

ANÁLISIS DE RIESGO EN EVALUACIÓN DE PROYECTOS: APLICANDO TÉCNICAS DE SIMULACIÓN



Diego Fernando Manotas Duque

*Profesor Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística,
Universidad del Valle.*

Contacto: manotas@pino.univalle.edu.co

Resumen

Los procesos de planificación y evaluación de proyectos se sustentan sobre hipótesis y estimaciones que hacen referencia a resultados que solo serán verificables en el futuro. Por esta razón, la incertidumbre en los parámetros y resultados de un proyecto es una constante de la práctica valorativa de los beneficios y costos asociados al mismo. Continuando con esta lógica, herramientas como la simulación, permiten considerar diferentes escenarios, definidos, en función de la incertidumbre de variables de entrada que sean consideradas críticas. En el presente trabajo se recogen algunas ideas sobre la aplicación práctica de la técnica conocida como simulación de Monte Carlo en la evaluación de proyectos. De igual forma se propone una metodología para realizar análisis de riesgo en proyectos de inversión. La metodología desarrollada se ilustra a lo largo del documento con un sencillo ejemplo de aplicación.

Palabras clave: Evaluación de proyectos, simulación financiera, simulación de Monte Carlo, análisis de riesgo.

1. Introducción

A pesar de que el estudio de técnicas útiles para analizar el riesgo involucrado en decisiones de inversión se ha venido tratando con relativa fortaleza en diversos textos y artículos especializados en el área financiera, la experiencia en evaluación de proyectos a nivel de las empresas colombianas, coloca de manifiesto que la aplicación de técnicas probabilísticas y de simulación para analizar el riesgo en proyectos se encuentra aún lejos de lo que podríamos llamar una utilización generalizada. Autores como Hillier (1963) propusieron el uso de distribuciones de probabilidad del valor presente, dando lugar a criterios de decisión como el valor presente esperado a partir de la consideración de flujos de caja aleatorios correlacionados. Posteriormente Later y Giaccotto (1984) derivaron los parámetros de distribución para el valor presente neto de un proyecto cuando los flujos estaban correlacionados por un proceso estocástico autoregresivo (procesos Markovianos). Coats y Chesser (1982) mostraron como la utilización de técnicas Monte Carlo podría incorporarse en modelos financieros con el fin de asociar probabilidad de ocurrencia e intervalos de confianza para los resultados. Goyal, et al. (1997) realizaron serios cuestionamientos relacionados con la escasez de literatura académica sobre la naturaleza estocástica de los flujos de caja de un proyecto de inversión o financiación, al igual que su poca difusión en los currículos de los cursos de pregrado en ingeniería económica y finanzas.

Tratando de especular sobre las posibles causas de esta aparente apatía por la formulación de modelos de evaluación que incorporen técnicas de análisis de riesgo, es posible pensar en razones como el desconocimiento de herramientas informáticas que faciliten el proceso y en un marco más general, las deficiencias de formación relacionadas con este tema, a nivel de los programas de pregrado en Ingeniería y Administración. La gran mayoría de cursos en el área de ingeniería económica o en general de análisis económico de decisiones, se concentran en un mayor grado en torno a los modelos tradicionales que incorporan criterios como el valor presente neto y la tasa interna de retorno en condiciones de certeza supuesta, y en algunos casos se complementan con técnicas de análisis de sensibilidad a partir de la construcción de escenarios. Es claro que las técnicas tradicionales siguen siendo válidas en cuanto a su fortaleza teórica y la información que proporcionan. Sin embargo, la incorporación de herramientas como la simulación para

el análisis del riesgo inherente en los proyectos de inversión se constituye en un excelente instrumento para mejorar la calidad del proceso de toma de decisiones.

En el presente artículo se describirá una metodología sencilla y probada para construir modelos de evaluación económica de decisiones que incorporen la componente del riesgo e incertidumbre, con el fin de mejorar el proceso decisorio. Como complemento a la metodología presentada se mostrarán los resultados de un caso hipotético en el cual se recurre a técnicas de simulación para evaluar un proyecto de inversión.

2. El riesgo y su caracterización

Siendo lo más pragmático posible, el riesgo puede definirse como la posibilidad de que nuestras acciones puedan generar más de un resultado. En este sentido, la definición de riesgo surge de nuestra incapacidad de predecir con certeza lo que sucederá en el futuro. Toda acción o decisión adoptada en la vida personal y empresarial tiene implícito el fenómeno del riesgo en mayor o menor proporción. Generalmente, el término riesgo se circunscribe a la descripción de situaciones en las cuales el rango de posibles resultados de una determinada acción es muy significativo.

Algunos autores, establecen que el riesgo presente en ciertas situaciones puede considerarse como objetivo o subjetivo. Recurriendo al tradicional ejemplo de los cursos de probabilidad e inferencia estadística, de lanzar una moneda al aire, se puede afirmar que el riesgo presente en este fenómeno es totalmente objetivo, puesto que, no obstante los resultados son inciertos, las probabilidades de ocurrencia se van haciendo evidentes en la medida en que se realiza el experimento. Los riesgos objetivos, son relativamente claros para la gran mayoría de las personas involucradas en análisis de decisiones, sin embargo, existe otro tipo de riesgo en el cual las probabilidades de ocurrencia no son tan claras y explicativas. Por ejemplo, el riesgo de que llueva el día viernes, podría clasificarse como un riesgo subjetivo. De hecho teniendo en cuenta la misma información dos meteorólogos pueden pensar que dicha probabilidad es sustancialmente diferente y ninguno de los dos está necesariamente equivocado.

