionista para definir si realiza o no el proyecto.

## 2.2. Método Clásico

El método clásico, utilizado para valorar proyectos, está compuesto de tres etapas. La primera de ellas corresponde a la estimación de los flujos futuros. En este punto no es claro qué estadístico utilizar. Entre las opciones están el valor esperado, el mínimo, el máximo, etc. Luego  $\hat{\mu}_i$ , que representa la estimación del flujo  $i$ , no necesariamente es igual al valor esperado de los flujos  $\mu_i$ . El segundo paso es determinar la tasa de descuento adecuada para el proyecto, identificada por  $\gamma$ . En la última etapa se debe determinar el valor presente de los flujos futuros. Esto implica que el método clásico corresponde a,

$$VPN = \sum_{i=0}^n \frac{\hat{\mu}_i}{(1 + \gamma)^i}$$

La tasa de descuento es un elemento central para esta metodología. Su importancia radica en la información que contiene. Para graficar este punto, suponga que la tasa de descuento se puede expresar de la siguiente manera,

$$\gamma = r + \delta$$

Donde  $\gamma$  es la tasa de descuento del proyecto,  $r$  es la tasa libre de riesgo y  $\delta$  representa el riesgo del proyecto. Esta representación permite distinguir los conceptos incluidos en

la tasa de descuento. El primer concepto hace referencia al valor del dinero en el tiempo, esto es,  $r$  la tasa libre de riesgo. El segundo concepto corresponde al riesgo del proyecto.

La importancia de la tasa de descuento en el proceso de valoración con este método, ha permitido el desarrollo de una amplia gama de procedimientos para estimarla. Las técnicas de estimación más importantes son el WACC y el CAPM.

El WACC corresponde al promedio entre el costo de la deuda y el costo del patrimonio. Esto es,

$$WACC = w_d r_d + w_p r_p$$

Donde  $w_d$  representa el ratio deuda a valor total de la firma,  $r_d$  es el costo de la deuda,  $w_p$  es el ratio patrimonio a valor de la firma, y  $r_p$  el retorno exigido por el patrimonio. El valor de  $w_i$  con  $i = d, p$ , representan la estructura de capital de la empresa.

El CAPM corresponde a una relación de equilibrio entre el premio por riesgo de un activo y el de mercado. En equilibrio el premio por riesgo del activo es igual al premio por riesgo del mercado multiplicado por el beta. El beta del activo es una medida de co-movimiento entre el retorno del activo y del mercado. Luego su formulación es,

$$E(r_i) = r + \beta(E(r_m) - r)$$

Donde  $r_i$  corresponde al retorno del activo  $i$ ,  $r_m$  es el retorno de mercado y  $\beta$  es una medida de co-movimiento entre el activo y el mercado. El término  $(E(r_m) - r)$  se conoce como premio por riesgo de mercado. En general, el premio por riesgo es el exceso de retorno que entrega un activo riesgoso sobre la tasa libre de riesgo. El beta es considerado además una medida de riesgo relativo, esto se debe a que si  $\beta > 1$  el retorno del activo varía más que el retorno de mercado (tanto al alza como a la baja). En el caso  $\beta < 1$  el retorno del activo varía menos que el mercado, por lo tanto, este activo tiene menor riesgo relativo al mercado. Si se supone que  $E(r_i)$  es el retorno exigido al proyecto, es decir  $\gamma$ , entonces es posible reconocer el valor del riesgo para este modelo,

$$\delta = \beta(E(r_m) - r)$$

La ecuación anterior muestra, que en el caso del CAPM, el riesgo relevante es el relativo. Esto es, aquellos proyectos que tengan menor sensibilidad al mercado, tendrán menor

riesgo asociado.

A pesar de su amplio uso, el método clásico tiene varios problemas. En el caso de la estimación de los flujos de caja, existe una ambigüedad clara respecto al estadístico a utilizar. Esto puede llevar a una sobrestimación del riesgo del proyecto, cuando se utiliza como estimador de los flujos, por ejemplo, el peor caso.

El uso de una tasa de descuento ajustada por riesgo, en aquellos casos en que la tasa se mantiene constante, implica que el proyecto tiene un riesgo creciente en el tiempo. A pesar de esto, el método clásico no entrega sugerencia alguna acerca de pruebas que indiquen si este supuesto se cumple o no para el proyecto en cuestión. Este punto levanta una alerta para quienes evalúan proyectos. Es necesario, incorporar al modelo clásico, un paso previo para determinar el perfil de riesgo de los flujos de caja. Si se supone que el proyecto cumple con el supuesto descrito anteriormente, aún queda un problema por solucionar, la estimación de la tasa de descuento.

Tal como se menciona en los párrafos anteriores, dos son las técnicas de estimación más utilizadas. En ambos casos, se estima una tasa de descuento y se considera fija para el periodo de evaluación. En aquellos casos en que la estructura de capital es variable, el supuesto de un WACC constante pierde sentido. Sin embargo, se podría realizar una estimación periodo a periodo. El problema con esta solución es que no se conoce de antemano el retorno exigido por cada fuente de financiamiento a lo largo del tiempo. En el caso del CAPM, se necesita una serie de datos para estimar los diferentes parámetros involucrados. La disponibilidad de retornos para un proyecto que acaba de iniciarse, es un problema común, que en parte se soluciona utilizando algún proyecto comparable para realizar los cálculos. Esto puede no ser posible para proyectos innovadores, o que requieren grandes inversiones.

La importancia de la tasa de descuento, radica en que es el vehículo que incorpora el riesgo del proyecto en el modelo. La dificultad para estimar su valor en los casos de mayor incertidumbre, como ocurre con grandes inversiones en infraestructura, desarrollos tecnológicos, o investigación en el área de la salud, interfiere en la evaluación para determinar si el proyecto es suficientemente rentable para pagar el riesgo que se toma. Es importante notar que, lo que se desea es analizar el riesgo que generan los flujos de caja y su impacto en el valor del proyecto. Sin embargo, el centro de la discusión en el método

clásico, es la correcta estimación de la tasa de descuento para el proyecto. Si un inversionista desea comparar dos proyectos sólo diferenciados por las correlaciones entre los flujos de caja, esto implica, ¿un aumento en el riesgo o una disminución del mismo? Es claro, que la discusión de las tasas de descuento no permite concentrarse en definir claramente la estructura probabilística del proyecto.

## 2.3. Otros Métodos

### 2.3.1. Tasa interna de Retorno (TIR)

Al igual que en el método clásico, el evaluador del proyecto debe contar con una estimación de los flujos de caja, identificada por  $\hat{\mu}_i$ . Luego la TIR corresponde a la tasa que es solución del siguiente polinomio,

$$0 = \sum_{i=0}^n \frac{\hat{\mu}_i}{(1 + TIR)^i}$$

Para aquellos casos en que  $\hat{\mu}_0 < 0$  y  $\hat{\mu}_i > 0 \forall i = 1, \dots, n$ , la TIR es única. En estos casos la TIR indica el retorno por periodo que el inversionista obtiene por realizar el proyecto. Para los casos mencionados anteriormente, la TIR entrega las mismas elecciones que el método clásico. Además la TIR permite determinar si un proyecto es factible al compararlo con el mínimo nivel de rentabilidad exigido por los inversionistas.

Un supuesto implícito en el cálculo de la TIR, es que los flujos se reinvierten al valor de la TIR. Probablemente para proyectos de baja tasa de retorno esto no es problema. Sin embargo, para aquellos proyectos de alta rentabilidad, la disponibilidad de la misma tasa para reinvertir los recursos es más difícil de justificar. La unicidad de la TIR no está garantizada en casos generales, en particular, para el caso en que  $\exists \hat{\mu}_i < 0$  para algún  $i$  tal que  $i \neq 0$ . La multiplicidad de la TIR dificulta establecer la factibilidad del proyecto y compararlo con otras alternativas.

### 2.3.2. Tasa Interna de Retorno Modificada (MIRR)

Según la definición expuesta por Kierulff (2008), la MIRR corresponde a,

$$MIRR = \sqrt[n]{\frac{\sum_{i=M+1}^n \hat{\mu}_i (1 + r_r)^{n-i}}{\sum_{i=0}^M \frac{-\hat{\mu}_i}{(1+r_b)^i}} - 1}$$



Donde  $r_r$  corresponde a la tasa de reinversión de los flujos de caja,  $r_b$  el costo de financiamiento del proyecto,  $M$  el último periodo en el que se realiza inversión,  $\hat{\mu}_i$  la estimación disponible del flujo de caja del periodo  $i$  con  $i = 0, \dots, n$ . La MIRR entrega la posibilidad de elegir la tasa de reinversión de los flujos futuros, pudiendo incorporar un nivel de tasa congruente con lo que se observa en la curva de rendimiento a largo plazo. Además esta tasa es única, eliminando el problema de multiplicidad presentado por la TIR.

### 2.3.3. Payback Period (PBP)

El PBP se define como la cantidad de periodos para recuperar la inversión. Sea  $\hat{\mu}_i$  con  $i = 0, \dots, n$  la estimación del flujo del periodo  $i$  y  $M$  el último periodo de inversión.

Luego este indicador corresponde a,

$$\text{Min}\{i \mid \sum_{j=0}^i \hat{\mu}_j \geq 0\}$$

El valor del PBP permite al inversionista determinar si el tiempo para recuperar la inversión es demasiado, dependiendo de su aversión al riesgo. Entre sus problemas se cuenta que, no incorpora el valor del dinero en el tiempo. Por ejemplo, dos proyectos que tardan 5 periodos en devolver la inversión son igualmente deseables según esta medida. Esta conclusión no toma en cuenta que uno de los proyectos puede retornar el 90% de la inversión el primer año mientras el otro devuelve el mismo porcentaje pero en el periodo 5. Otro aspecto que no considera es el riesgo del proyecto.

## 2.4. Revisión de la literatura

El primer problema observado en el método convencional es su falta de flexibilidad para analizar distintos perfiles de riesgo. Este problema nace a raíz de la utilización de tasas de descuento constantes que incorporan un ajuste por riesgo. Cifuentes y Valdivieso (2011) muestran que, en este caso, se supone implícitamente que el riesgo de los flujos de caja aumenta de manera exponencial. Es claro que existen proyectos que cumplen con este supuesto, pero sin duda, existen muchos otros en que este supuesto no es correcto.

El problema anterior es relativo a la valoración de un proyecto. Sin embargo, es más común que el inversionista tenga varios proyectos en carpeta, de los cuales debe elegir

algunos. Uno de los primeros estudios en analizar el uso de la metodología clásica en este contexto es Robichek y Myers (1966). Los autores determinan que este método entrega conclusiones erróneas al comparar proyectos con perfiles de riesgo diferentes. Si el inversionista trata que su cartera de proyectos a evaluar sea bastante amplia para diversificar su portafolio. La existencia de un espectro variado de perfiles de riesgo es más la regla que la excepción. Siendo este el caso, el método clásico induce un error al determinar el conjunto de proyectos que tienen mayor valor.

El método convencional asigna el valor de la tasa de descuento según el riesgo que tiene el proyecto, sin considerar si el flujo de caja es positivo o negativo. Esto quiere decir que, independiente del signo del flujo de caja, si tiene mayor riesgo debe ser descontado a una tasa de interés más alta. Como muestra Beedles (1978), utilizar este método, entre un conjunto de flujos negativos, implica la elección de aquel con mayor riesgo.

El método clásico utiliza la estimación de la tasa de descuento, obtenida a través de cualquier metodología, como constante a lo largo del proyecto. En el caso del modelo CAPM la tasa que se estima es a un periodo, es decir, corresponde a la rentabilidad del proyecto o activo en un periodo dados el beta y el premio por riesgo. Esto debido a la disponibilidad de datos para estimar los parámetros en un horizonte mayor a un periodo. Considerando esto, Fama (1996) evalúa si es correcto el uso de la tasa estimada a un periodo para descontar flujos que se encuentran más distantes en el futuro. El trabajo concluye que el procedimiento que se utiliza es incorrecto, y además comenta respecto al método clásico: "dada la gran incertidumbre inherente en todos los aspectos de la valoración de proyectos, ¿Puede una regla de descuento producir estimaciones que tengan menor error de estimación que un método menos complicado como el PBP?" (Fama 1996, p.427), a esta pregunta el autor responde indicando: "los libros de finanzas tienen gran confianza en las reglas de descuento basados más en la fe que en la evidencia" (Fama 1996, p.427).

En la línea del trabajo anterior, Cochrane (2011) analiza la evolución de las tasas de descuento, junto con aquellos componentes necesarios para su estimación. Este trabajo prueba un conjunto de teorías que buscan explicar la evolución de las tasas de descuento. Respecto al tema concluye que, en general, el poder explicativo es limitado. Además, el artículo explora la dinámica de componentes necesarios para estimar las tasas de descuento, mostrando en particular, que los premios por riesgo varían en forma importante a lo largo del tiempo.

En paralelo a la línea de investigación enfocada en analizar el riesgo en la tasa de descuento, aparece el estudio probabilístico de evaluación de proyectos. El estudio probabilístico considera el riesgo del proyecto en los flujos de caja, es decir, en el numerador. Cada flujo de caja es considerado una variable aleatoria de la cual se conoce su distribución y algunos de sus momentos.

Uno de los primeros estudios en la línea probabilística corresponde a Hillier (1963). En su trabajo considera a los flujos de caja como variables aleatorias. Para incluir la asociación entre periodos divide los flujos de caja en componentes sin correlación temporal y otras con total correlación temporal. Con esta especificación analiza la distribución del VPN, el Costo Anual y la TIR.

Fuller y Kim (1980) analizan los efectos de la correlación en la desviación estándar del VPN. Los autores establecen los límites de la desviación estándar del VPN en función de los valores que toma la correlación.

Chen y Moore (1982) analizan los efectos de considerar errores de estimación en los parámetros de la distribución de los flujos de caja. Muestran que considerar este efecto puede cambiar la recomendación que el VPN puede entregar.

Kim, Elsaid y Kim (1999) muestran una forma de realizar el análisis probabilístico estimando la matriz de covarianzas. Su enfoque descompone los flujos de caja en componentes que son las generadoras finales de la incertidumbre. Al igual que todos los enfoques probabilísticos sufre de problemas para estimar todos los parámetros de la matriz de covarianzas. Su enfoque es hacer un supuesto de decaimiento exponencial de la correlación temporal entre las componentes de los flujos de caja.

Carmichael y Balatbat (2008), Carmichael y Balatbat (2008b) y Carmichael y Balatbat (2010) hacen una extensa revisión de los métodos que se han explorado respecto al análisis probabilístico. Una de las discusiones más relevantes de esta revisión tiene relación con las diferentes alternativas para estimar la matriz de covarianzas de los flujos de caja.

Contreras (2009) contiene una revisión extensa de las técnicas de evaluación de proyectos bajo incertidumbre, esto es, ajuste de la tasa de descuento, análisis de sensibilidad

y análisis probabilístico. Además se incluye en la revisión aplicaciones de las distintas técnicas. En las aplicaciones del método probabilístico se aprecia la gran flexibilidad de modelación que entrega esta técnica de evaluación de proyectos para enfretar distintos tipos de incertidumbre.

Al revisar la literatura se observan espacios para mejora en la inclusión del riesgo. Tal como se ha comentado, actualmente la forma más utilizada de incorporar el riesgo es a través de la tasa de descuento. Su uso, en el método clásico, restringe los tipos de proyectos factibles de valorar, así como introduce mayor incertidumbre debido a la estimación de la misma. El paso clave entonces, es encontrar un método que mantenga aquellas características en las que hay acuerdo, como es el cálculo del valor presente de los flujos, e innove en la forma en la que se incorpora la incertidumbre al modelo. La incorporación de la incertidumbre debe tomar como punto de partida el marco teórico que ofrece el análisis probabilístico dada su flexibilidad para modelar distintas formas de aleatoriedad de los flujos de caja.

## Capítulo 3

# Incorporación del riesgo en los flujos de caja

El primer paso para modelar la incertidumbre de los flujos de caja es definir el concepto de proyecto. Un proyecto es una serie de flujos de caja, esto es,

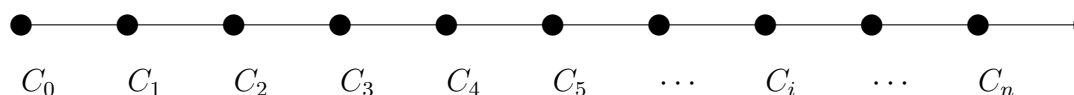


Figura 3.1: Flujos de Caja

Donde  $C_i$  corresponde al flujo de caja del periodo  $i$ . Los flujos de caja futuros tienen naturaleza estocástica, esto debido a que sus componentes: demanda, precios de insumos, precio de venta, etc. son inciertos. Es por esto que los flujos de caja se modelan como variables aleatorias. Se supone que los flujos de caja tienen la siguiente distribución de probabilidad,

$$\vec{C} \sim MN(\vec{\mu}, \Sigma) \quad (3.1)$$

Donde  $\vec{C}$  es el vector de flujos de caja,  $\vec{\mu}$  es el vector de valores esperados,  $\Sigma$  es la matriz de covarianzas de los flujos de caja y  $MN(\cdot, \cdot)$  corresponde a la distribución normal multivariada.

Nótese que en la teoría de portafolios se utiliza una representación análoga a la que se presenta en la ecuación (3.1). En el caso de la teoría de portafolios los retornos futuros son inciertos. En general, los retornos se caracterizan por su media y matriz de covarianzas.