Los riesgos subjetivos se pueden mitigar en la medida en que se aprovecha nueva información frente a cierta decisión, es decir, una mayor cantidad y calidad de información frente a un problema, debe permitir una mejor aproximación a las problemáticas caracterizadas por la presencia de riesgo subjetivo.

Por otra parte, el juicio sobre el nivel de riesgo de una decisión incorpora una componente vinculada a la apreciación personal de quien toma la decisión, en consecuencia, frente a una misma situación los perfiles de riesgo de dos individuos pueden conducir a valoraciones diferentes del nivel de riesgo implícito en la decisión. Esta situación se hace evidente en el campo financiero cuando se definen variables que podrían fluctuar entre un valor mínimo y un valor máximo. Algunos analistas construirían escenarios pesimistas y otros trabajarían con los optimistas, aunque la mayoría optaría por trabajar con valores promedio.

Por último en este proceso de caracterización, la adopción de decisiones que incorporen un mayor o menor nivel de riesgo son lo que se podría denominar situaciones contingentes que en la práctica puede ser evitadas o gestionadas de cierta forma. Por ejemplo, los exportadores de flores en Colombia se ven seriamente afectados por los fenómenos de fortalecimiento del peso frente al dólar. Un empresario de este sector podría asumir dos posiciones frente al tema de la fluctuación de la tasa de cambio. En primer lugar, se pensaría en una posición pasiva, es decir, resignarse a cerrar todos los negocios de exportación bajo lo que se conoce como la tasa de cambio spot. El empresario sabe que esta tasa puede ser alta y esto le favorecerá, pero también puede tender a la baja y esta situación lo afectará negativamente.

La posición contraria, es fundamentalmente activa, es decir, el empresario exportador que sabe que la tasa de cambio es una variable crítica en su negocio, decide protegerse de las posibles fluctuaciones en el precio de la divisa mediante instrumentos de cobertura como un forward de venta de divisas, en el cual, si bien el riesgo no desaparece en su totalidad al menos puede ser mitigado, protegiendo la rentabilidad del negocio realizado.

El primer paso para analizar y modelar el riesgo en un proyecto de inversión es reconocer la necesidad de reali-

zar este tipo de análisis. Si la decisión que estoy analizando es la de llevar algún excedente a un banco y constituir algún depósito, el nivel de riesgo asociado a esta inversión si bien existe, es probable que dependiendo de la solidez de la institución financiera receptora ni siquiera amerite realizar un análisis de riesgo. Esto es lo que se podría denominar como un evento casi de certeza total.

Sin embargo, la gran mayoría de las decisiones de inversión se caracterizan por la gran incertidumbre en los flujos futuros, por lo cual se hace necesario mejorar las técnicas de análisis con el fin de incorporar este elemento en el proceso decisorio. En muchas situaciones reales y en particular en las que atañen específicamente a proyectos de inversión es prácticamente imposible realizar experimentos para calcular el riesgo con relativa facilidad. Es probable, apoyar la decisión en experiencias previas o similares, pero no existen modelos matemáticos que señalen con exactitud el nivel de riesgo involucrado en las variables de un modelo de evaluación de un proyecto, en consecuencia, el riesgo deberá ser estimado con base en información disponible.

En algunas ocasiones los posibles eventos y resultados derivados de una decisión pueden representarse mediante distribuciones de probabilidad. De esta forma las variables críticas que condicionan el éxito de un determinado proyecto de inversión podrían simularse a partir de distribuciones de probabilidad que representen de la mejor manera posible los valores factibles de la variable.

En esta lógica, el análisis de riesgo puede definirse como el proceso cualitativo o cuantitativo mediante el cual se trata de estimar el impacto del factor riesgo en las decisiones. La técnica que se presentará en este artículo se apoya en elementos de simulación, luego se puede clasificar como una aproximación cuantitativa al problema.

3. Metodología propuesta para realizar el análisis de riesgo de un proyecto de inversión

3.1. Definición y formulación del problema

Al igual que cualquier tipo de decisión, el proceso de evaluación de un proyecto toma como punto de partida la definición clara y correcta del problema que se pretende

evaluar, con el fin de no correr riesgos como el generar soluciones muy sofisticadas para problemas que no se han formulado de manera apropiada. En evaluación de proyectos, la definición del problema hace referencia al objeto central de análisis que es valorar la factibilidad de una cierta decisión, para lo cual es necesario establecer de común acuerdo con los interesados del proyecto cuáles serían las alternativas a desarrollar para resolver la problemática.