La representación clásica de los retornos es,

$$\vec{r} \sim MN(\vec{\mu}_r, \Sigma_r) \quad (3.2)$$

donde  $\vec{r}$  corresponde al vector de retornos,  $\vec{\mu}_r$  el valor esperado de los retornos y  $\Sigma_r$  la matriz de covarianzas de los retornos. Como se aprecia en las ecuaciones (3.1) y (3.2) ambos enfoques suponen que es posible estimar el valor esperado y la matriz de covarianzas, de los flujos de caja y retornos.

Es más, independiente de la distribución de probabilidad que se suponga para los flujos de caja, la estructura que tiene el VPN permite expresar su valor esperado y varianza, en forma analítica, de la siguiente manera,

$$E(VPN) = \vec{w}^T \vec{\mu} \quad (3.3)$$

$$Var(VPN) = \vec{w}^T \Sigma \vec{w} \quad (3.4)$$

donde  $\vec{w}$  es un vector que es función de la tasa de descuento. Sus elementos tienen la siguiente forma,

$$w_i = \frac{1}{(1+r)^i} \quad (3.5)$$

donde  $r$  representa la tasa libre de riesgo. En el caso de evaluación de proyectos el vector  $\vec{w}$  representa el factor que lleva a valor presente los flujos de caja. En el caso de teoría de portafolios el vector  $\vec{w}$  representa el porcentaje que se tiene del activo en el portafolio.

Sin importar la distribución de probabilidad que se suponga para los flujos de caja, el valor esperado y la varianza del VPN según muestran Carmichael y Balatbat (2008), Carmichael y Balatbat (2010) corresponden a,

$$E(VPN) = \sum_{i=0}^n \frac{\mu_i}{(1+r)^i} \quad (3.6)$$

$$\sigma^2(VPN) = \sum_{i=0}^n \frac{\sigma_i^2}{(1+r)^{2i}} + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0, j \neq i}^n \frac{\rho_{i,j} \sigma_j \sigma_i}{(1+r)^{i+j}} \quad (3.7)$$

Donde  $\mu_i$  y  $\sigma_i$  representan el valor esperado y la desviación estándar del flujo de caja  $i$  y  $\rho_{i,j}$  es la correlación entre el flujo de caja  $i$  y  $j$ .

La varianza del VPN tiene un rango de valores posibles que depende del valor de la correlación entre los flujos de caja. El trabajo de Fuller y Kim (1980) explora los límites inferior y superior de la varianza del VPN. Su trabajo muestra que el límite superior se alcanza cuando  $\rho_{i,j} = 1, \forall i, j = 0, \dots, n$  y su valor es,

$$\sigma^2(VPN) = \left( \sum_{i=0}^n \frac{\sigma_i}{(1+r)^i} \right)^2 \quad (3.8)$$

El límite inferior se alcanza cuando  $\rho_{i,j} = -1, \forall i, j = 0, \dots, n$  y su valor corresponde a,

$$\sigma^2(VPN) = \left( \sum_{i=0}^n \frac{-\sigma_i}{(1+r)^i} \right)^2 \quad (3.9)$$

Otro caso importante, es aquel en que los flujos de caja son independientes, esto es  $\rho_{i,j} = 0, \forall i, j = 0, \dots, n$ . El valor de la varianza en este caso corresponde a,

$$\sigma^2(VPN) = \sum_{i=0}^n \frac{\sigma_i^2}{(1+r)^i} \quad (3.10)$$

Los tres casos mostrados con anterioridad son útiles para fijar referencias respecto a la varianza más que por su utilidad para modelar proyectos reales.

En el caso más general la matriz de covarianzas contiene de  $\frac{n(n+1)}{2}$  elementos. En la mayoría de las aplicaciones esto es un problema por el alto número de estimaciones a realizar. Respecto a esto, Hillier (1963) comenta que en la mayoría de las aplicaciones no existen suficientes datos para realizar estimaciones precisas de los parámetros.

Debido a la gran cantidad de parámetros a estimar y la falta de datos para realizar esta tarea se deben realizar simplificaciones que permitan que el problema sea manejable. El trabajo de Kim, Elsaid y Kim (1999) muestra una alternativa que disminuye la cantidad de parámetros a estimar. Los autores suponen que la correlación entre dos flujos de caja depende de la “distancia” temporal a la que se encuentran. Estos autores suponen que la correlación disminuye exponencialmente con la distancia entre los flujos de caja. Este supuesto les permite estimar la correlación entre dos flujos consecutivos y completar la matriz utilizando un parámetro de decaimiento.

En la misma línea expuesta por Kim, Elsaid y Kim (1999) en este estudio se supone que la matriz de covarianzas es tridiagonal. La metodología aquí expuesta además supone que aquellos elementos fuera de la tridiagonal son cero. Este supuesto implica que los elementos fuera de la tridiagonal son despreciables en términos de su aporte a la modelación. Luego la forma de la matriz de covarianzas corresponde a la que aparece en la Figura 3.2.

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \rho_{1,2}\sigma_1\sigma_2 & 0 & 0 \\ \rho_{1,2}\sigma_1\sigma_2 & & & \\ 0 & & & \rho_{n-1,n}\sigma_{n-1}\sigma_n \\ 0 & 0 & \rho_{n,n-1}\sigma_n\sigma_{n-1} & \sigma_n^2 \end{pmatrix}$$

Figura 3.2: Matriz de Covarianzas

En aquellos casos en que la disponibilidad de datos o el conocimiento del proyecto permita la estimación de los parámetros fuera de la tridiagonal su inclusión no es problema. Sin embargo, incorporaciones de otros parámetros deben estar sujetos al cumplimiento del objetivo final, que es modelar adecuadamente el comportamiento de los flujos de caja.

Esta definición de la matriz de covarianzas permite simplificar la expresión de la varianza del VPN. Esta corresponde a,

$$\sigma^2(VPN) = \sum_{i=0}^n \frac{\sigma_i^2}{(1+r)^{2i}} + 2 \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\rho_{i,i+1}\sigma_i\sigma_{i+1}}{(1+r)^{2i+1}} \quad (3.11)$$

### 3.1. Nueva metodología de evaluación de proyectos

Los proyectos de infraestructura de gran escala, por su envergadura, pueden dividirse en dos etapas. La primera etapa corresponde a la fase de inversión. A diferencia de los proyectos de menor tamaño la inversión toma más de un año en realizarse. La segunda etapa corresponde a la fase de operación en que la inversión realizada comienza a producir. Ambas fases son divididas por el periodo  $M$ , que corresponde al último periodo de inversión. La figura 3.3 muestra los tipos de flujos de caja.



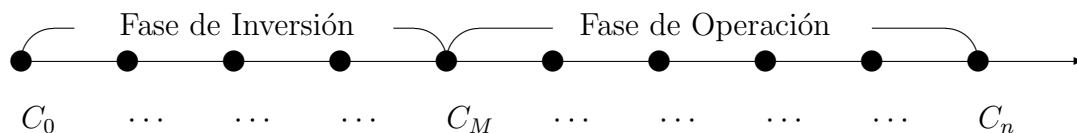


Figura 3.3: Tipos de Flujos de Caja

Esta separación en dos fases permite modelar por separado dos tipos de flujos que tienen características diferentes. Esta división de los flujos de caja implica la existencia de las submatrices A y B. La submatriz A es la matriz de covarianzas de los flujos de la fase de inversión. La submatriz B es la matriz de covarianzas de los flujos en la fase de operación. Luego la matriz de covarianzas de los flujos de caja corresponde a,

$$\Sigma = \begin{pmatrix} A & 0 \\ 0 & B \end{pmatrix}$$

La matriz A se supone diagonal. Esto implica que sus flujos no están correlacionados entre sí. En este caso la incertidumbre que se tiene respecto a un periodo en particular no se relaciona con ningún otro periodo. La desviación estándar, en este caso, es proporcional a  $\lambda_{inv}$ . Esto es, la incertidumbre es fija para todos los flujos de caja de inversión relativo a su valor esperado. Este supuesto permite al inversionista calibrar el nivel de incertidumbre que tiene respecto a la estimación del valor esperado de los flujos de inversión. Luego la matriz A tiene la forma siguiente,

$$A = \begin{pmatrix} (\lambda_{inv}\mu_0)^2 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & (\lambda_{inv}\mu_M)^2 \end{pmatrix}$$

La matriz B se supone tridiagonal. A diferencia del caso anterior, los flujos de caja en esta sección si tienen un comportamiento conjunto. Debido al supuesto de que la matriz es tridiagonal, cada flujo de caja tiene una asociación sólo con el flujo del periodo anterior y siguiente. La asociación entre los flujos de caja esta dada por la correlación entre los flujos  $\rho$ , que es igual para todos los flujos de caja. En este caso la desviación estándar es proporcional a  $\lambda$ . En el caso de los flujos de operación la matriz es de la forma,

$$B = \begin{pmatrix} (\lambda\mu_{M+1})^2 & \rho\lambda^2 |\mu_{M+1}\mu_{M+2}| & 0 & 0 \\ \rho\lambda^2 |\mu_{M+1}\mu_{M+2}| & & & \\ 0 & & & \rho\lambda^2 |\mu_{n-1}\mu_n| \\ 0 & 0 & \rho\lambda^2 |\mu_{n-1}\mu_n| & (\lambda\mu_n)^2 \end{pmatrix}$$

La matriz A es diagonal porque se supone que diferencias en el gasto de un periodo de inversión, relativo al valor esperado, corresponden a errores de estimación respecto a ese periodo y no inducen aumentos de costo futuros. Además estos cambios en los costos en los periodos de inversión tampoco generan aumentos de ingresos en la fase de operación ya que no cambian la escala que tiene el proyecto. En el caso de la matriz B, se incorpora la correlación a un periodo con el objetivo de modelar el comportamiento conjunto de los flujos de operación. En este caso si es factible que aumentos en las ventas o en otras variables esten correlacionadas con variaciones del flujo del periodo siguiente.

Estos nuevos supuestos cambian la expresión de la varianza del VPN. La forma final de la varianza del VPN es,

$$\sigma^2(VPN) = \sum_{i=0}^M \frac{(\mu_i \lambda_{inv})^2}{(1+r)^{2i}} + \sum_{i=M+1}^n \frac{(\mu_i \lambda)^2}{(1+r)^{2i}} + 2 \sum_{i=M+1}^{n-1} \frac{\lambda^2 |\mu_i \mu_{i+1}| \rho}{(1+r)^{2i+1}} \quad (3.12)$$

En el caso del VPN todos los cálculos son analíticos. Si bien en la literatura se muestra las definiciones generales de la media y desviación estándar del VPN, debido a su complejidad, no se realiza un análisis de efectos marginales sobre estos parámetros. Este tipo de análisis permite determinar qué parámetro tiene un impacto mayor sobre los diferentes momentos de la distribución. Esto ayuda a definir en cuál de los parámetros se debe colocar mayor precisión en la estimación. En el caso de esta nueva metodología la varianza del VPN depende de tres factores, estos son,

$$\sigma^2(VPN) = \sigma^2(\lambda, \rho, r) \quad (3.13)$$

Es decir, la varianza del VPN depende de la varianza de los flujos de operación, la correlación y la tasa libre de riesgo. El factor de la varianza de la fase de inversión no se considera debido a que se supone que la estimación de estos flujos es más precisa. Los efectos marginales respecto a cada uno de estos parámetros corresponde a,

$$\frac{\partial \sigma^2(VPN)}{\partial \lambda} = \sum_{i=M+1}^n \frac{2\lambda(\mu_i)^2}{(1+r)^{2i}} + 2 \sum_{i=M+1}^{n-1} \frac{2\lambda |\mu_i \mu_{i+1}| \rho}{(1+r)^{2i+1}} \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial \sigma^2(VPN)}{\partial \rho} = 2 \sum_{i=M+1}^{n-1} \frac{\lambda^2 |\mu_i \mu_{i+1}|}{(1+r)^{2i+1}} \quad (3.15)$$

$$\frac{\partial \sigma^2(VPN)}{\partial r} = \sum_{i=0}^M \frac{(\lambda_{inv} \mu_i)^2 (-2i)}{(1+r)^{2i+1}} + \sum_{i=M+1}^n \frac{(\lambda \mu_i)^2 (-2i)}{(1+r)^{2i+1}} + 2 \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\lambda^2 |\mu_i \mu_{i+1}| \rho (-2i-1)}{(1+r)^{2i+2}} \quad (3.16)$$

Todos los cálculos relativos al VPN son analíticos. Esto difiere de lo que ocurre en el caso de la MIRR, TIR y PBP donde no es posible obtener una expresión analítica para los momentos de sus distribuciones o los efectos que tiene en ellos cambios en los parámetros. Es por esto que se utiliza una simulación de Monte Carlo para estimar las distribuciones de estas métricas. La simulación de Monte Carlo se lleva a cabo empleando la Copula Gaussiana <sup>1</sup>. La Copula Gaussiana permite la generación de variables aleatorias con una media  $\vec{\mu}$  y matriz de covarianzas  $\Sigma$ , a partir de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas.

Cualquiera de las métricas que escoja el inversionista para determinar los proyectos a realizar, está sujeta a la incertidumbre que se tiene respecto a los flujos de caja. Es por esto que una vez calculado el valor esperado de la métrica escogida el inversionista debe seleccionar alguna medida de riesgo que le permita evaluar su decisión.

El insumo necesario para calcular cualquier medida de riesgo es la distribución de probabilidad de la métrica a utilizar. Además se puede utilizar la distribución de probabilidad para determinar intervalos de confianza para algún valor objetivo que el inversionista pueda tener.

---

<sup>1</sup>La definición del procedimiento se encuentra en el Anexo A

Este nuevo enfoque permite obtener la distribución de probabilidad de cualquier métrica que el inversionista utilice para seleccionar proyectos. Además centra la discusión en la incertidumbre de los flujos de caja, esto es, su magnitud y evolución en el tiempo. Es decir, el proceso se enfoca a incorporar toda la información que dispone el inversionista al proceso de evaluación.

Finalmente el método aquí propuesto tiene la ventaja de poner el énfasis en el numerador, esto es, en el análisis de la incertidumbre de los flujos de caja. Esto marca una diferencia con el método clásico debido a que su enfoque es el denominador, es decir, la estimación de la tasa de descuento.

# Capítulo 4

## Descripción de casos: Proyectos de Infraestructura

Los tres proyectos que se muestran a continuación son de infraestructura de gran escala. Estos se obtuvieron del módulo de valuación en el curso de inversiones de gran escala de Harvard Business School.

### 4.1. Caso 1: Tren de Texas

Las ciudades de Dallas, Fort Worth, Houston, Austin, y San Antonio, a través de una inusual combinación de geografía y demografía, representaban uno de los mercados más promisorios en Estados Unidos para una red de trenes de alta velocidad. Residentes y visitantes viajaban frecuentemente entre estas ciudades. Estas ciudades tenían cerca de 3,5 millones de hogares y una población de cerca de 10 millones de habitantes en el año 1988. Para el año 2000, se esperaban 20 millones de viajes-persona por año, de los cuales 12 millones serían por avión. La cantidad de viajes a completar entre las grandes ciudades del estado de Texas permitía evaluar el ingreso de una alternativa de transporte distinta.

Texas High-Speed Rail Corporation (THSRC) fue formada por Texas TGV Consortium, un grupo de inversores, para construir y operar una red de trenes que ofrecía viajes rápidos y confiables, además de alta calidad de servicio conectando los mayores centros de negocios de Texas. En 1991, el Consortium ganó una franquicia para construir y operar un sistema de trenes en el estado de Texas.

El proyecto de THSRC consideraba, para su evaluación, un periodo de 6 años en la fase de inversión y una generación de flujos de caja a perpetuidad en la fase de operación. La inversión a realizar era cercana a los US\$6.000 millones. Para obtener el financiamiento del proyecto THSRC tenía considerado realizar 3 emisiones de acciones, créditos bancarios y emisiones de deuda. Esto implicaría que la estructura de capital del proyecto variaría bastante a lo largo del tiempo.

La tasa libre de riesgo en este caso corresponde a la curva de Treasury Bills. Para bonos de 10 y 30 años la tasa correspondía a 8,0 % y 8,6 % en julio de 1991.

#### **4.1.1. Análisis de Evaluación Clásica**

En el análisis clásico realizado a este proyecto se supuso que los flujos de caja a partir del año número 27, que corresponde al año 2018, tendrían un crecimiento constante de 4,50 % al año y se generarían a perpetuidad. Este supuesto permite calcular el valor presente de la perpetuidad (VPP) utilizando la siguiente formula,

$$VPP = \frac{C_{inicial}}{r - g} \quad (4.1)$$

donde  $C_{inicial}$  corresponde al valor del flujo de caja inicial de la perpetuidad,  $r$  corresponde a la tasa de descuento y  $g$  a la tasa de crecimiento de los flujos. El VPP representa entre un 15 % y un 72 % del valor presente de los flujos de operación, para tasas entre 7 % y 18 %. Este supuesto se considera demasiado optimista, es por esto que no se utiliza en el análisis propuesto. En su reemplazo, se considera como valor final tres años más de flujos de caja (añadidos a los ya proyectados). Estos tres años finales se obtienen al utilizar la tasa de crecimiento de un 4,50 % a partir del año 2018.

En la Figura 4.1 se muestran los flujos de caja estimados para este proyecto.