McKinney y Engfer (2004), proponen la descomposición del problema en sus elementos claves, como punto de partida para su correcta formulación. La herramienta que utilizan es el conocido diagrama de influencia propio de la disciplina sistémica. En la figura 1 se ilustra lo que podría ser un diagrama inicial de influencia para la evaluación de un proyecto de inversión

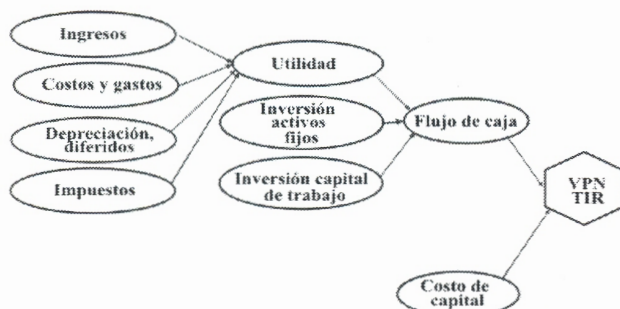


Figura 1. Diagrama inicial de influencia para el análisis de un proyecto de inversión (Fuente El Autor).

En términos generales, la formulación de un problema puede presentarse a partir de su descomposición en elementos claves. En este sentido, los diagramas de influencia son una interesante herramienta visual para apoyar el análisis del proyecto en relación con la estructuración de los elementos del problema, la identificación de fuentes de incertidumbre, la definición de necesidades de recolección de información, la definición de tareas críticas, el desarrollo del modelo computacional y el análisis de los impactos de las diferentes variables sobre el resultado final.

3.2. Recolección de Información

No menos importante que la definición del problema de análisis, es el proceso de recolección de información. Es necesario recordar que la mayor cantidad y calidad de la información en torno a un proyecto reduce los niveles de incertidumbre en las variables de entrada. Por este moti-

vo es necesario realizar y documentar un plan de recolección de información en torno a las variables del proyecto, sus valores actuales, sus posibles valores futuros y en fin cualquier evento que se considere podría tener un significativo impacto en el futuro.

Los planes de recolección de información se suelen establecer a partir de referencias secundarias y en los casos en que se requiera con el apoyo de fuentes primarias basadas en técnicas de entrevista o incluso más formales como procesos de investigación de mercados.

El objetivo básico de la fase de recolección de información es definir los posibles valores rango para las variables claves del proyecto, e identificar además la incertidumbre en torno a ellas.

Algunos problemas de inversión han sido ya bastante estudiados y en consecuencia la recolección de información es relativamente más simple en la medida en que se apoya en información secundaria. Un ejemplo ilustrativo en este caso, lo proporciona la famosa teoría de colas, al estudiar variables como el tiempo de llegada de usuarios a un sistema de servicio. La literatura plantea que el tiempo entre cada evento¹, se distribuye en forma exponencial. Este supuesto de entrada facilita el proceso de construcción del modelo.

Como complemento a los procesos de búsqueda de información, es absolutamente relevante, la consulta con expertos en el negocio en el cual se circunscribe el proyecto objeto de análisis.

3.3. Construcción del Modelo del Proyecto

Esta etapa del proceso de análisis de riesgo en un proyecto de inversión se realiza en torno a la construcción del modelo computacional del proyecto. Se refiere fundamentalmente a un modelo capaz de representar los posibles comportamientos que sufrirían los criterios de decisión del proyecto en diversos escenarios obtenidos a partir de las variables de entrada.

En términos generales, los modelos de evaluación financiera de proyectos se componen de los elementos presentados en la figura 2:

¹ El término evento aquí hace referencia a la llegada de un usuario al sistema de servicio

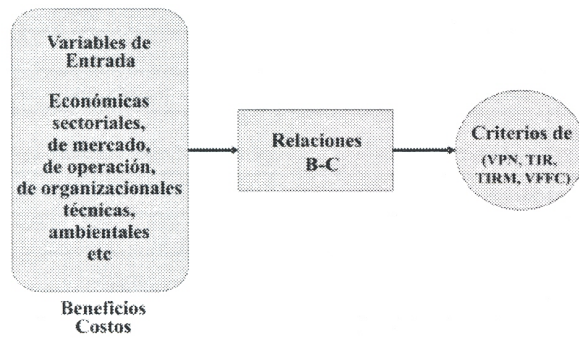


Figura 2. Marco general de los procesos de evaluación de proyectos.

La construcción del modelo de evaluación parte con la definición de las variables de entrada, es decir, aquellos elementos que gobernarán en el modelo, por lo tanto las posibles variaciones que registren dichas variables serán factor determinante en los resultados que el modelo arroja. Las variables de entrada pueden ser externas cuando se utiliza información macroeconómica, sectorial, de mercado e internas cuando hace referencia a elementos operacionales como capacidades de producción y niveles de eficiencia entre otros. Las variables o parámetros de entrada del modelo son fundamentales en la definición de los beneficios y costos de las alternativas que se pretenden evaluar.

Posteriormente se deben establecer las relaciones de beneficios y costos a través de las herramientas que soportarán el modelo de evaluación. Como resultado de estas relaciones se construye el flujo de caja del proyecto, base fundamental de su evaluación.

Es usual que se construya un escenario denominado base, que se supone se sustenta sobre los llamados resultados más probables, para posteriormente realizar un análisis de sensibilidad en el cual se somete el modelo a variaciones en las variables definidas como críticas. Es común, en este sentido que se genere un escenario denominado como pesimista y un escenario optimista. En su

forma más simple, el análisis de sensibilidad somete el modelo a variación unidimensional, es decir, la verificación de resultados en la función objetivo frente a un cambio de una de las variables críticas².

En un segundo nivel de análisis, dentro del proceso de construcción del modelo y de incorporación de niveles de incertidumbre en el mismo, se utiliza con mucha frecuencia la técnica de análisis de escenarios, en la cual se intenta remediar la unidimensionalidad del análisis de sensibilidad tradicional al incorporar la definición de escenarios en los cuales se puede presentar el cambio simultáneo en diferentes variables. No obstante, el problema de las técnicas hasta aquí presentadas se relaciona con la poca dinámica que ofrecen, en la medida en que no son eficientes para medir los resultados a la luz de múltiples escenarios.

Como un elemento complementario del análisis de riesgo, puede recurrirse a técnicas como la simulación de Monte Carlo³ mediante la cual se adiciona la componente dinámica del análisis en la medida en que se pueden construir múltiples escenarios aleatorios⁴ los cuales deben ser consistentes con los supuestos que maneja el analista sobre el nivel de riesgo de las variables de entrada del proyecto.

3.4. Simulación y Análisis

El paso final del análisis de riesgo de un proyecto de inversión es la simulación y análisis de resultados. Sobre el modelo computacional construido se procede a evaluar el impacto de las variables de entrada en los criterios de decisión del proyecto.

En el mercado existen muchas herramientas⁵ que facilitan los procesos de simulación a partir de modelos construidos en hojas de cálculo. Generalmente todas estas herramientas proporcionan una base común de trabajo

2 Alterar le valor de una sola de las variables de un proyecto puede generar escenario poco realistas puesto que la variable podría estar correlacionada con otras variables de entrada

3 La simulación de Monte Carlo se remonta a los trabajos desarrollados por Stan Ulam y John Von Neumann a finales de los 40 cuando investigaban los fenómenos de movimiento de partículas. En la actualidad es una técnica de gran utilización en diversos ámbitos.

4 Algunos autores afirman con razón que los escenarios generados a partir de procesos de simulación son realmente "pseudoaleatorios", puesto que son influenciados por los valores de referencia mínimo y máximo que defina el analista para las variables de entrada y por las distribuciones de probabilidad adoptadas para representar el comportamiento de las variables de entrada.

5 En el mercado se cuenta con herramientas tipo Add-ins como @Risk, Cristal Ball, Insight.xla, SimTools.xla, EasyPlanex entre otras

ya que permiten introducir niveles de incertidumbre en las variables de entrada, manejar las correlaciones entre las variables, revisar la significancia de estas variables en los resultados finales, además de presentar algunos análisis estadísticos sobre los criterios de decisión que se utilizarán para efectos de tomar la decisión sobre el proyecto.

Para ilustrar el desarrollo del modelo se recurrirá a un sencillo ejemplo⁶ ilustrativo.

Una empresa de transporte se encuentra considerando la posibilidad de adquirir un vehículo para ampliar su capacidad de servicio a los clientes. Para tal efecto, se quiere evaluar la compra de un camión con capacidad de 20 toneladas. Los analistas de la empresa estiman que un vehículo con estas características podría costar alrededor de 100 millones de pesos. Se cree que el porcentaje de ocupación promedio para esta categoría de vehículos es aproximadamente de un 80%. De igual forma el vehículo podría recorrer una distancia anual entre 30.000 y 36.000 kilómetros⁷. La tarifa que se cobraría por la operación sería de 100 \$/tonelada-kilómetro, durante el primer año y se asume que dicha tarifa crecería a partir de la inflación, que se ha estimado en 5% anual. Los costos de operación del vehículo se han estimado en 21% de los ingresos y los costos de mantenimiento se proyectado en un 12% de los ingresos. Se supone que el vehículo se puede depreciar a 5 años, sin considerar ajustes por inflación y sin valor de salvamento. Se asumirá para la evaluación una tasa mínima de retorno del 15% anual y una tasa de impuesto a la renta del 35%. Se requiere evaluar la factibilidad de invertir en este activo, para lo cual se recurrirá al análisis de flujo de caja descontado, utilizando criterios como el valor presente neto y la tasa interna de retorno.

A continuación se presentan las principales relaciones del modelo:

$\text{Ingresos operación}_j = \text{Capacidad} \times \% \text{Ocupación} \times \text{Distancia año} \times \text{Tarifa}_j$
$\text{Costos operación}_j = \% \text{Costos operación} \times \text{Ingresos operación}_j$
$\text{Costos mantenimiento}_j = \% \text{Costos mantenimiento} \times \text{Ingresos operación}_j$
EBITDA^8 $\text{EBITDA}_j = \text{Ingresos operación}_j - \text{Costos operación}_j - \text{Costos mantenimiento}_j$
$\text{Depreciación}_j = (1/N) \times \text{Valor activo}$
$\text{EBIT}_j = \text{EBITDA}_j - \text{Depreciación}_j$
NOPAT^9 $\text{NOPAT}_j = \text{EBIT}_j \times (1-T)$
$\text{Flujo caja operación}_j = \text{NOPAT}_j + \text{Depreciación}_j$
$\text{Flujo caja libre}_j = \text{Flujo caja operación}_j - \text{Inversiones}_j$
$\text{VPN} = \sum_{j=0}^5 \frac{\text{Flujo caja libre}_j}{(1+WACC)^j} \quad \text{WACC}^{10}$

En la figura 3, se puede observar el modelo desarrollado. De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluiría que el proyecto es viable puesto que presenta un valor presente positivo y una tasa interna de retorno (TIR) superior a la tasa de descuento exigida. Sin embargo un primer análisis de sensibilidad de este modelo podría construirse de acuerdo con el posible comportamiento de alguna de las variables de entrada. Se asumirá para esto el porcentaje de ocupación, que se considera una de las variables críticas del modelo.