## **4.2. Caso 2: Southport Minerals**

En 1964 Southport Minerals era uno de los productores de sulfuros más grande de Estados Unidos. En ese tiempo el mercado de sulfuros presentaba escasa oferta y por ende mostraba precios en aumento. Esto entregó a Southport Minerals una posición de caja sustancial para realizar inversiones de gran envergadura. Dada su generación de caja y

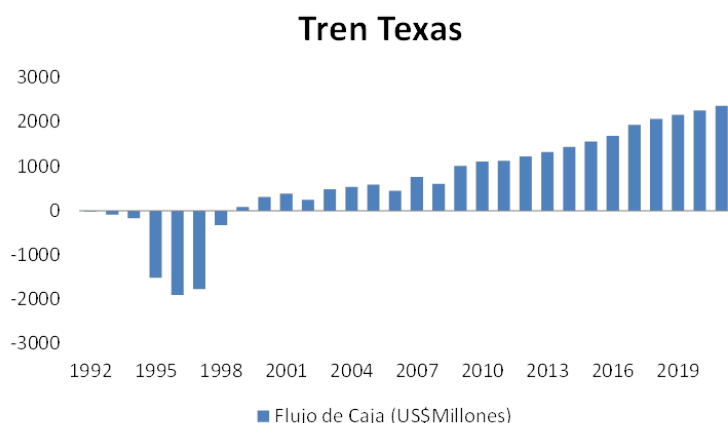


Figura 4.1: Flujo de Caja Tren Texas

bajo endeudamiento Southport se propuso diversificar su negocio de sulfuros.

La oportunidad se presentó por primera vez en 1960 donde se confirma la existencia de un yacimiento de cobre extremadamente inaccesible en las montañas de Indonesia. Lamentablemente el clima político no era el propicio para la inversión extranjera.

Para el año 1967 el clima para la inversión extranjera en Indonesia cambió y con esto Southport comenzó la exploración del yacimiento. Este proceso continuó hasta mediados de 1968 donde la empresa se dio cuenta que el yacimiento no sólo era de gran tamaño sino que la ley era bastante alta. El siguiente paso era cuantificar la inversión necesaria para explotar el yacimiento. Esto concluyó a fines de 1969 donde la estimación del costo total de inversión era de US\$120 millones a ejecutar en un plazo de cuatro años.

La curva de referencia del Treasury Americano a diez años, tenía un valor de 6,2% en el año 1968.

En este caso no se realiza un análisis de la evaluación clásica debido a que en la evaluación original del proyecto no se incluye el supuesto de que los flujos de caja se repiten iguales al infinito.

En la Figura 4.2 se muestran los flujos de caja estimados para este proyecto.

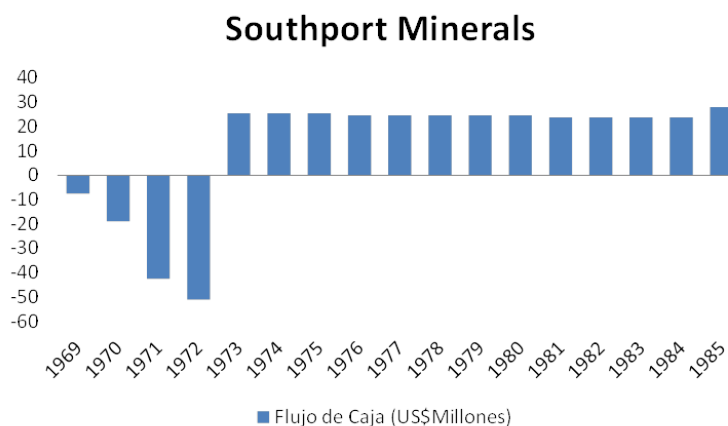


Figura 4.2: Flujo de Caja Southport Minerals

### 4.3. Caso 3: Airbus A3XX

El 23 Junio del año 2000 Airbus aprobó la autorización para ofrecer el A3XX, un jet super jumbo con capacidad desde 550 a 990 pasajeros, que tenía un precio de US\$ 216 millones, y un costo de desarrollo de US\$ 13.000 millones.

En ese momento Airbus predecía una demanda de más de 1500 super jumbos para los próximos 20 años, que generarían ventas por montos mayores a los US\$ 350.000 millones. Dado que Airbus había capturado más de la mitad de las ordenes de aviones de pasajeros nuevos por primera vez en 1999, capturar más de la mitad del mercado de aviones de mayor escala con el A3XX lo convertiría en el líder de la industria aeronáutica.

El diseño y desarrollo de aviones de gran tamaño toma una gran cantidad de años y dinero. Esto lleva cada año a Airbus y Boeing, a generar estimaciones a 20 años para el mercado de aviones de gran tamaño. Estas predicciones son publicadas en Global Market Forecast (Airbus) y en Current Market Outlook (Boeing). En las ediciones del año 2000 ambas publicaciones concordaron en las cifras de crecimiento a nivel agregado. Las diferencias aparecían al analizar la demanda por diferentes tamaños de aviones. Boeing por una parte creía en que ante el aumento de personas a transportar se abrirían nuevos aeropuertos que requerirían aviones de tamaño mediano a pequeño. Por otro lado Airbus veía que el crecimiento provendría de una mayor demanda por aviones de mayor escala para solucionar el tráfico que tendrían los aeropuertos.



La tasa libre de riesgo que se utilizó en este caso fue de 6%.

### 4.3.1. Análisis de Evaluación Clásica

Una característica relevante que tiene el mercado de aviones es su comportamiento cíclico. Esto no fue considerado en la evaluación realizada por los inversionistas. Esta es una característica incorporada en el análisis realizado utilizando la nueva metodología.

Al igual que en el caso del Tren de Texas, la evaluación inicial de este proyecto contemplaba, en la fase de operación, flujos de caja a perpetuidad con una tasa de crecimiento constante. Tal como se mencionó en el caso del Tren de Texas este supuesto es demasiado optimista por esto no se considera en el análisis.

A diferencia del caso del Tren de Texas en este proyecto el inversionista sólo realizó la estimación de un periodo de la fase de operación. Se supone en el caso de este proyecto que la fase de operación tiene una duración de 20 años (duración proyectada del nuevo modelo de avión en desarrollo) y que los flujos en esta fase son todos iguales al único flujo proyectado por el inversionista.

Con estos supuestos los flujos estimados del proyecto se muestra en la figura 4.3.

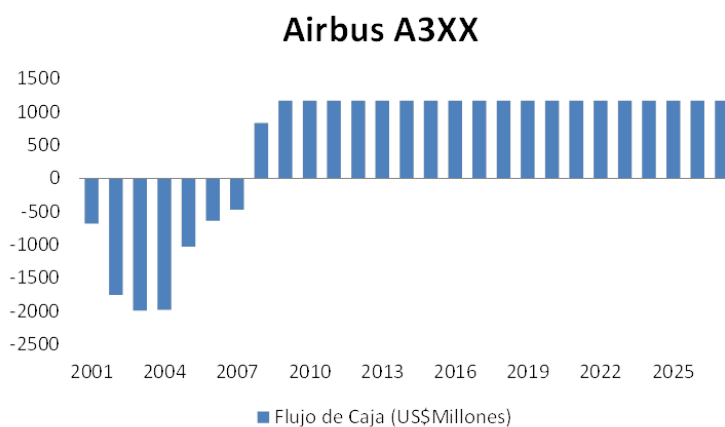


Figura 4.3: Flujo de Caja Airbus A3XX

En resumen, el propósito de este análisis es utilizar como base las estimaciones de los

## CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DE CASOS: PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA

flujos de caja presentadas anteriormente y enfocar el problema de valuación en forma probabilística.

# Capítulo 5

## Análisis de Resultados

A continuación se analizan los resultados que entrega la estructura de análisis presentada en los capítulos anteriores.

### 5.1. Tren de Texas

El cuadro 5.1 muestra los flujos de caja de este proyecto. EL proyecto está compuesto por 7 años de construcción de infraestructura y 23 años de operación.

Cuadro 5.1: Flujos de Caja estimados para proyecto Tren de Texas

Año	Flujo	Tipo de Flujo	Valor (Millones US\$)
1992	0	Construcción	-20,0
1993	1	Construcción	-89,5
1994	2	Construcción	-172,1
1995	3	Construcción	-1.515,7
1996	4	Construcción	-1.907,6
1997	5	Construcción	-1.775,5
1998	6	Construcción	-330,7
1999	7	Operación	85,2
2000	8	Operación	308,2
2001	9	Operación	383,9
2002	10	Operación	247,3
2003	11	Operación	481,5
2004	12	Operación	532,4
2005	13	Operación	588,2
2006	14	Operación	448,0
2007	15	Operación	758,5
2008	16	Operación	600,8
2009	17	Operación	1.007,6
2010	18	Operación	1.106,0
2011	19	Operación	1.122,8
2012	20	Operación	1.221,1
2013	21	Operación	1.322,8
2014	22	Operación	1.438,0
2015	23	Operación	1.562,9
2016	24	Operación	1.690,7
2017	25	Operación	1.938,3
2018	26	Operación	2.068,8
2019	27	Operación	2.161,9
2020	28	Operación	2.259,2
2021	29	Operación	2.360,8

Además de los flujos de caja se utilizan los siguientes parámetros,

- $\lambda_{inv} = 10\%$
- $r = 8\%$
- $\lambda = 40\%$
- $\rho = 20\%$

Los flujos de caja estimados para este proyecto y los parámetros descritos anteriormente corresponden al caso base. La elección de los parámetros que modelan la incertidumbre en el caso base no son estimaciones realizadas en la evaluación original. Los valores asignados a cada parámetro son utilizados de manera referencial para analizar el efecto que tiene cada parámetro sobre las distribuciones de las medidas de interés, es por esto que el valor asignado no invalida el análisis que se presenta a continuación. El cuadro 5.2 muestra la media y desviación estándar del VPN en el caso base. La desviación estándar del VPN

Cuadro 5.2: Estadísticos Descriptivos VPN en el caso base

Estadístico	Valor (Millones US\$)
Media	931,46
Desviación Estándar	572,15

representa el 60 % de la media del VPN. El riesgo de este proyecto se puede graficar utilizando un intervalo de confianza al 95 %, esto es,  $[-189,95; 2.052,84]$ . Este intervalo contiene valores de VPN negativos que muestra la posibilidad de que el proyecto no sea rentable.

Debido a que todos los flujos de caja se distribuyen Normal el VPN también se distribuye Normal. Esto implica que la distribución del VPN tiene skewness 0 y kurtosis 3.

### 5.1.1. Efecto de los parámetros en la varianza del VPN

El cuadro 5.3 muestra el efecto que tiene en la varianza un cambio de 10 % en los diferentes parámetros.

Cuadro 5.3: Efecto de una variación de 10 % en parámetros en la varianza del VPN

Parámetro	$\Delta$ Varianza VPN (%)
$\lambda$	17,83
$\rho$	2,34
$r$	-22,51

El parámetro más relevante, en valor absoluto, es la tasa de descuento  $r$ . Al igual que en el caso del valor esperado del VPN un aumento de este parámetro provoca una disminución en la varianza del VPN.

La figura 5.1 muestra los efectos de los parámetros  $\rho$  (Efecto Rho),  $\lambda$  (Efecto Lambda) y  $r$  (Efecto Tasa de Descuento) en la varianza del VPN. Cada parámetro se sensibiliza en el rango  $[-20\%; 20\%]$  respecto al caso base.

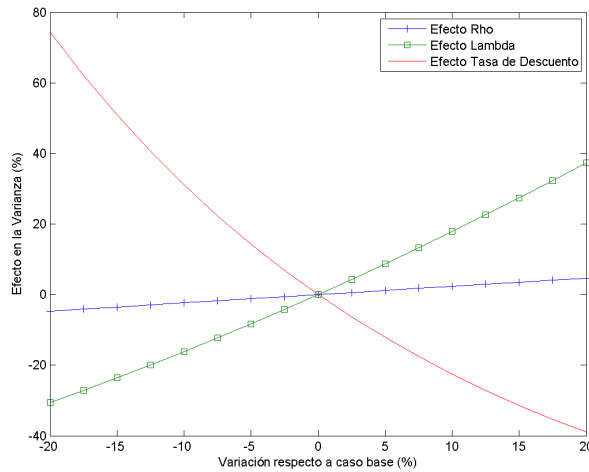


Figura 5.1: Sensibilidad de la varianza del VPN Tren de Texas

El efecto más importante está dado por el parámetro  $r$ . Tal como se aprecia en la figura 5.1 su efecto es asimétrico teniendo un efecto casi dos veces mayor (en valor absoluto) ante bajas del parámetro que en las alzas. Un cambio en  $\rho$  tiene un efecto cinco veces menor en la varianza del VPN.

En el caso de la TIR, MIRR y PBP no se puede determinar las distribuciones en forma analítica. Debido a que las distribuciones de estas medidas se obtienen de un procedimiento de simulación es necesario la aplicación de un test que permita validar los resultados. Para validar los resultados se realizan test basados en la media y varianza del VPN según lo expuesto en el anexo A.1 y los resultados para este caso se muestran en la figura B.1 (test de la media) y en la figura B.4 (test de la varianza).

### 5.1.2. Análisis de resultados: TIR

La figura 5.2 muestra el histograma de la TIR para el proyecto Tren de Texas. Las barras azules muestran la distribución empírica de la TIR y la línea roja muestra la distribución normal ajustada utilizando el comando histfit del software MATLAB.

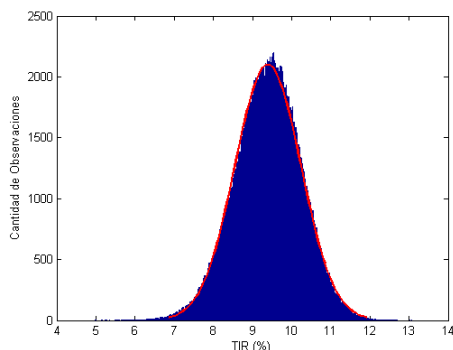


Figura 5.2: Histograma TIR proyecto Tren de Texas

En el cuadro 5.4 se muestra el valor de los estadísticos media, desviación estándar, skewness y kurtosis para el caso base de este proyecto.

Cuadro 5.4: Estadísticos distribución TIR en el caso base

Estadístico	Valor
Media	9,39 %
Desviación Estándar	0,84 %
Skewness	-0,15
Kurtosis	3,10

El cuadro 5.4 muestra que a la izquierda de la media existen mayor probabilidad de valores negativos que lo indicado por la distribución Normal (debido a la skewness negativa).

El cuadro 5.5 muestran dos intervalos de confianza al 95 %. El primer intervalo de confianza se calcula utilizando la distribución Normal. El segundo intervalo se calcula utilizando la distribución empírica.

Cuadro 5.5: Intervalo de Confianza

Distribución	Valor Inferior	Valor Superior
Normal	7,74 %	11,04 %
Empírica	7,69 %	10,99 %

Este intervalo de confianza confirma la existencia de una mayor probabilidad de ocurrencia de retornos menores a la media que lo implicado por la distribución Normal. Debido a que la tasa de descuento de este proyecto es de 8 %, en el caso de la distribución empírica,

existe una mayor probabilidad de que el proyecto no sea rentable en comparación a la distribución Normal.

A continuación se analiza el efecto de cambios en los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en los distintos momentos de la distribución de la TIR. La figura 5.3 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la media de la TIR respecto al caso base. El parámetro de mayor impacto es  $\lambda$ .

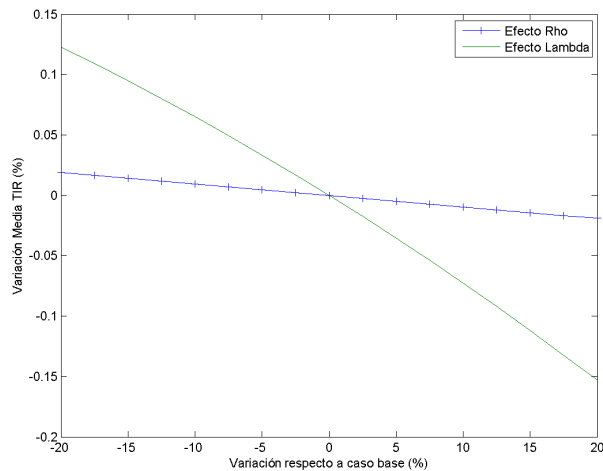


Figura 5.3: Sensibilidad de la media de la TIR proyecto Tren de Texas

Sin embargo una variación en este parámetro tiene un efecto 100 veces menor en la media de la TIR. El efecto de  $\rho$  es de orden 10 veces menor al que tiene  $\lambda$ .

La figura 5.4 muestra el efecto de cambios en  $\rho$  y  $\lambda$  en la desviación estándar de la TIR respecto al caso base.



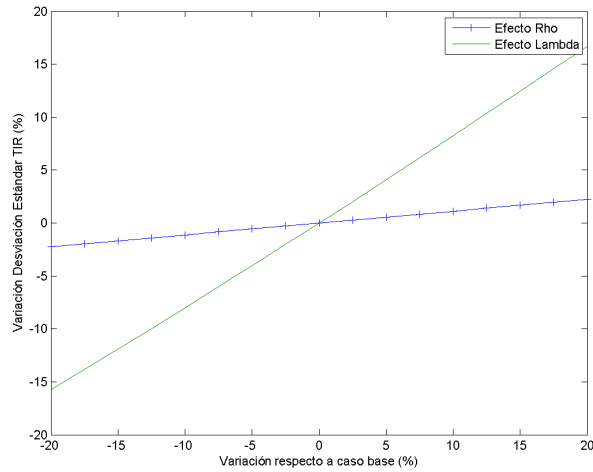


Figura 5.4: Sensibilidad de la desviación estándar de la TIR proyecto Tren de Texas

El parámetro de mayor impacto es  $\lambda$ . La magnitud de este efecto es similar al cambio en  $\lambda$ . Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 10 veces menor en la desviación estándar de la TIR.