PARÁMETRO						
VALOR INVERSIÓN	100,000					
% DEUDA						
% RECURSOS PROPIOS	100%					
COSTO DEUDA	25%					
PERIODO						
VALOR SALVAMENTO						
DISTANCIA AÑO	33.000					
CAPACIDAD	20.00					
% OCUPACIÓN	80%					
TARIFA	100.00					
INFLACIÓN	5%					
COSTOS OPERACIÓN	21%					
COSTOS MANTTO	12%					
TASA IMPORRENTA	35%					
TMR	15%					
	AÑO BASE	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
		52,800.00	55,440.00	58,212.00	61,122.60	64,178.73
		11,088.00	11,642.40	12,224.52	12,835.75	13,477.53
		6,336.00	6,652.80	6,985.44	7,334.71	7,701.45
COSTOS MANTTO						
EBITDA		35,376.00	37,144.80	39,002.04	40,952.14	42,999.75
MARGEN EBITDA		67.00%	67.00%	67.00%	67.00%	67.00%
DEPRECIACION		20,000.00	20,000.00	20,000.00	20,000.00	20,000.00
EBIT-UTILIDAD OPERACIONAL		15,376.00	17,144.80	19,002.04	20,952.14	22,999.75
IMPUESTO RENTA		5,361.60	6,000.68	6,550.71	7,333.25	8,049.91
NOPAT		9,994.40	11,144.12	12,351.33	13,618.89	14,949.84
FLUJO DE CAJA OPERACIONAL		29,994.40	31,144.12	32,351.33	33,618.89	34,949.84
-INVERSIONES	100,000					
FLUJO DE CAJA LIBRE	- 100,000	29,994.40	31,144	32,351	33,619	34,950
VALOR PRESENTE NETO	7,501					
TIR	18.04%					
CPPC	15.00%					

Figura 3. Modelo Base de Evaluación.

6. El propósito de este ejemplo es ilustrar el uso de técnicas de simulación en el análisis de un proyecto de inversión y no la explicación de conceptos financieros fundamentales.

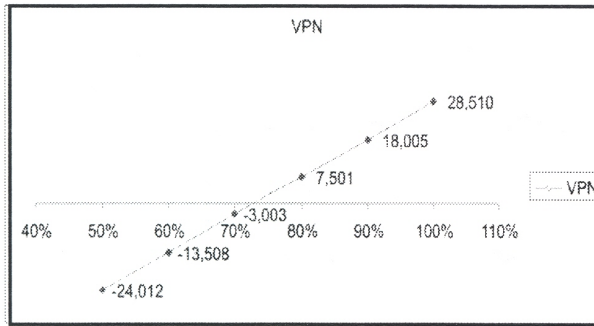
7. En el modelo base se utilizará el valor medio del rango presentado es decir, 33.000 kms/año

8. EBITDA Earnings before interest, taxes, depreciation, amortization Utilidad antes de intereses, impuestos depreciación y amortización.

9. NOPAT Net Operating Profits after Taxes Utilidades operacionales netas después de impuestos.

10. WACC Weighted Average Cost of Capital

CPCC Costo promedio ponderado de capital.



Aplicando la herramienta <Buscar Objetivo> del Excel se encuentra el porcentaje de ocupación mínimo que produce el punto de equilibrio económico del proyecto.¹¹

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2	PARAMETROS						
3	VALOR INVERSIÓN	100.000					
4	% DEUDA	0%					
5	% RECURSOS PROPIOS	100%					
6	COSTO DEUDA	2%					
7	PERÍODO	5					
8	VALOR SALVAMENTO	0%					
9	DISTANCIA AÑO	33.000					
10	CAPACIDAD	20.00					
11	% OCUPACIÓN	72,86%					
12	TARIFA	100,00					
13	INFLACIÓN	5%					
14	COSTOS OPERACIÓN	2%					
15	COSTOS MANTTO	12%					
16	TASA IMPORPENTA	25%					
17	TMR	15%					
18							
19		AÑO BASE	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
20	INGRESOS OPERACIÓN	48.087,90	50.491,46	53.096,03	55.888,93	58.490,18	
21	COSTOS OPERACIÓN	10.098,28	10.603,21	11.132,37	11.690,04	12.274,54	
22	COSTOS MANTTO	5.770,45	6.058,99	6.361,92	6.680,02	7.014,02	
23	EBITDA	32.218,36	33.829,28	35.520,74	37.296,78	39.161,62	
24	MARGEN EBITDA	67,00%	67,00%	67,00%	67,00%	67,00%	
25	DEPRECIACIÓN	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	
26	EBIT-UTILIDAD OPERACIONAL	12.218,36	13.829,28	15.520,74	17.296,78	19.161,62	
27	IMPUESTO RENTA	4.278,43	4.940,25	5.432,28	6.053,67	6.706,57	
28	NOFAT	7.941,93	8.889,03	10.088,48	11.242,91	12.455,05	
29							
30	FLUJO DE CAJA OPERACIONAL		27.941,93	28.989,03	30.888,48	31.242,91	32.455,05
31	INVERSIONES	100.000					
32	FLUJO DE CAJA LIBRE	-100.000	27.941,93	28.989,03	30.888,48	31.242,91	32.455,05
33							
34	VALOR PRESENTE NETO						
35	TIR	15,00%					
36	CPPC	15,00%					

Figura 4. Punto de Equilibrio del Proyecto

Posteriormente se realizó un análisis complementario utilizando la herramienta de generación de escenarios de Excel. Los resultados obtenidos se interpretan de la siguiente manera: Con los valores actuales de porcentaje de ocupación (80%) y distancia recorrida año (35.000 Kms/año) se obtiene un VPN de \$12.594 (miles de pesos) y una TIR de 20.06%.

Resumen de escenario			
	Valores actuales:	Optimista:	Optimista1:
Celdas cambiantes:			
\$B\$11	80,00%	90,00%	80,00%
\$B\$9	35,000	35,000	35,000
Celdas de resultado:			
VPN	12,594	23,735	12,594
TIR	20,06%	24,35%	

Notas: La columna de valores actuales representa los valores de las celdas cambiantes en el momento en que se creó el Informe resumen de escenario. Las celdas cambiantes de cada escenario

Figura 5. Análisis de Escenarios del Proyecto.

Continuando con el esquema de análisis, se procedió a simular el modelo utilizando para ello la herramienta conocida como Cristal Ball^{®12}, soportada en los procesos de simulación de Monte Carlo.

Los pasos desarrollados para la simulación del modelo se presentan en la figura 6:

Paso 1. Definición de Variables de Entrada

Para el ejemplo desarrollado se asumieron como variables críticas la distancia recorrida cada año, el porcentaje de ocupación, la tarifa, los costos de operación y los costos de man-tenimiento. A cada una se le asoció una función de distribución (Como se observa en la Figura 6). La definición de las funciones de distribución se realizó a juicio del autor, sin embargo es posible ajustar algún tipo de distribución utilizando las tradicionales herramientas de ajuste estadístico, lo cual sería posible si se conoce información histórica de las variables de entrada.

Entre las variables porcentaje de ocupación y tarifa se asumió la existencia de una correlación negativa (factor de correlación -0.52 Ver Figura 6). Este factor de correlación puede ser estimado a partir de la información histórica que se posea de las variables

Paso 2. Definición de Variables de Salida

Las variables de salida del modelo se refieren en este caso a los criterios de decisión que se utilizarán para definir la conveniencia económica del proyecto. En este caso se asumieron como variables de salida el valor pre-

11. El punto de equilibrio económico del proyecto se obtiene cuando $VPN = 0 \Rightarrow VP(\text{Ingresos}) = VP(\text{Egresos}) \Rightarrow TIR = \text{Tasa mínima de retorno}$ o en este caso $TIR = CPPC$

12. Crystal Ball[™] es una marca registrada de Decisioneering.com

sente neto y la tasa interna de retorno (Figura 7), calculados a partir de las funciones VNA y TIR del Asistente de Funciones del Excel™.

Paso 3. Simulación del Modelo

Para simular el modelo se generaron 1000 escenarios. Los resultados obtenidos para las variables de salida se presentan en la figura 7, en la cual se consignan los

histogramas correspondientes a los resultados obtenidos para los dos criterios de decisión utilizados (VPN y TIR).

Definición de Variables de Entrada

- Definición de variables críticas
- Asociar distribuciones de probabilidad para cada variable crítica
- Asociar niveles de correlación a las variables de entrada