La figura 5.5 muestra el efecto de una variación en los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la skewness de la TIR respecto al caso base.

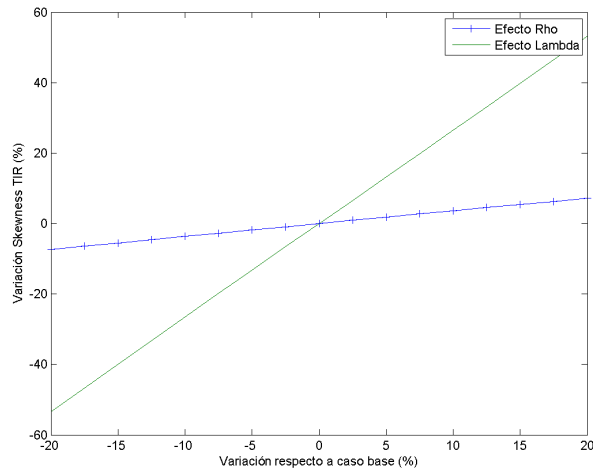


Figura 5.5: Sensibilidad de la skewness de la TIR proyecto Tren de Texas

El parámetro de mayor impacto es  $\lambda$ . Un cambio en el parámetro  $\lambda$  genera una variación de orden 3 veces mayor en la skewness de la TIR. Un cambio en el parámetro  $\rho$  provoca una variación de orden dos veces menor.

La figura 5.6 muestra el efecto sobre la kurtosis de la TIR de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  respecto al caso base.

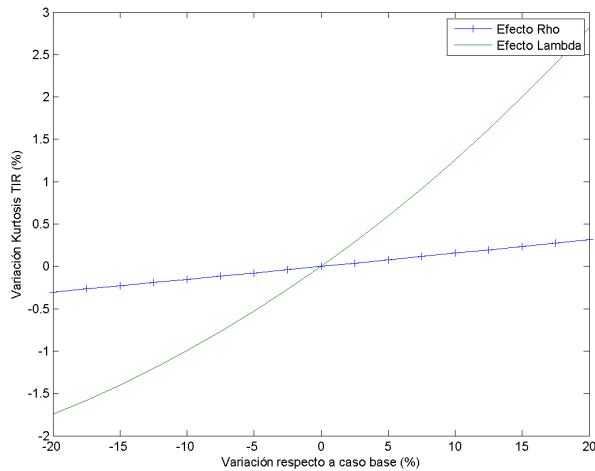


Figura 5.6: Sensibilidad de la kurtosis de la TIR proyecto Tren de Texas

Un cambio en  $\lambda$  genera una variación de orden 10 veces menor en la kurtosis de la TIR. El efecto del parámetro  $\lambda$  es asimétrico ante alzas y bajas respecto al caso base. Un cambio en  $\rho$  genera una variación de orden 100 veces menor en la kurtosis de la TIR.

### 5.1.3. Análisis de resultados: PBP

La figura 5.7 muestra el histograma del PBP para el proyecto Tren de Texas. Las barras en azul muestran el histograma empírico de PBP y la línea roja muestra la distribución Normal ajustada utilizando el comando histfit del software MATLAB.

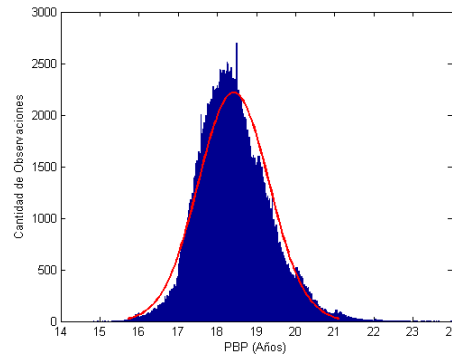


Figura 5.7: Histograma PBP proyecto Tren de Texas

El cuadro 5.6 muestra el valor de los estadísticos media, desviación estándar, skewness y kurtosis para el caso base de este proyecto.

Cuadro 5.6: Estadísticos distribución PBP en el caso base

Estadístico	Valor
Media	18,93 (Años)
Desviación Estándar	0,95 (Años)
Skewness	0,44
Kurtosis	3,61

El cuadro 5.7 muestra dos intervalos de confianza al 95 %. El primer intervalo de confianza se calcula utilizando la distribución Normal. El segundo intervalo se calcula utilizando la distribución empírica.

Cuadro 5.7: Intervalo de Confianza		
Distribución	Valor Inferior	Valor Superior
Normal	17,10	20,79
Empírica	16,84	20,38

El intervalo de confianza empírico muestra que es más probable recuperar la inversión antes de lo que indicaría la distribución Normal.

La figura 5.8 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la media del PBP respecto al caso base.

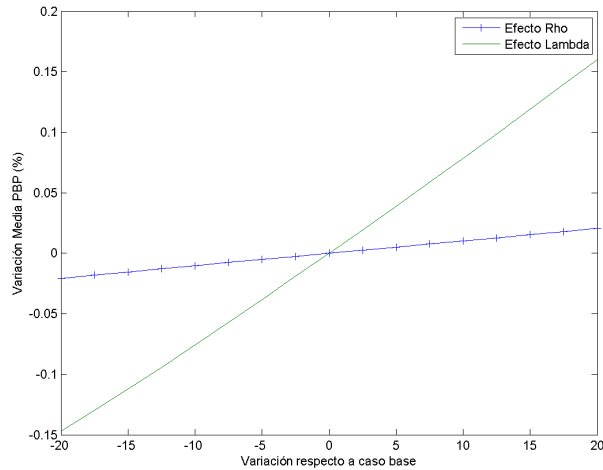


Figura 5.8: Sensibilidad de la media del PBP proyecto Tren de Texas

Ambos parámetros generan un aumento en el tiempo de retorno de la inversión. Sin embargo ambos parámetros tienen un efecto menor. Un cambio en  $\rho$  genera una variación 1000 veces menor en la media del PBP. Un cambio en  $\lambda$  genera una variación 100 veces menor en la media del PBP.

La figura 5.9 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la desviación estándar del PBP respecto al caso base.

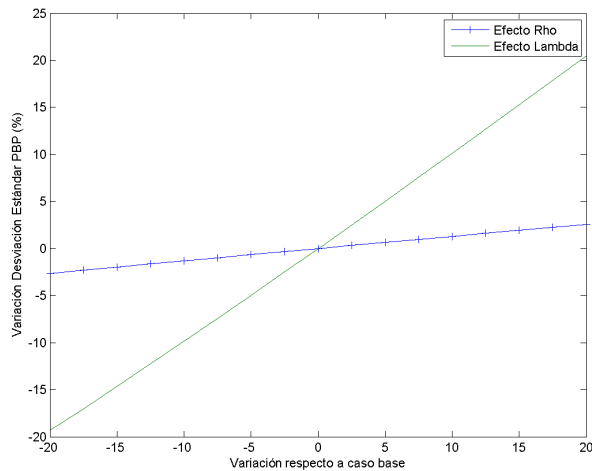


Figura 5.9: Sensibilidad de la desviación estándar del PBP proyecto Tren de Texas

Una variación en el parámetro  $\lambda$  provoca un cambio de similar magnitud en la desviación

estándar del PBP. Un cambio en  $\rho$  genera una variación 10 veces menor en la desviación estándar del PBP.

La figura 5.10 muestra el efecto de una variación en los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la skewness de la PBP respecto al caso base.

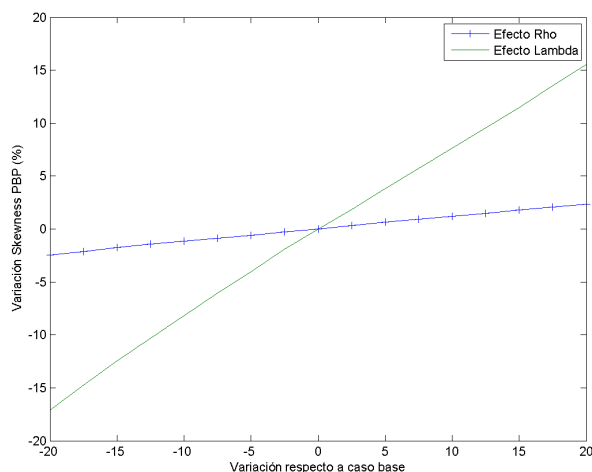


Figura 5.10: Sensibilidad de la skewness del PBP proyecto Tren de Texas

Una variación en  $\lambda$  provoca una variación similar en la skewness del PBP. Un cambio en  $\rho$  genera una variación 10 veces menor en la skewness del PBP.

La figura 5.11 muestra el efecto de una variación en los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la kurtosis del PBP respecto al caso base.

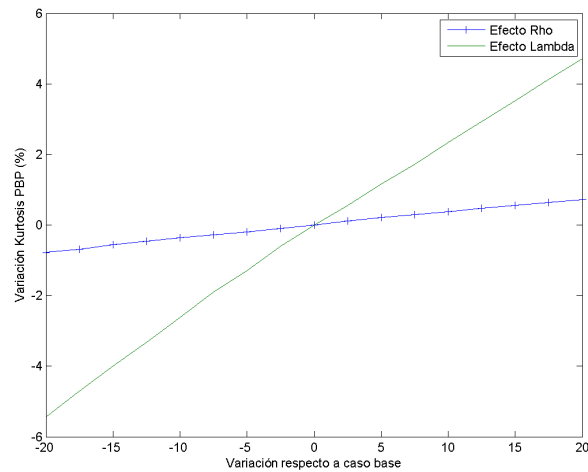


Figura 5.11: Sensibilidad de la kurtosis del PBP proyecto Tren de Texas

Ambos efectos tienen un impacto acotado. Un cambio en  $\lambda$  tiene un efecto 4 veces menor en la kurtosis del PBP. Un cambio en  $\rho$  tiene un efecto 20 veces menor en la kurtosis del PBP.

#### 5.1.4. Análisis de resultados: MIRR

La figura 5.12 muestra el histograma de la MIRR para el proyecto Tren de Texas. Las barras azules muestran la distribución empírica de la MIRR mientras la línea roja muestra la distribución Normal ajustada utilizando el comando histfit del software MATLAB.

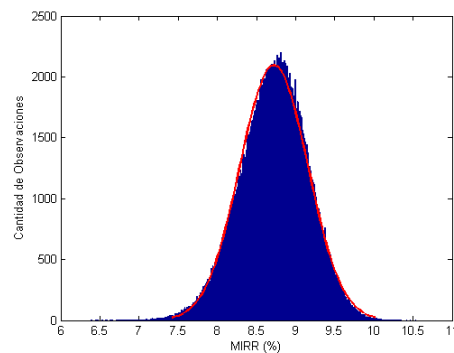


Figura 5.12: Histograma MIRR proyecto Tren de Texas

El cuadro 5.8 muestra el valor de los estadísticos media, desviación estándar, skewness y kurtosis para el caso base de este proyecto.

Cuadro 5.8: Estadísticos distribución MIRR en el caso base

Estadístico	Valor
Media	8,72 %
Desviación Estándar	0,43 %
Skewness	-0,20
Kurtosis	3,11

Notar que la media de la MIRR es menor a la media de la TIR. En este caso el retorno promedio del proyecto excede sólo por 0,72 % a la tasa libre de riesgo.

El cuadro 5.9 muestra dos intervalos de confianza al 95 %. El primer intervalo de confianza se calcula utilizando la distribución Normal. El segundo intervalo se calcula utilizando la distribución empírica.

Cuadro 5.9: Intervalo de Confianza

Distribución	Valor Inferior	Valor Superior
Normal	7,88 %	9,56 %
Empírica	7,84 %	9,53 %

La MIRR, al igual que en el caso de la TIR, tiene mayor probabilidad a la izquierda de la media que la distribución Normal.

La figura 5.13 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$ ,  $\rho$  y  $r$  en la media de la MIRR respecto al caso base.

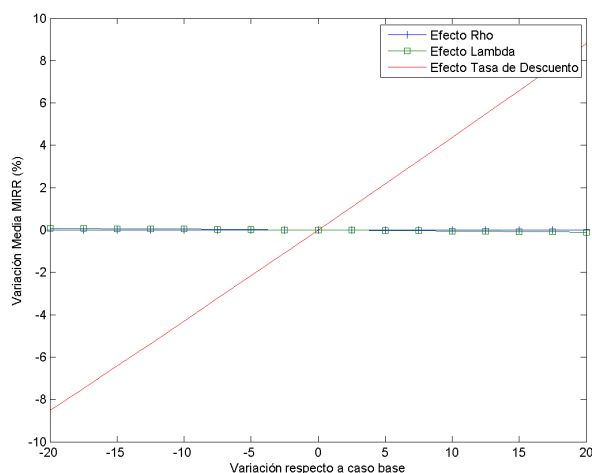


Figura 5.13: Sensibilidad de la media de la MIRR proyecto Tren de Texas

Los efectos de  $\lambda$  y  $\rho$ , en valor absoluto, son menores a 0,10%. Un cambio en la tasa de descuento genera una variación dos veces menor en la media de la MIRR.

La figura 5.14 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$ ,  $\rho$  y  $r$  en la desviación estándar de la MIRR respecto al caso base.

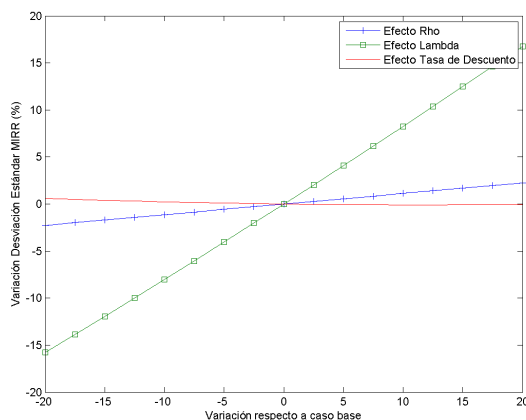


Figura 5.14: Sensibilidad de la desviación estándar de la MIRR proyecto Tren de Texas

Una variación en  $\lambda$  provoca un cambio de igual magnitud en la desviación estándar de la MIRR. El parámetro  $\rho$  es el segundo en importancia. Un cambio de  $\rho$  genera una variación en la desviación estándar de la MIRR 10 veces menor. La tasa de descuento tiene el menor efecto en valor absoluto. Un aumento en el parámetro  $r$  disminuye la desviación estándar



de la MIRR.

La figura 5.15 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$ ,  $\rho$  y  $r$  en la skewness de la MIRR respecto al caso base.

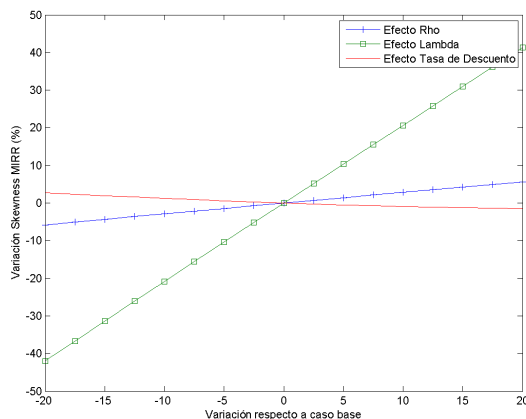


Figura 5.15: Sensibilidad de la skewness de la MIRR proyecto Tren de Texas

Un cambio en  $\lambda$  genera una variación 2 veces mayor en la skewness de la MIRR. Un cambio en  $\rho$  genera un efecto 5 veces menor en la skewness de la MIRR. El parámetro  $r$  provoca un efecto 10 veces menor en este caso.

La figura 5.16 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$ ,  $\rho$  y  $r$  en la kurtosis del MIRR respecto al caso base.

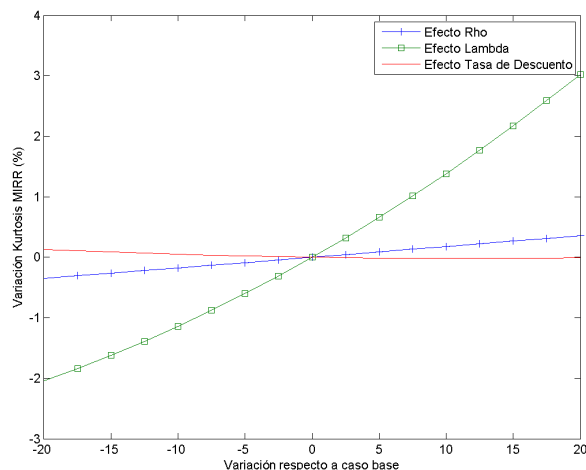


Figura 5.16: Sensibilidad de la kurtosis de la MIRR proyecto Tren de Texas

Un cambio en el parámetro  $\lambda$  genera una variación de orden 10 veces menor en la kurtosis de la MIRR. El efecto en la kurtosis difiere ante alzas y bajas de  $\lambda$ . Un cambio en  $\rho$  genera una variación de orden 100 veces más pequeña en la kurtosis de la MIRR. El efecto de la tasa de descuento es menor a 0,2%.

## 5.2. Southport Minerals

El cuadro 5.10 muestra los flujos de caja correspondientes a este proyecto. El proyecto está compuesto por 4 años de construcción de infraestructura y 13 años de operación.

Cuadro 5.10: Flujos de Caja estimados para proyecto Southport Minerals

Año	Flujo	Tipo de Flujo	Valor (Millones US\$)
1969	0	Construcción	-7,5
1970	1	Construcción	-18,9
1971	2	Construcción	-42,5
1972	3	Construcción	-51,1
1973	4	Operación	25,4
1974	5	Operación	25,4
1975	6	Operación	25,4
1976	7	Operación	24,6
1977	8	Operación	24,6
1978	9	Operación	24,6
1979	10	Operación	24,6
1980	11	Operación	24,6
1981	12	Operación	23,8
1982	13	Operación	23,8
1983	14	Operación	23,8
1984	15	Operación	23,8
1985	16	Operación	28

Además de los flujos de caja estimados para este proyecto se utilizan los siguientes parámetros.

- $\lambda_{inv} = 10\%$
- $r = 6,2\%$
- $\lambda = 40\%$
- $\rho = 20\%$

Los flujos de caja estimados para este proyecto y los parámetros descritos anteriormente corresponden al caso base. La elección de los parámetros que modelan la incertidumbre en el caso base no son estimaciones realizadas en la evaluación original. Los valores asignados a cada parámetro son utilizados de manera referencial para analizar el efecto que tiene cada parámetro sobre las distribuciones de las medidas de interés, es por esto que el valor asignado no invalida el análisis que se presenta a continuación. El cuadro 5.11 muestra la media y desviación estándar del VPN en el caso base.

Cuadro 5.11: Estadísticos Descriptivos VPN en el caso base

Estadístico	Valor (Millones US\$)
Media	75,72
Desviación Estándar	24,85

La desviación estándar del VPN representa el 32 % de la media del VPN. En este proyecto un intervalo de confianza al 95 % es [27,01;124,43]. Esto indica que este es un proyecto en el que se toma bajo riesgo de que el proyecto no sea rentable.

Debido a que los flujos de caja se distribuyen Normal el VPN también se distribuye Normal. Esto implica que la distribución del VPN tiene skewness 0 y kurtosis 3.

### 5.2.1. Efecto de los parámetros en la varianza del VPN

El cuadro 5.12 muestra el efecto que tiene en la varianza un cambio de 10 % en los diferentes parámetros.

Cuadro 5.12: Efecto de una variación de 10 % en parámetros en la varianza del VPN

Parámetro	$\Delta$ Varianza VPN( %)
$\lambda$	19,77
$\rho$	2,50
$r$	-8,83

A diferencia del caso anterior, en este caso el parámetro más importante es  $\lambda$ . Mostrando un efecto, en valor absoluto, más de dos veces mayor al que muestra la tasa de descuento.

La figura 5.17 muestra el efecto que tienen en la varianza del VPN variaciones en los parámetros  $\rho$  (Efecto Rho),  $\lambda$  (Efecto Lambda) y  $r$  (Efecto Tasa de Descuento). Cada parámetro se sensibiliza en el rango [-20 %, 20 %] respecto al caso base.

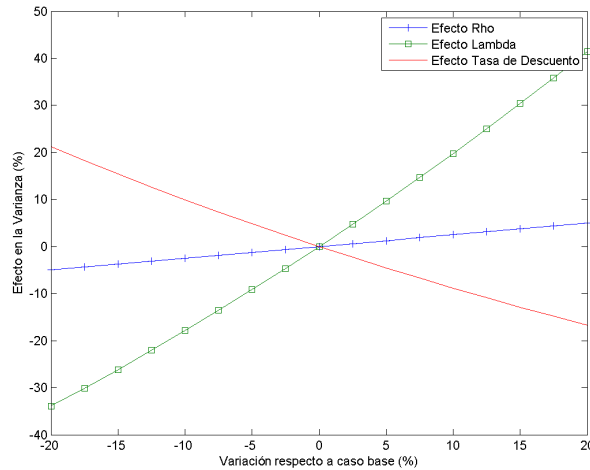


Figura 5.17: Sensibilidad de la varianza del VPN proyecto Southport Minerals

El efecto de  $r$  es menor (en valor absoluto) al caso anterior. Además no se aprecia un comportamiento tan asimétrico como en el proyecto anterior. Los efectos de  $\lambda$  y  $\rho$  tienen la misma magnitud que en el proyecto Tren de Texas.

En el caso de la TIR, MIRR y PBP no se puede determinar las distribuciones en forma analítica. Debido a que las distribuciones de estas medidas se obtienen de un procedimiento de simulación es necesario la aplicación de un test que permita validar los resultados. Para validar los resultados se realizan tests basados en la media y varianza del VPN según lo expuesto en el anexo A.1 y los resultados para este caso se muestran en la figura B.2 (test de la media) y en la figura B.5 (test de la varianza).

### 5.2.2. Análisis de resultados: TIR

La figura 5.18 muestra el histograma de la TIR para el proyecto Southport Minerals utilizando los parámetros del caso base. Las barras azules muestran la distribución empírica de la TIR y la línea roja muestra la distribución normal ajustada utilizando el comando `histfit` del software MATLAB.

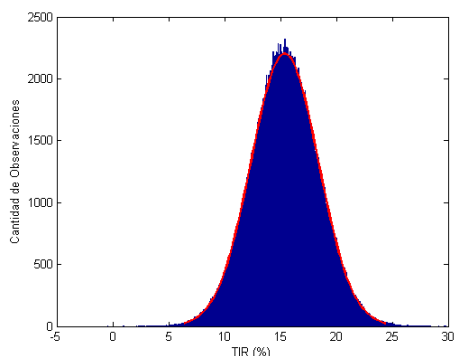


Figura 5.18: Histograma TIR proyecto Southport Minerals

El cuadro 5.13 muestra el valor de los estadísticos media, desviación estándar, skewness y kurtosis para el caso base de este proyecto.

Cuadro 5.13: Estadísticos distribución TIR en el caso base

Estadístico	Valor
Media	15,38 %
Desviación Estándar	2,99 %
Skewness	0,3
Kurtosis	3,07

La distribución de la TIR tiene una cola derecha con mayor probabilidad que lo que implica la distribución Normal.

El cuadro 5.14 muestra dos intervalos de confianza al 95 %. El primer intervalo de confianza se calcula utilizando la distribución Normal. El segundo intervalo se calcula utilizando la distribución empírica.

Cuadro 5.14: Intervalo de Confianza

Distribución	Valor Inferior	Valor Superior
Normal	9,51 %	21,25 %
Empírica	9,53 %	21,30 %

El intervalo de confianza confirma lo que indicaba la skewness de la TIR, esto es, la cola derecha tiene mayor probabilidad que la implicada por la distribución Normal. Con un 95 % de confianza el proyecto obtiene un exceso de retorno algo mayor al 3% considerando que la tasa de descuento es 6,2%.

La figura 5.19 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la media de la TIR respecto al caso base.

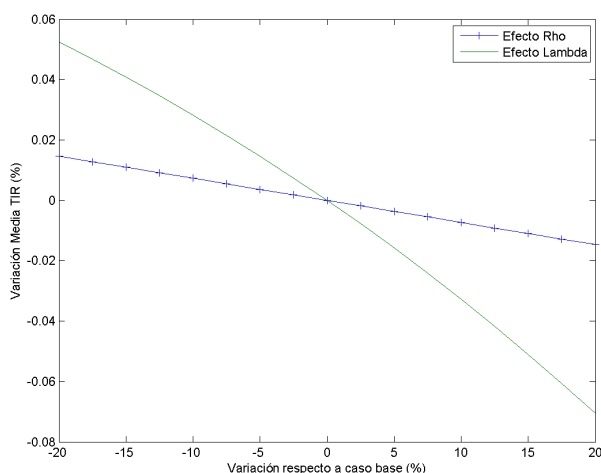


Figura 5.19: Sensibilidad de la media de la TIR proyecto Southport Minerals

El efecto de ambos parámetros tiene pendiente negativa, es decir, el aumento de cualquiera de ellos disminuye la media de la TIR. Sin embargo ambos efectos tienen una magnitud menor en valor absoluto a 0,08%.

La figura 5.20 muestra los efectos de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la desviación estándar de la TIR respecto al caso base.

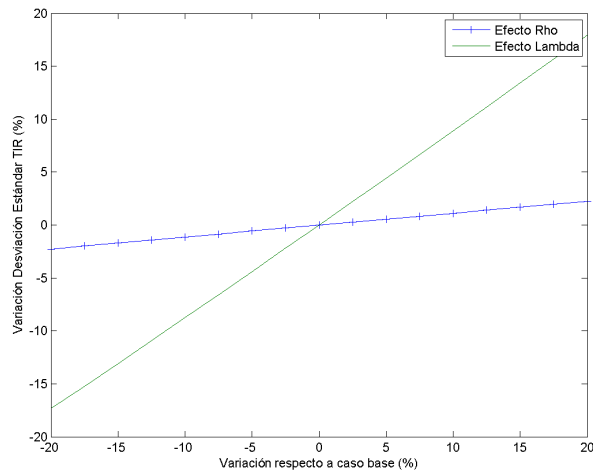


Figura 5.20: Sensibilidad de la desviación estándar de la TIR proyecto Southport Minerals

Un cambio en el parámetro  $\rho$  genera una variación 10 veces menor en la desviación estándar de la TIR. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto de igual magnitud en la desviación estándar de la TIR. El efecto de ambos parámetros tiene pendiente positiva.

La figura 5.21 muestra el efecto de una variación en los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la skewness de la TIR respecto al caso base.

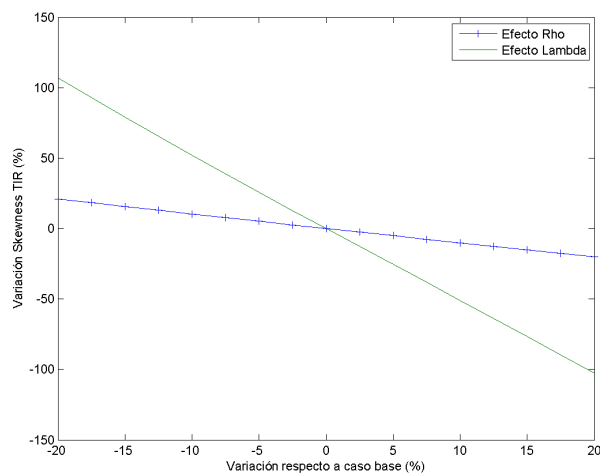


Figura 5.21: Sensibilidad de la skewness de la TIR proyecto Southport Minerals

Una variación en  $\rho$  tiene un efecto de igual magnitud en la skewness de la TIR. Un cambio en el parámetro  $\lambda$  genera una variación 5 veces mayor en la skewness de la TIR. Un



aumento de  $\lambda$  de 20% provoca en la skewness un cambio de signo.

La figura 5.22 muestra el efecto sobre la kurtosis de la TIR de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  respecto al caso base.

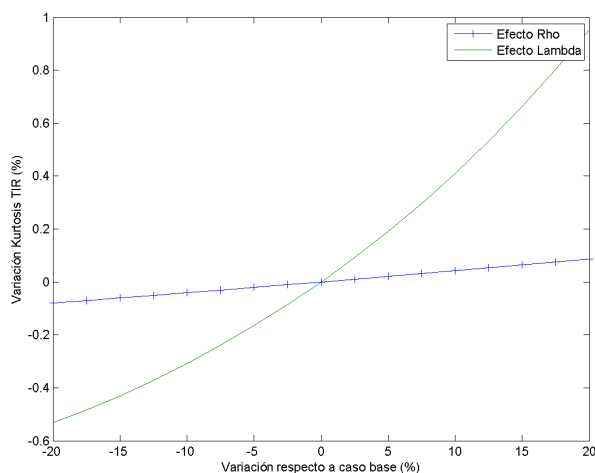


Figura 5.22: Sensibilidad de la kurtosis de la TIR proyecto Southport Minerals

Un cambio en  $\rho$  genera una variación 200 veces menor en la kurtosis de la TIR. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto 20 veces menor en la kurtosis de la TIR.

### 5.2.3. Análisis de resultados: PBP

La figura 5.23 muestra el histograma del PBP para el proyecto Southport Minerals. Las barras azules muestran la distribución empírica del PBP y la línea roja muestra la distribución Normal ajustada utilizando el comando histfit del software MATLAB.

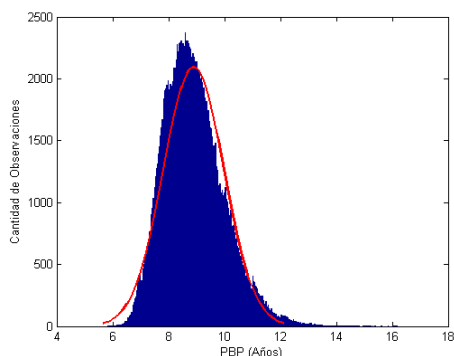


Figura 5.23: Histograma PBP proyecto Southport Minerals

El cuadro 5.15 muestra el valor de los estadísticos media, desviación estándar, skewness y kurtosis para el caso base de este proyecto.

Cuadro 5.15: Estadísticos distribución PBP en el caso base

Estadístico	Valor
Media	8,89 (Años)
Desviación Estándar	1,08 (Años)
Skewness	0,66
Kurtosis	3,73

La skewness en el caso base muestra que la probabilidad de que el tiempo de recuperar el dinero sea mayor a la media es mayor que al utilizar la distribución Normal.

El cuadro 5.16 muestra dos intervalos de confianza al 95 %. El primer intervalo de confianza se calcula utilizando la distribución Normal. El segundo intervalo se calcula utilizando la distribución empírica del PBP.

Cuadro 5.16: Intervalo de Confianza		
Distribución	Valor Inferior	Valor Superior
Normal	6,78	11,01
Empírica	7,11	11,31

La figura 5.24 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la media del PBP respecto al caso base.

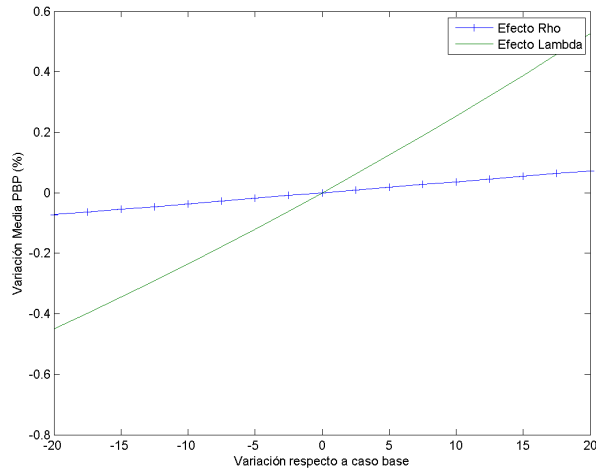


Figura 5.24: Sensibilidad de la media del PBP proyecto Southport Minerals

Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 300 veces menor en la media del PBP. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto 50 veces menor en la media del PBP.

La figura 5.25 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la desviación estándar del PBP respecto al caso base.

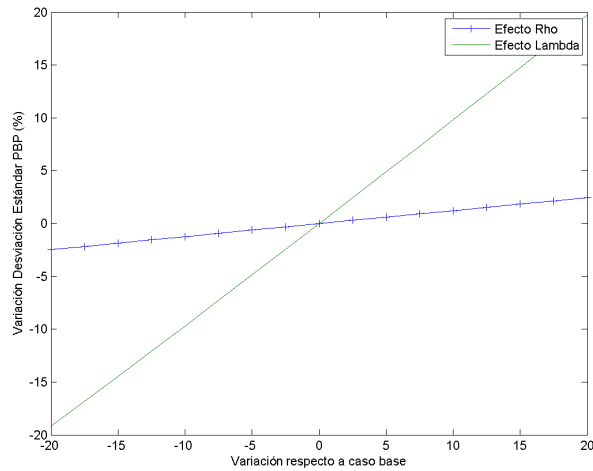


Figura 5.25: Sensibilidad de la desviación estándar del PBP proyecto Southport Minerals

Un cambio en el parámetro  $\lambda$  provoca una variación de igual magnitud en la desviación estándar del PBP. Un cambio en  $\rho$  tiene un efecto de magnitud 10 veces menor en la desviación estándar del PBP.

La figura 5.26 muestra el efecto de una variación en los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la skewness de la PBP respecto al caso base.

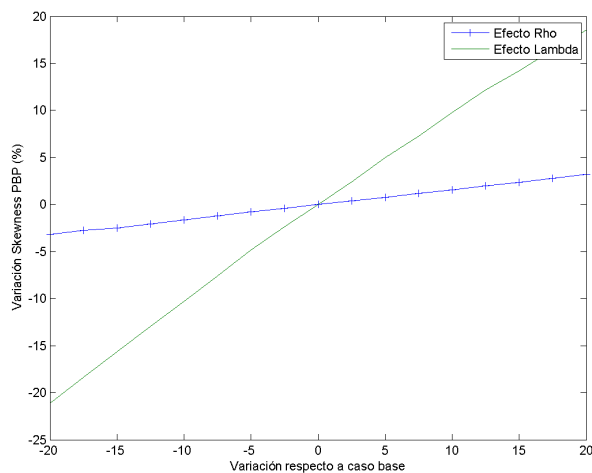


Figura 5.26: Sensibilidad de la skewness del PBP proyecto Southport Minerals

Un cambio en el parámetro  $\lambda$  provoca una variación de igual magnitud en la skewness del PBP. Una variación en  $\rho$  tiene un efecto de magnitud entre 5 y 10 veces menor en la skewness del PBP.

La figura 5.27 muestra el efecto de una variación en los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la kurtosis del PBP respecto al caso base.