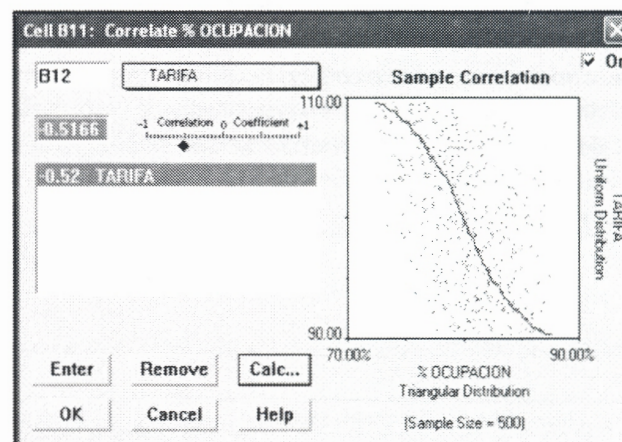
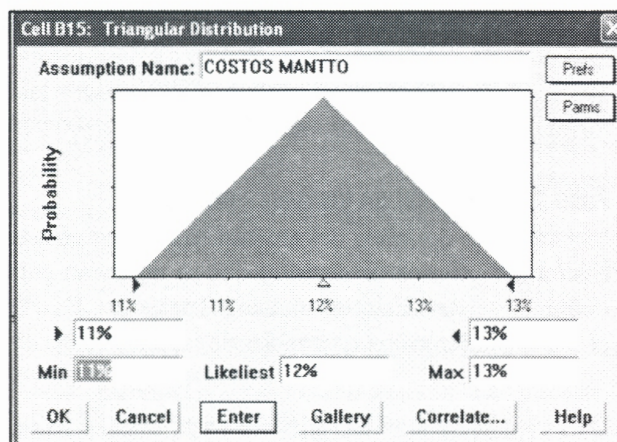
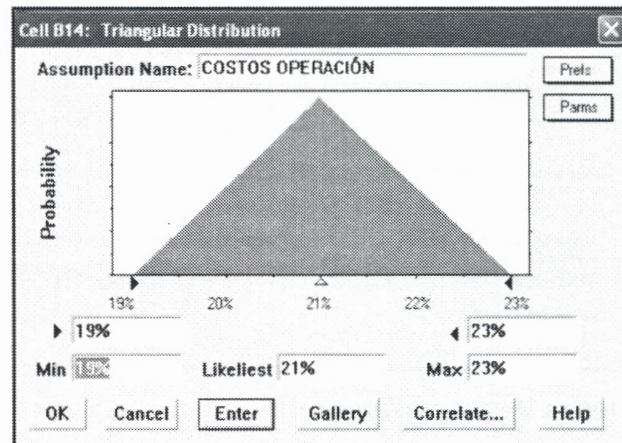
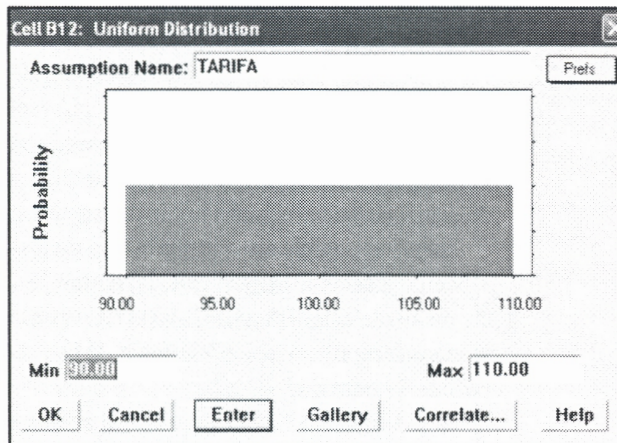
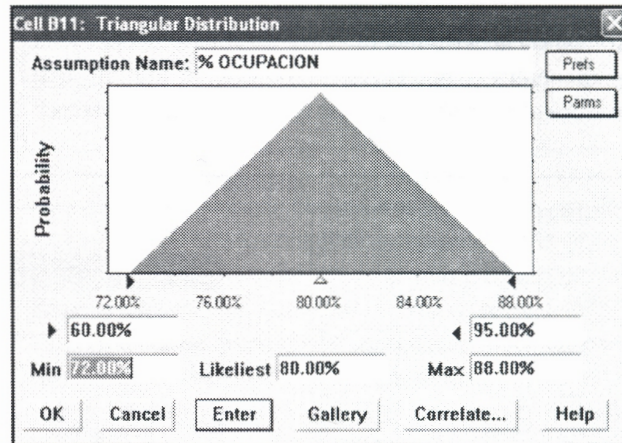
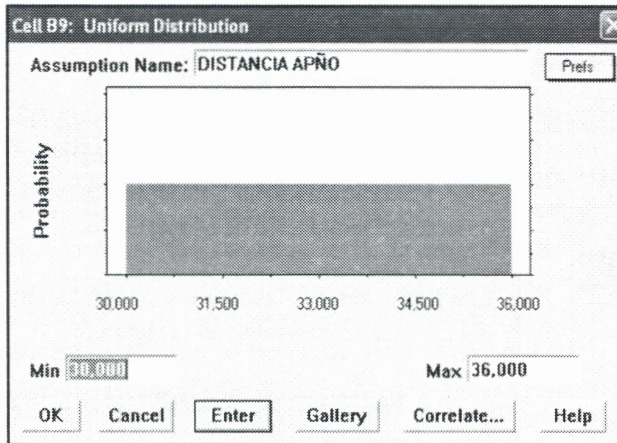


Figura 6. Definición de Variables Críticas

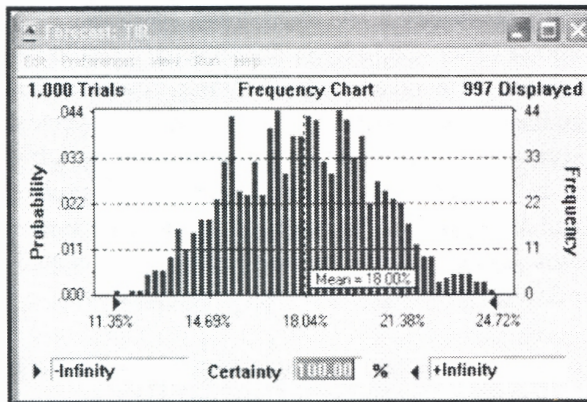
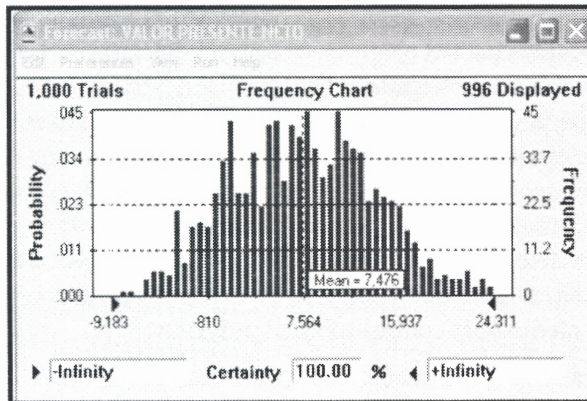


Figura 7. Variable de Salida (VPN y TIR).