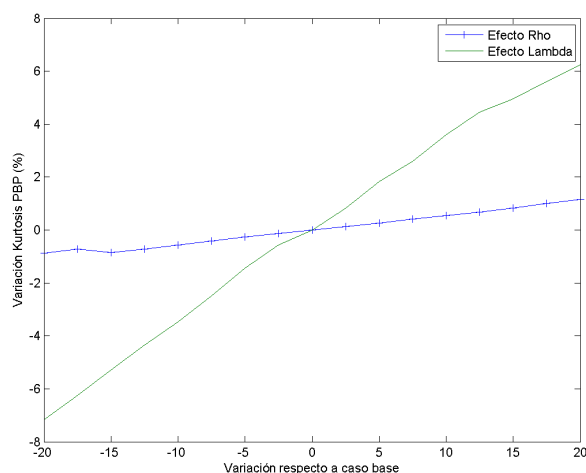


Figura 5.27: Sensibilidad de la Kurtosis del PBP proyecto Southport Minerals

Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 20 veces menor en la kurtosis del PBP. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto 3 veces menor en la kurtosis del PBP.

#### 5.2.4. Análisis de resultados: MIRR

La figura 5.28 muestra el histograma de la MIRR para el proyecto Southport Minerals. Las barras azules muestran la distribución empírica de la MIRR y la línea roja muestra la distribución Normal ajustada utilizando el comando histfit del software MATLAB.

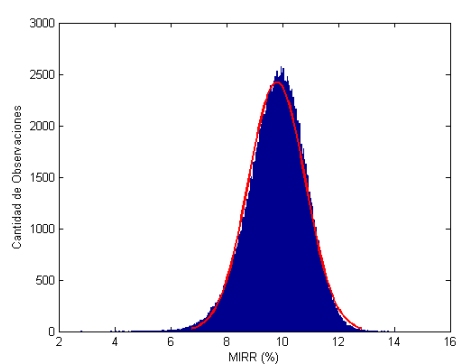


Figura 5.28: Histograma MIRR proyecto Southport Minerals

El cuadro 5.17 muestra el valor de los estadísticos media, desviación estándar, skewness y kurtosis para el caso base de este proyecto.

Cuadro 5.17: Estadísticos distribución MIRR en el caso base

Estadístico	Valor
Media	9,80 %
Desviación Estándar	1,01 %
Skewness	-0,30
Kurtosis	3,28

La skewness en el caso base muestra que los valores a la izquierda de la media tienen una probabilidad de ocurrencia mayor que lo que indica la distribución Normal. Notar que en este proyecto la skewness de la TIR es positiva a diferencia de lo que ocurre con la MIRR.

El cuadro 5.18 muestra dos intervalos de confianza al 95 %. El primer intervalo de confianza se calcula utilizando la distribución Normal. El segundo intervalo se calcula utilizando la distribución empírica de la MIRR.

Cuadro 5.18: Intervalo de Confianza		
Distribución	Valor Inferior	Valor Superior
Normal	7,82 %	11,78 %
Empírica	7,68 %	11,65 %

El intervalo de confianza empírico muestra claramente la existencia de mayor probabilidad en la MIRR en los valores menores a la media respecto a la distribución Normal.

La figura 5.29 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$ ,  $\rho$  y  $r$  en la media de la MIRR respecto al caso base.

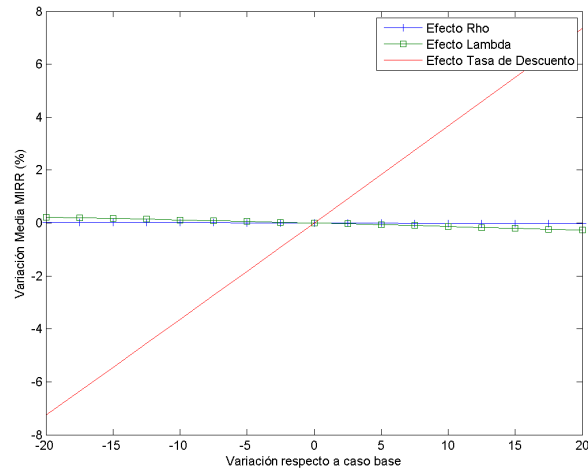


Figura 5.29: Sensibilidad de la media de la MIRR proyecto Southport Minerals

Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 1000 veces menor en la media de la MIRR. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto 100 veces menor en la media de la MIRR. Un cambio en la tasa de descuento provoca una variación 3 veces menor en la media de la MIRR. El efecto de la matriz de correlación, a través de  $\lambda$  y  $\rho$ , disminuye la media de la MIRR.

La figura 5.30 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$ ,  $\rho$  y  $r$  en la desviación estándar de la MIRR respecto al caso base.

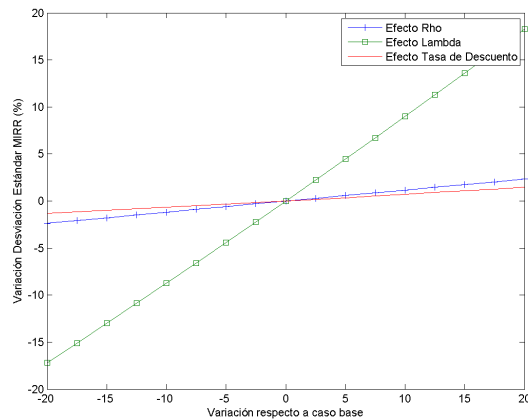


Figura 5.30: Sensibilidad de la desviación estándar de la MIRR proyecto Southport Minerals

Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 10 veces menor en la desviación estándar de la

MIRR. Una variación en la tasa de descuento tiene un efecto 20 veces menor en la desviación estándar de la MIRR. Un aumento en  $\lambda$  provoca una variación del mismo orden de magnitud en la desviación estándar de la MIRR. A diferencia del caso del Tren de Texas en este caso la tasa de descuento aumenta la desviación estándar de la MIRR.

La figura 5.31 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$ ,  $\rho$  y  $r$  en la skewness de la MIRR respecto al caso base.

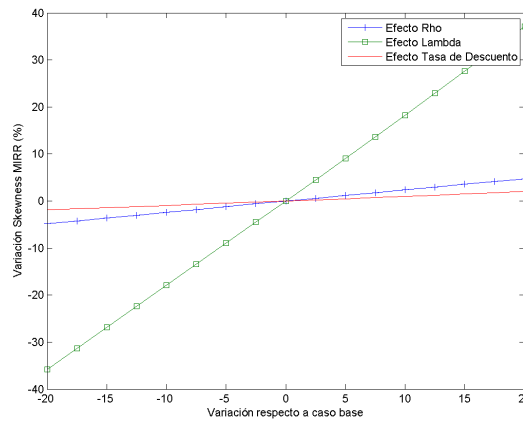


Figura 5.31: Sensibilidad de la skewness de la MIRR proyecto Southport Minerals

Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 5 veces menor en la skewness de la MIRR. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto 2 veces mayor en la skewness de la MIRR. Un cambio en la tasa de descuento provoca una variación 10 veces menor en la skewness de la MIRR.

La figura 5.32 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$ ,  $\rho$  y  $r$  en la kurtosis de la MIRR respecto al caso base.



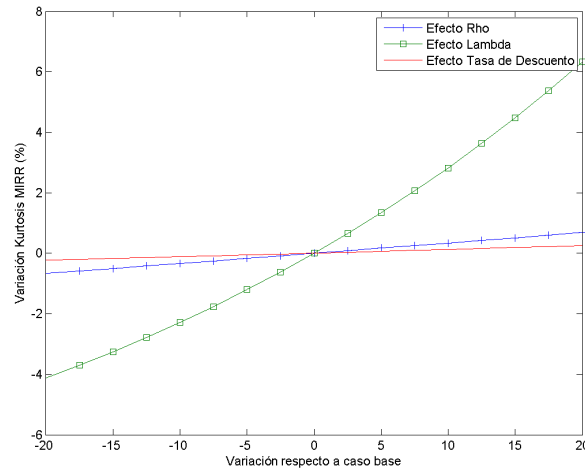


Figura 5.32: Sensibilidad de la kurtosis de la MIRR proyecto Southport Minerals

Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 30 veces menor en la kurtosis de la MIRR. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto entre 3 y 5 veces menor en la kurtosis de la MIRR. Un cambio en la tasa de descuento provoca una variación 100 veces menor en la kurtosis de la MIRR. A diferencia de la kurtosis de la MIRR en el caso del proyecto Tren de Texas en este caso el efecto de la tasa de descuento tiene una pendiente positiva.

### 5.3. Airbus A3XX

El cuadro 5.19 muestra los flujos de caja de este proyecto. El proyecto está compuesto por 7 años de construcción de infraestructura y 20 años de operación.

Cuadro 5.19: Flujos de Caja estimados para Airbus A3XX

Año	Flujo	Tipo de Flujo	Valor (Millones US\$)
2001	0	Construcción	-682
2002	1	Construcción	-1.755
2003	2	Construcción	-1.991
2004	3	Construcción	-1.978
2005	4	Construcción	-1.030
2006	5	Construcción	-658
2007	6	Construcción	-471
2008	7	Operación	832
2009	8	Operación	1167
2010	9	Operación	1167
2011	10	Operación	1167
2012	11	Operación	1167
2013	12	Operación	1167
2014	13	Operación	1167
2015	14	Operación	1167
2016	15	Operación	1167
2017	16	Operación	1167
2018	17	Operación	1167
2019	18	Operación	1167
2020	19	Operación	1167
2021	20	Operación	1167
2022	21	Operación	1167
2023	22	Operación	1167
2024	23	Operación	1167
2025	24	Operación	1167
2026	25	Operación	1167
2027	26	Operación	1167

Además de los flujos de caja se utilizan los siguientes parámetros,

- $\lambda_{inv} = 10\%$
- $r = 6\%$
- $\lambda = 40\%$
- $\rho = -20\%$

Los flujos de caja estimados para este proyecto y los parámetros descritos anteriormente corresponden al caso base. La elección de los parámetros que modelan la incertidumbre en

el caso base no son estimaciones realizadas en la evaluación original. Los valores asignados a cada parámetro son utilizados de manera referencial para analizar el efecto que tiene cada parámetro sobre las distribuciones de las medidas de interés, es por esto que el valor asignado no invalida el análisis que se presenta a continuación. El cuadro 5.20 muestra la media y desviación estándar del VPN en el caso base.

Cuadro 5.20: Estadísticos Descriptivos VPN

Estadístico	Valor (Millones US\$)
Media	1,803,38
Desviación Estándar	748,82

La desviación estándar del VPN representa 41 % de la media del VPN, según esta medida este proyecto es de riesgo medio entre los analizados en esta tesis. En este proyecto un intervalo de confianza al 95 % es [335,69; 3271,07]. Este proyecto es el que tiene mayor holgura respecto al punto donde el proyecto se vuelve infactible.

Debido a que todos los flujos de caja se distribuyen Normal el VPN también se distribuye Normal. Esto implica que la distribución del VPN tiene skewness 0 y kurtosis 3.

### 5.3.1. Efecto de los parámetros en la varianza del VPN

El cuadro 5.21 muestra el efecto que tiene en la varianza un cambio de 10 % en los diferentes parámetros.

Cuadro 5.21: Efecto de una variación de 10 % en parámetros en la varianza del VPN

Parámetro	$\Delta$ Varianza VPN( %)
$\lambda$	17,21
$\rho$	5,07
$r$	-11,68

El efecto más importante es el generado por el parámetro  $\lambda$ . En este proyecto el efecto de  $\rho$  es cerca del doble comparado con los proyectos antes presentados.

La figura 5.33 muestra los efectos de los parámetros  $\rho$  (Efecto Rho),  $\lambda$  (Efecto Lambda) y  $r$  (Efecto Tasa de Descuento) en la varianza del VPN. Cada parámetro se sensibiliza en el rango [-20 %, 20 %] respecto al caso base.

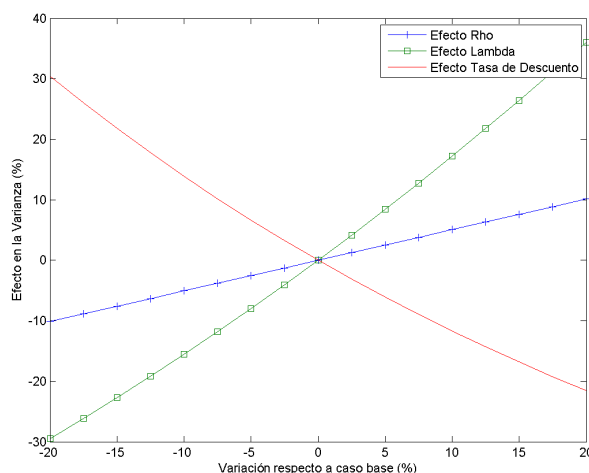


Figura 5.33: Sensibilidad de la varianza del VPN proyecto Airbus A3XX

La figura 5.33 muestra que en este proyecto al igual que en el caso del Tren de Texas el efecto de  $\lambda$  es asimétrico (en menor medida que en el caso del Tren de Texas). Sin embargo el cambio más importante respecto a los dos proyectos anteriores es la magnitud del efecto de  $\rho$ . Este parámetro tiene un efecto dos veces mayor al observado en los proyectos Tren de Texas y Southport Minerals.

En el caso de la TIR, MIRR y PBP no se puede determinar las distribuciones en forma analítica. Debido a que las distribuciones de estas medidas se obtienen de un procedimiento de simulación es necesario la aplicación de un test que permita validar los resultados. Para validar los resultados se realizan test basados en la media y varianza del VPN según lo expuesto en el anexo A.1. Los resultados de los test para este proyecto se muestran en la figura B.3 (test de la media) y la figura B.6 (test de la varianza).

Notar que la correlación en el caso base de este proyecto es negativa. Es por esto que en los gráficos cuando se menciona una disminución en el parámetro esto significa que toma valores más negativos.

### 5.3.2. Análisis de resultados: TIR

La figura 5.34 muestra el histograma de la TIR para el proyecto Airbus A3XX. Las barras azules muestran la distribución empírica de la TIR y la línea roja muestra la distribución Normal ajustada utilizando el comando histfit del software MATLAB.

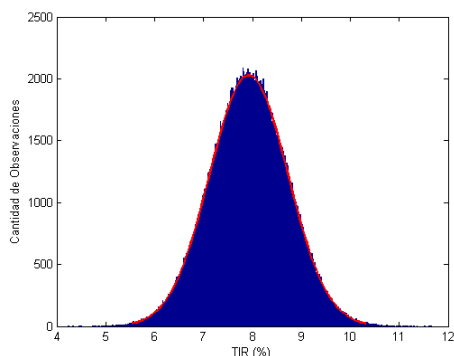


Figura 5.34: Histograma TIR proyecto Airbus A3XX

El cuadro 5.22 muestra el valor de los estadísticos media, desviación estándar, skewness y kurtosis para el caso base de este proyecto.

Cuadro 5.22: Estadísticos distribución TIR en el caso base

Estadístico	Valor
Media	7,92 %
Desviación Estándar	0,80 %
Skewness	0,0092
Kurtosis	3,03

La skewness y kurtosis anticipan un comportamiento similar a la distribución Normal para la distribución de la TIR.

El cuadro 5.23 muestra dos intervalos de confianza al 95 %. El primer intervalo de confianza se calcula utilizando la distribución Normal. El segundo intervalo se calcula utilizando la distribución empírica de la TIR.

Cuadro 5.23: Intervalo de Confianza		
Distribución	Valor Inferior	Valor Superior
Normal	6,36 %	9,49 %
Empírica	6,36 %	9,49 %

El cuadro anterior muestra que no hay diferencias entre la distribución Normal y la distribución empírica. Al 95 % el proyecto sería rentable, al considerar la tasa libre de riesgo de 6 %, sin embargo el exceso de retorno tiene un mínimo de 0,36 %.

La figura 5.35 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la media de la TIR respecto al caso base.

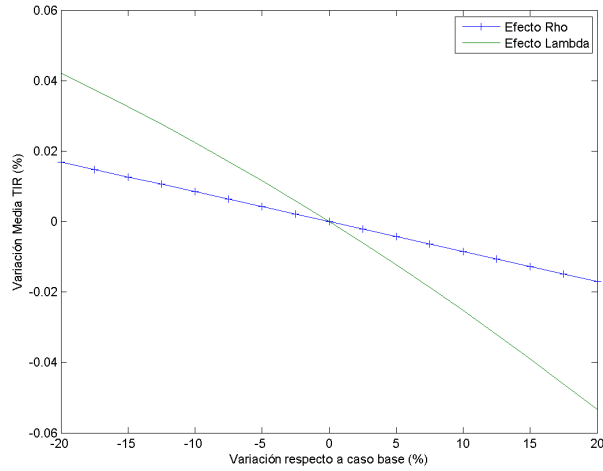


Figura 5.35: Sensibilidad de la media de la TIR proyecto Airbus A3XX

Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 2000 veces menor en la media de la TIR. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto 500 veces menor en la media de la TIR.

La figura 5.36 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la desviación estándar de la TIR respecto al caso base.

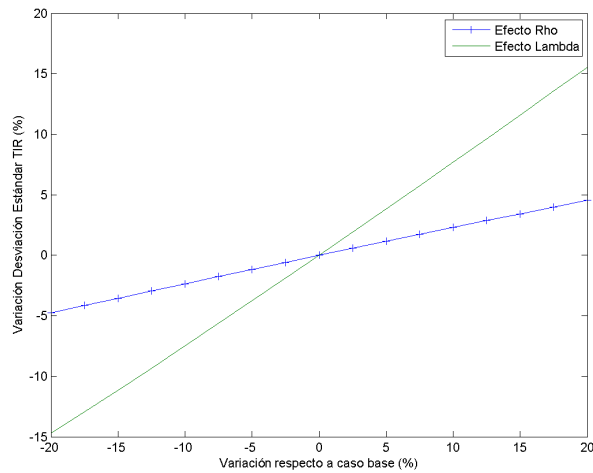


Figura 5.36: Sensibilidad de la desviación estándar de la TIR proyecto Airbus A3XX

Un cambio en el parámetro  $\rho$  provoca una variación 4 veces menor en la desviación

estándar de la TIR. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto de la misma magnitud en la desviación estándar de la TIR. El efecto de la correlación de los flujos de caja es 2 veces mayor en este proyecto que en los dos anteriores.

La figura 5.37 muestra el efecto de una variación en los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la skewness de la TIR respecto al caso base.

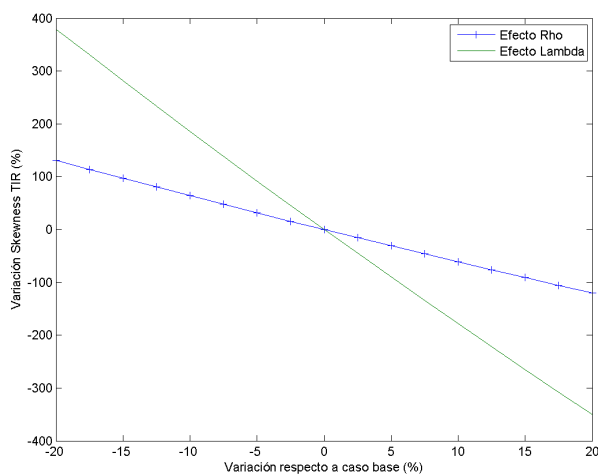


Figura 5.37: Sensibilidad de la skewness de la TIR proyecto Airbus A3XX

Un cambio en  $\lambda$  provoca una variación 20 veces mayor en la kurtosis de la TIR. Una variación en  $\rho$  tiene un efecto 6 veces mayor en la kurtosis de la TIR. En la medida que  $\rho$  se mueve hacia 0 (aumentos del parámetro) la skewness se vuelve negativa. En la medida que el parámetro  $\rho$  aumenta la skewness de la TIR se vuelve negativa.

La figura 5.38 muestra el efecto sobre la kurtosis de la TIR de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  respecto al caso base.

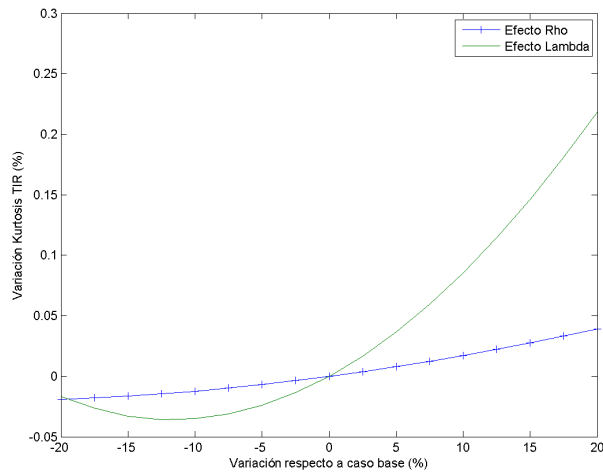


Figura 5.38: Sensibilidad de la kurtosis de la TIR proyecto Airbus A3XX

El efecto de ambos parámetros es bastante asimétrico. Además el efecto de ambos parámetros es limitado.

### 5.3.3. Análisis de resultados: PBP

La figura 5.39 muestra el histograma del PBP para el proyecto Airbus A3XX. Las barras azules muestran la distribución empírica del PBP y la línea roja muestra la distribución Normal ajustada utilizando el comando histfit del software MATLAB.

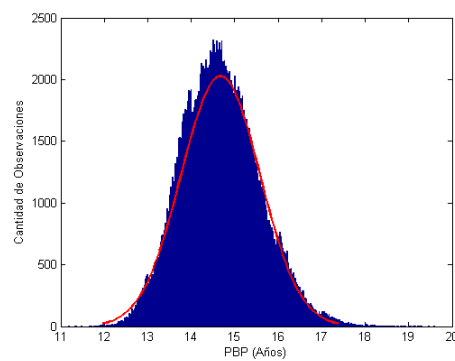


Figura 5.39: Histograma PBP proyecto Airbus A3XX

El cuadro 5.24 muestra el valor de los estadísticos media, desviación estándar, skewness y kurtosis para el caso base de este proyecto.



Cuadro 5.24: Estadísticos distribución PBP en el caso base

Estadístico	Valor
Media	14,67 (Años)
Desviación Estándar	0,90 (Años)
Skewness	0,30
Kurtosis	3,15

La skewness del PBP indica que a la derecha de la media la distribución tiene mayor probabilidad que la indicada por la distribución Normal.

El cuadro 5.25 muestra dos intervalos de confianza al 95 %. El primer intervalo de confianza se calcula utilizando la distribución Normal. El segundo intervalo se calcula utilizando la distribución empírica del PBP.

Cuadro 5.25: Intervalo de Confianza

Distribución	Valor Inferior	Valor Superior
Normal	12,90	16,44
Empírica	13,01	16,56

La figura 5.40 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la media del PBP respecto al caso base.

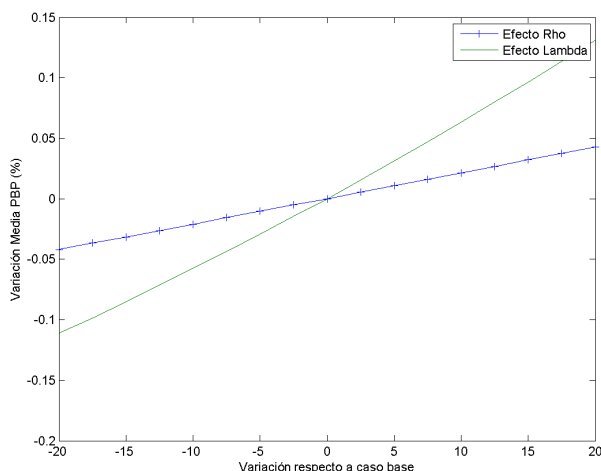


Figura 5.40: Sensibilidad de la media del PBP proyecto Airbus A3XX

Ambos parámetros tienen efectos menores. Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 500 veces menor en la media del PBP. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto 200 veces menor en la media del PBP.

La figura 5.41 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la desviación estándar del PBP respecto al caso base.

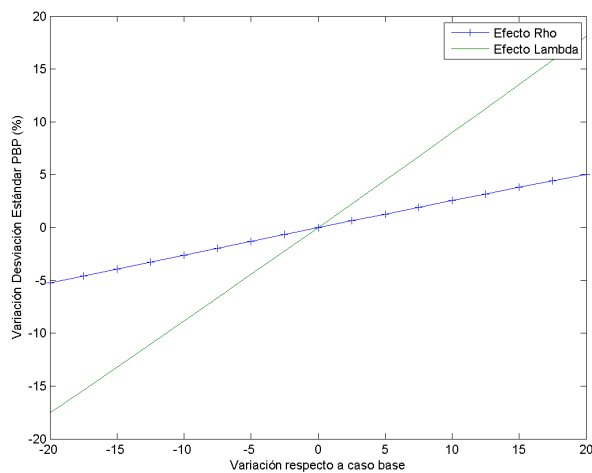


Figura 5.41: Sensibilidad de la desviación estándar del PBP proyecto Airbus A3XX

Un cambio en el parámetro  $\rho$  tiene un efecto 4 veces menor en la desviación estándar del PBP. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto de igual magnitud en la desviación estándar del PBP.

La figura 5.42 muestra el efecto de una variación en los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la skewness del PBP.

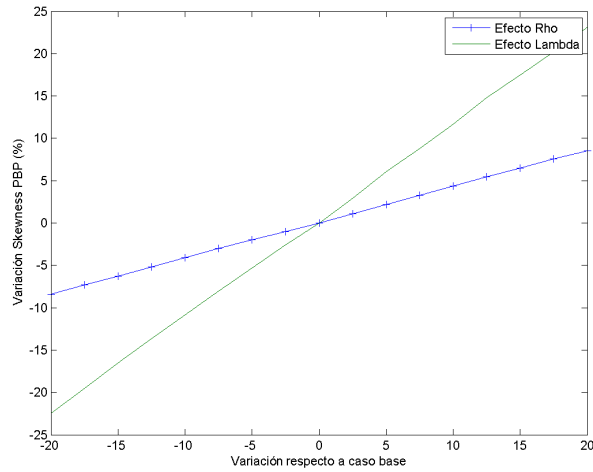


Figura 5.42: Sensibilidad de la skewness del PBP proyecto Airbus A3XX

Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 2 veces menor en la skewness del PBP. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto de igual magnitud en la skewness del PBP.

La figura 5.43 muestra el efecto de una variación en los parámetros  $\lambda$  y  $\rho$  en la kurtosis del PBP respecto al caso base.

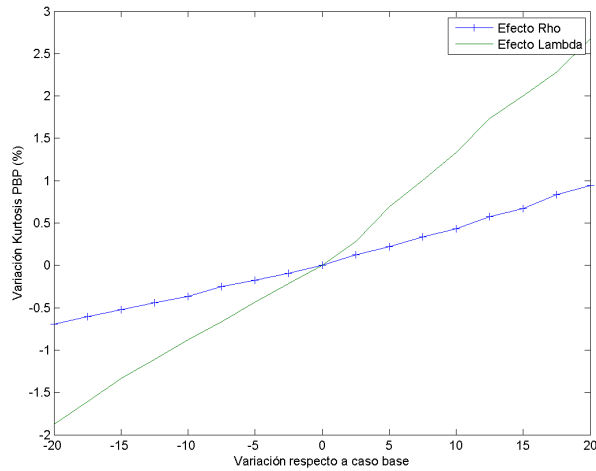


Figura 5.43: Sensibilidad de la kurtosis del PBP proyecto Airbus A3XX

Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 20 veces menor en la kurtosis del PBP. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto 10 veces menor en la kurtosis del PBP.

### 5.3.4. Análisis de resultados: MIRR

La figura 5.44 muestra el histograma de la MIRR para el proyecto Airbus A3XX. Las barras azules muestran la distribución empírica de la MIRR y la línea roja muestra la distribución Normal ajustada utilizando el comando histfit del software MATLAB.

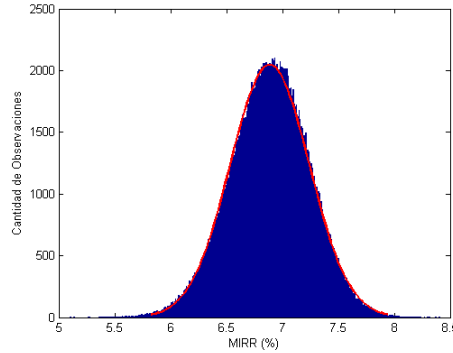


Figura 5.44: Histograma MIRR proyecto Airbus A3XX

El cuadro 5.26 muestra el valor de los estadísticos media, desviación estándar, skewness y kurtosis para el caso base de este proyecto.

Cuadro 5.26: Estadísticos distribución MIRR en el caso base

Estadístico	Valor
Media	6,89 %
Desviación Estándar	0,35 %
Skewness	-0,11
Kurtosis	3,06

En el caso de la MIRR la skewness es negativa contrastando el comportamiento de la TIR.

El cuadro 5.27 muestra dos intervalos de confianza al 95 %. El primer intervalo de confianza se calcula utilizando la distribución Normal. El segundo intervalo se calcula utilizando la distribución empírica de la MIRR.

Cuadro 5.27: Intervalo de Confianza

Distribución	Valor Inferior	Valor Superior
Normal	6,20 %	7,58 %
Empírica	6,18 %	7,56 %

La figura 5.45 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$ ,  $\rho$  y  $r$  en la media de la MIRR respecto al caso base.

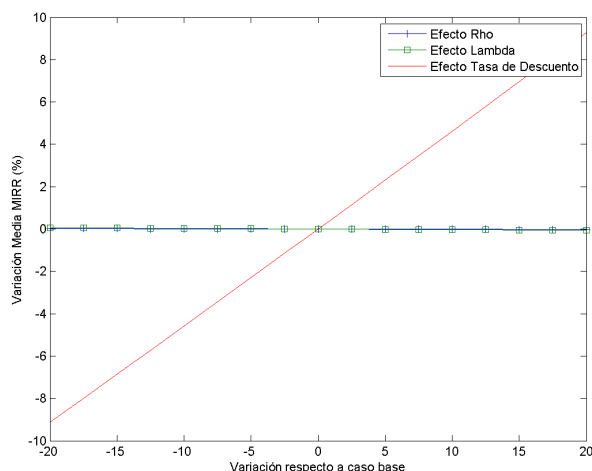


Figura 5.45: Sensibilidad de la media de la MIRR proyecto Airbus A3XX

Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 1000 veces menor en la media del MIRR. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto 300 veces menor en la media del MIRR. Un cambio en la tasa de descuento provoca una variación 2 veces menor en la media de la MIRR.

La figura 5.46 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$ ,  $\rho$  y  $r$  en la desviación estándar de la MIRR respecto al caso base.

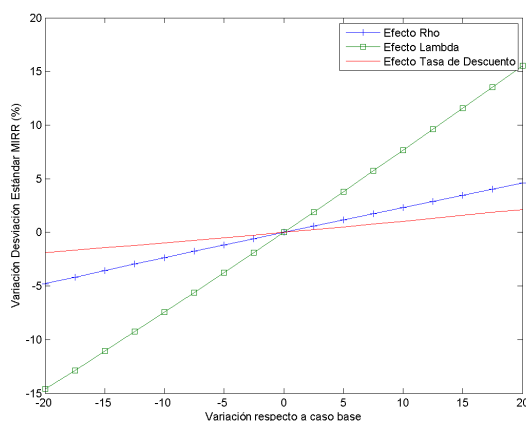


Figura 5.46: Sensibilidad de la desviación estándar de la MIRR proyecto Airbus A3XX

Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 4 veces menor en la desviación estándar de la

MIRR. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto de igual magnitud en la desviación estándar de la MIRR. Un cambio en la tasa de descuento provoca una variación 10 veces menor en la desviación estándar de la MIRR.

La figura 5.47 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$ ,  $\rho$  y  $r$  en la skewness de la MIRR respecto al caso base.

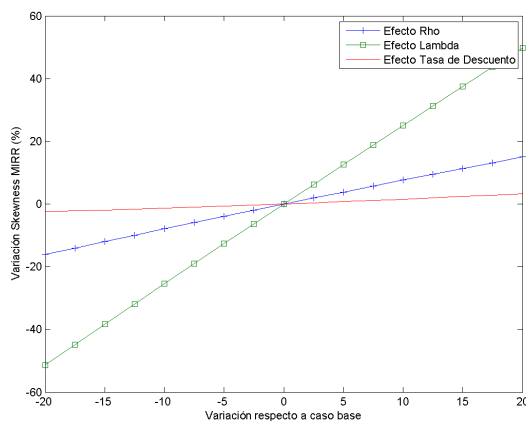


Figura 5.47: Sensibilidad de la skewness de la MIRR proyecto Airbus A3XX

Un cambio en  $\rho$  provoca una variación de igual magnitud en la skewness de la MIRR. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto 2,5 veces mayor en la skewness de la MIRR. Un cambio en la tasa de descuento provoca una variación 10 veces menor en la skewness de la MIRR.

La figura 5.48 muestra el efecto de los parámetros  $\lambda$ ,  $\rho$  y  $r$  en la kurtosis de la MIRR respecto al caso base.

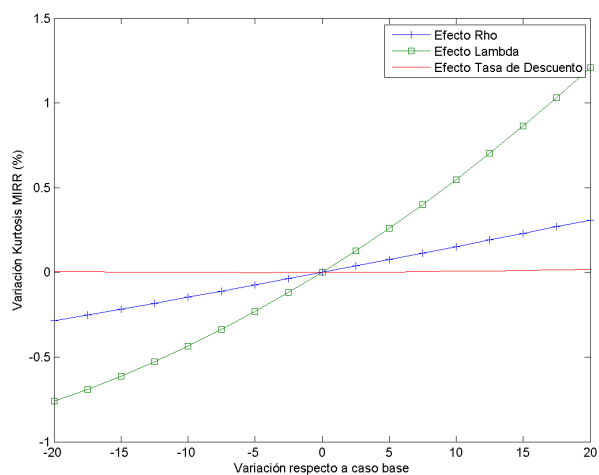


Figura 5.48: Sensibilidad de la kurtosis de la MIRR proyecto Airbus A3XX

Un cambio en  $\rho$  provoca una variación 100 veces menor en la kurtosis de la MIRR. Una variación en  $\lambda$  tiene un efecto 100 veces menor en la kurtosis de la MIRR. Un cambio en la tasa de descuento provoca una variación 1000 veces menor en la kurtosis de la MIRR.

# Capítulo 6

## Conclusiones

El método presentado en esta tesis permite analizar el efecto de la incertidumbre respecto a los flujos de caja en los momentos estadísticos de las medidas utilizadas comúnmente para evaluar proyectos. Entre las ventajas de este método se cuenta la clara separación del concepto de valor del dinero en el tiempo y el riesgo asociado al proyecto. En el método aquí presentado la tasa de descuento sólo considera el valor del dinero en el tiempo mientras que el riesgo asociado al proyecto es considerado en la matriz de covarianzas de los flujos de caja. Esta nueva herramienta se hace cargo de los problemas del método clásico ya que elimina el problema en la ambigüedad en la definición de la tasa de descuento, se hace cargo del correcto análisis de los flujos de caja negativos, entrega la posibilidad de comparar proyectos de diferente perfil de riesgo y permite considerar cualquier perfil de riesgo para los proyectos en análisis.

A partir de los supuestos acerca de las distribuciones de los flujos de caja se obtienen las distribuciones empíricas de diferentes medidas de interés para la evaluación de proyectos. Las distribuciones obtenidas permiten, entre otras cosas, calcular intervalos de confianza para el valor esperado de las diferentes medidas. Estos intervalos de confianza permiten al inversionista analizar si el proyecto se encuentra dentro de su perfil de riesgo.

Desde un punto de vista teórico las distribuciones de la TIR, MIRR y PBP, dados los supuestos sobre los flujos de caja, no tienen una distribución Normal. Es más, los análisis de sensibilidad muestran que es preciso tener en cuenta el nivel en que se fijan los parámetros de la matriz de covarianzas para determinar que tan diferente de la distribución Normal puede resultar la distribución empírica. Sin embargo, para aplicaciones prácticas, dentro del orden de magnitud de los parámetros aquí considerados, suponer que la distribución



de las diferentes medidas es Normal muestra ser una premisa acertada.

Este método permite determinar la relación existente entre los momentos de la distribución de los flujos de caja y los momentos de las diferentes medidas interés. Un ejemplo de esto es la relación existente entre la desviación estándar de los flujos de caja y aquella que muestra, por ejemplo, la TIR.

El análisis de los efectos de la matriz de covarianzas de los flujos de caja en los diferentes momentos de la TIR, MIRR y PBP muestran que, para los proyectos analizados en esta tesis, el parámetro más importante es la desviación estándar de los flujos de caja.

En la práctica la tarea de evaluar proyectos se centra principalmente en la estimación del valor esperado de los flujos de caja. Sin embargo la importancia que tienen los parámetros componentes de la matriz de covarianzas en los diferentes momentos de las distribuciones de las medidas aquí analizadas indica que un mayor esfuerzo debería ser destinado a estimar la matriz de covarianzas de los flujos de caja. Esto permitiría mejorar la estimación de la incertidumbre respecto a las medidas aquí consideradas.

A pesar de que en esta tesis la aplicación de esta nueva herramienta se ha enfocado en proyectos de infraestructura de gran escala en su aplicación no existe ninguna restricción para que sea utilizada en otros tipos de proyectos.

Una extensión del trabajo aquí presentado es explorar el efecto de la inclusión de una mayor cantidad de elementos de correlación para analizar su relevancia en los diferentes momentos de las medidas a utilizar en la evaluación de proyectos. Otra extensión interesante es el uso de distribuciones marginales distintas a la Normal. El método utilizado para obtener la distribución conjunta, la Gaussian copula, tiene como insumo la matriz de correlación de las variables aleatorias y sus distribuciones marginales. Luego podrían utilizarse, por ejemplo, distribuciones con skewness o kurtosis más generales.

Si bien este método se centra en el flujo de caja agregado por periodo sería interesante analizar los efectos de considerar las componentes de cada flujo de caja. Una desagregación de los flujos de caja puede ser útil para una correcta estimación de la media de los flujos de caja y también para determinar las fuentes más importantes de incertidumbre. Esto permitiría realizar el análisis llevado a cabo en este trabajo considerando una ma-

triz de covarianzas ampliada que tome en cuenta las interacciones intertemporales de las componentes de los distintos flujos.

# Capítulo 7

## Bibliografía

- [1] Beedles, William. 1978. "Evaluating Negative Benefits". *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 13: 173-176.
- [2] Black, Fischer. 1988. "A Simple Discounting Rule". *Financial Management* 17: 7-11.
- [3] Carmichael, D. and Balatbat, M. 2008. "Probabilistic DCF Analysis and Capital Budgeting and Investment- A Survey". *The Engineering Economist* 53: 84-102.
- [4] Carmichael, D. and Balatbat, M. 2010. "A Review Study of Project Investment Cash Flow Correlation". *International Journal of Project Planning and Finance* 1: 1-21.
- [5] Chen, Son-Nan and Moore, William. 1982. "Investment Decisions under Uncertainty: Application of Estimation Risk in the Hillier Approach". *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 17: 425-440 , Houngh-Yhi. 1967. "Valuation Under Uncertainty". *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 2: 313-325.
- [6] Cifuentes, Arturo and Valdivieso, Ercos. 2011. "Discounted Cash Flow Analysis: A New Conceptual Framework". *Centro de Finanzas Universidad de Chile*.
- [7] Cochrane, John. 2011. "Discount Rates". *Journal of Finance* 66: 1047-1108.
- [8] Contreras, Eduardo. 2009. "Evaluación de inversiones bajo incertidumbre: teoría y aplicaciones a proyectos en Chile". *CEPAL Serie Manuales* 63.
- [9] Ehrhardt, Michael and Daves, Phillip. 2000. "Capital Budgeting: The Valuation of Unusual, Irregular, or Extraordinary Cash Flows". *Financial Education and Practice* 10: 106-114.

- [10] Fama, Eugene. 1996. "Discounting under Uncertainty". *Journal of Business* 69: 415-428.
- [11] Fuller, Russell and Kim, Sang-Hoon. 1980. "Inter-Temporal Correlation of Cash Flows and the Risk of Multi-period Investment Projects". *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 15: 1149-1162.
- [12] Hillier, Frederick. 1963. "The derivation of Probabilistic Information for the Evaluation of Risky Investment". *Management Science* 9: 443-457.
- [13] Kierulff, Herbert. 2008. "MIRR: A better measure". *Business Horizons* 51: 321-329.
- [14] Elsaid, Hussein., Kim, David and Kim, Sang-Hoon. 1999. "Derivation an Intertemporal Correlation Coefficient Model Base on Cash Flow Components and Probabilistic Evaluation of a Projects NPV". *The Engineering Economist* 55: 276-294.
- [15] Long, John. 2000. "Blacks Discounting Rule". *Simon School of Business Working Paper FR 00-12*.
- [16] Loderer, Claudio and Long, John. 2010. "Implementing Fischer Black's Simple Discounting Rule". *Journal Of Applied Corporate Finance* 17: 60-68.
- [17] Loderer, Claudio., Long, John and Roth, Lucas. 2008. "Blacks Simple Discounting Rule". *Simon School of Business Working Paper FR 08-25*.
- [18] Robichek, Alexander and Myers, Stewart. 1966. "Conceptual Problems in the Use of Risk-Adjusted Discount Rates". *Journal of Finance* 21: 727-730.
- [19] Ruback, Richard. 2002. "Capital Cash Flows: A Simple Approach to Valuing Risky Cash Flows". *Financial Management* 31: 85-103.

# Apéndice A

## Copula Gaussiana

### A.1. Simulación utilizando Copula Gaussiana

Para determinar la distribución de las medidas de rentabilidad y el payback period, se utiliza una simulación de Monte Carlo del vector de flujos de caja  $\vec{C}$ . Este vector tiene media  $\vec{\mu}$ , matriz de correlación  $\Sigma_\rho$  y  $\sigma_i^2$   $i = 1 \dots n + 1$  varianza de los flujos de caja. La Copula Gaussiana es un procedimiento que permite simular variables aleatorias de cualquier distribución marginal utilizando los primeros dos momentos de la distribución multivariada.

El objetivo de la Copula Gaussiana es simular el vector  $\vec{C}$ , que tiene  $n + 1$  variables aleatorias. Los siguientes son los pasos a seguir para la simulación:

1. Generar  $n + 1$  variables aleatorias normales de media 0 y varianza 1, independientes. Estas variables son representadas por  $\vec{X}$
2. Encontrar L que corresponde a la descomposición de Cholesky de la matriz  $\Sigma_\rho$ . Donde L es tal que,

$$\Sigma = LL^T$$

3. Obtener la siguiente variable intermedia,

$$\vec{Y} = LX$$

4. Sea  $F_n$  la función de distribución acumulada de la distribución Normal estandariza-

da.

$$\vec{u} = F_n(\vec{Y})$$

5. Sea  $F_i^{-1}$   $i = 1, \dots, n+1$  la función de distribución acumulada inversa de los marginales a utilizar. Donde podrían utilizarse tantos marginales como flujos de caja. Los valores de la simulación de  $\vec{C}$  se obtienen de la siguiente fórmula,

$$C_i = \mu_i + \sigma_i F_i^{-1}(u_i)$$

Con este procedimiento el vector  $\vec{C}$  tiene las distribuciones marginales deseadas y los momentos de la distribución multivariada.

# Apéndice B

## Validación de simulación

### B.1. Método de validación de la simulación de Monte Carlo

Para validar la simulación de Monte Carlo se utilizan los cálculos de la media y varianza del VPN. Debido a que estos cálculos son analíticos es posible realizar un test estadístico para contrastar los resultados de la simulación.

#### B.1.1. Test Media VPN

Sea  $\mu$  el valor esperado del VPN y  $\hat{C}_i$  la estimación del flujo de caja  $i$  en la simulación  $j$ , la estimación de  $\mu$  corresponde a

$$\hat{\mu}^j = \sum_{i=0}^n \frac{\hat{C}_i^j}{(1+r)^i}$$

Luego es necesario un test que permita analizar si existen diferencias significativas entre  $\hat{\mu}$ , que corresponde al promedio de  $\mu^j$ , y  $\mu$ . El test utilizado para analizar las diferencias entre el valor estimado y el real es,

$$N = \frac{\hat{\mu} - \mu}{\sigma}$$

Este estadístico es normal si la desviación estándar del VPN es conocida. En efecto esta desviación es conocida e igual a,

$$\sigma = \sqrt{w' \Sigma w}$$

Donde  $w$  es el vector de los factores de descuento,

$$w = \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \frac{1}{(1+r)^n} \end{pmatrix}.$$

Dado que el estadístico tiene distribución Normal, se realiza un test de dos colas en que el valor crítico al 95 % de confianza es 1,96.

### B.1.2. Test Varianza VPN

Sea  $\sigma^2$  la varianza del VPN dados  $r$  la tasa de descuento y  $\Sigma$  la matriz de covarianzas de los flujos de caja. El estimador de la varianza es,

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (VPN_i - V\bar{P}N)^2$$

Donde  $VPN_i$  corresponde al VAN en la simulación  $i$  y  $V\bar{P}N$  es el promedio del VAN en las distintas simulaciones.

Con el objetivo de analizar la validez estadística de la estimación se realizará el siguiente test de hipótesis,

$$X = \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2}$$

El estadístico  $X$  tiene distribución  $\chi_{n-1}^2$ . Para este test se utiliza un test de dos colas. El valor crítico al 2,5 % es 298.482 y el valor crítico al 97,5 % es 301.519.

## B.2. Resultados validación simulación de Monte Carlo

### B.2.1. Resultados test media VPN

Las figuras B.1, B.2, B.3 muestran el resultado del test de la media del VPN para los proyectos Tren de Texas, Southport Minerals y Airbus A3XX respectivamente.



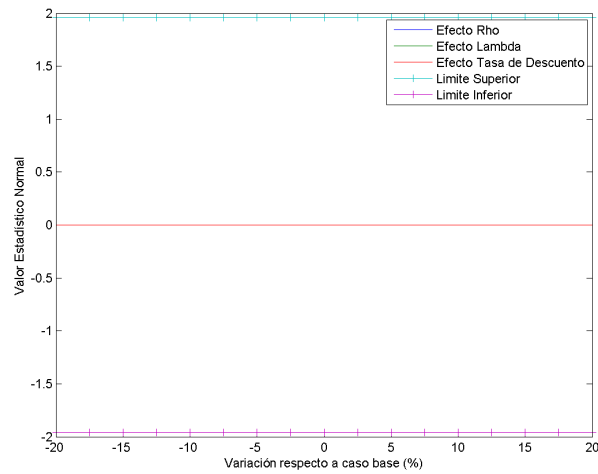


Figura B.1: Test media VPN proyecto Tren de Texas

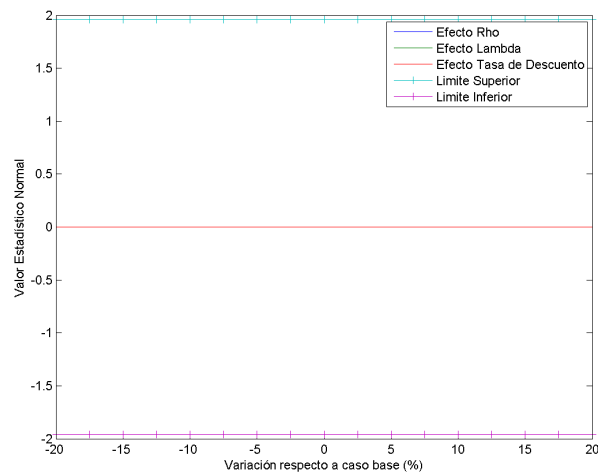


Figura B.2: Test media VPN proyecto Southport Minerals

### B.2.2. Resultados test varianza VPN

Las figuras B.4, B.5, B.6 muestran el resultado del test de la varianza del VPN para los proyectos Tren de Texas, Southport Minerals y Airbus A3XX respectivamente.

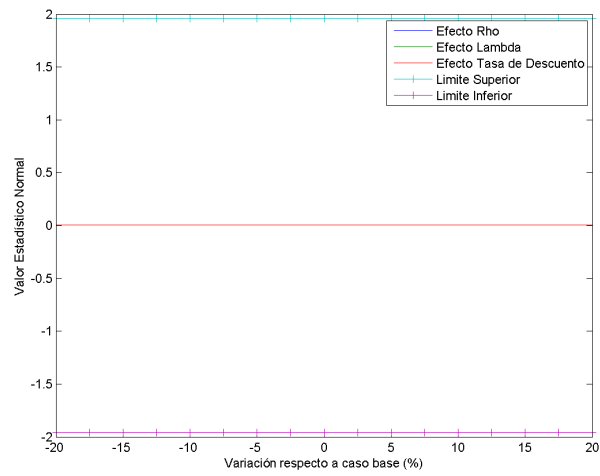


Figura B.3: Test media VPN proyecto Airbus A3XX

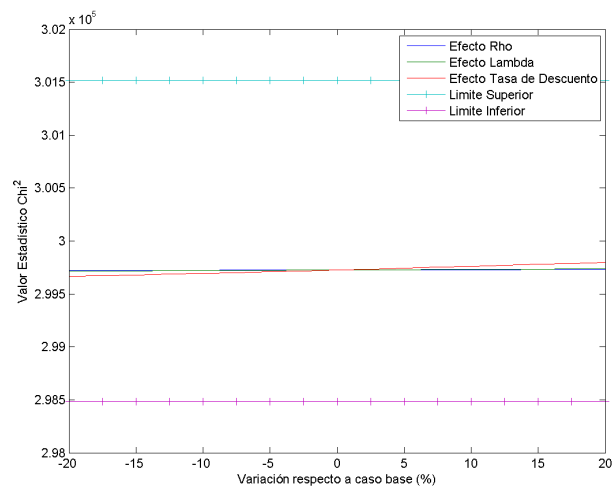


Figura B.4: Test varianza VPN proyecto Tren de Texas

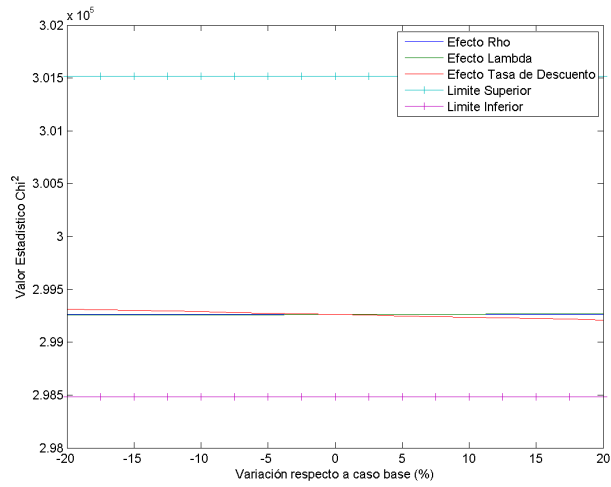


Figura B.5: Test varianza VPN proyecto Southport Minerals

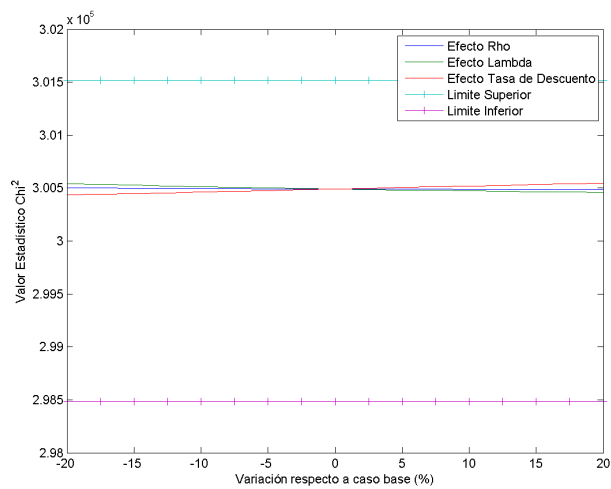


Figura B.6: Test varianza VPN proyecto Airbus A3XX