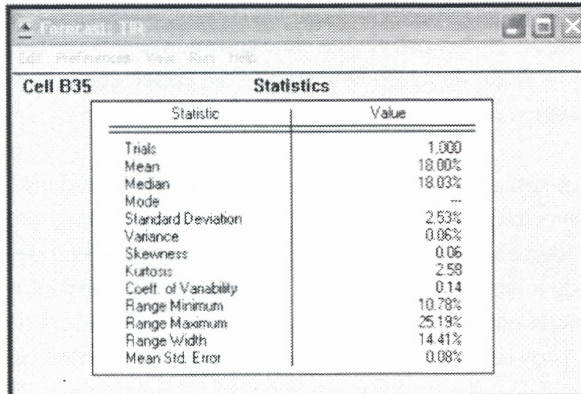
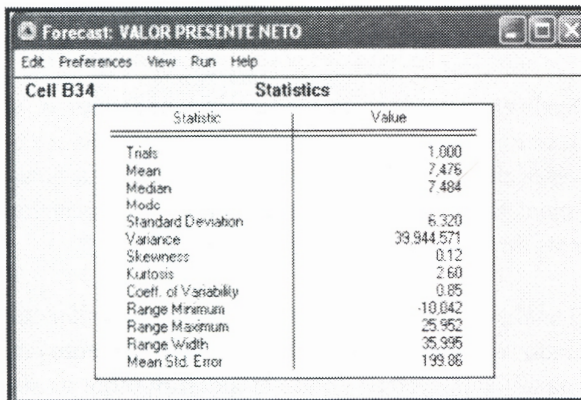


Figura 8. Estadísticas Descriptivas del Proyecto.

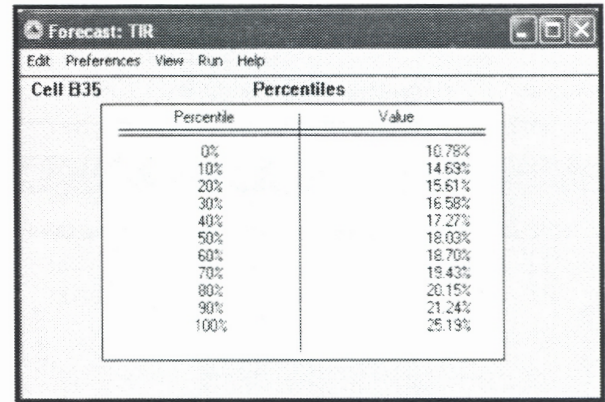
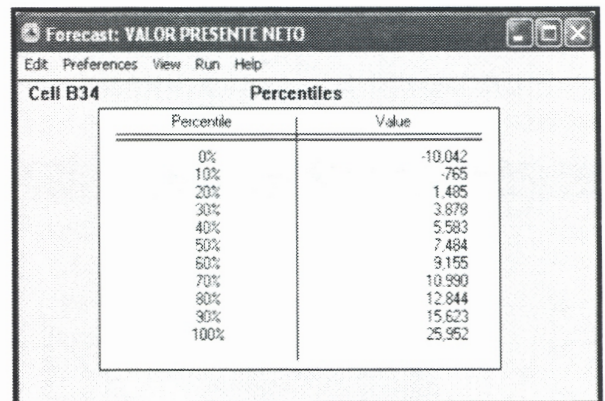


Figura 9. Análisis de Percentiles.

Como se puede observar en las figuras anteriores, el análisis de las variables de salida se hace relativamente más completo que el tradicional análisis determinístico de un proyecto. En el caso concreto del ejemplo desarrollado se pueden identificar los siguientes resultados:

1. El proyecto presenta un valor presente neto promedio de \$7.476 con una desviación estándar de \$6.320 que representa la gran incertidumbre evidente en el proyecto. En el análisis determinístico tradicional, los resultados de un modelo de estas características generalmente se adoptan sobre la base de utilizar uno o a lo sumo tres escenarios posibles, mientras que la simulación permite llegar a conclusiones tan interesantes como las que se ilustran en la Figura 10, que hace referencia a la probabilidad de no factibilidad de un proyecto, entendida como la probabilidad de que las variables de salida adopten ciertos valores de referencia. En el caso del valor presente neto, la probabilidad de que sea negativo $p(VPN < 0)$ es de 12.9% y si se utiliza la tasa interna de retorno, dicha probabilidad esta definida como $p(TIR < WACC)$, que este caso es 12.7%. Considerando los resultados obtenidos un analista podría adoptar una decisión con más elementos de juicio e incorporando interesantes ele-

mentos de evaluación del riesgo del proyecto como la probabilidad de no factibilidad y consecuentemente la probabilidad de factibilidad que estaría dada por el complemento.

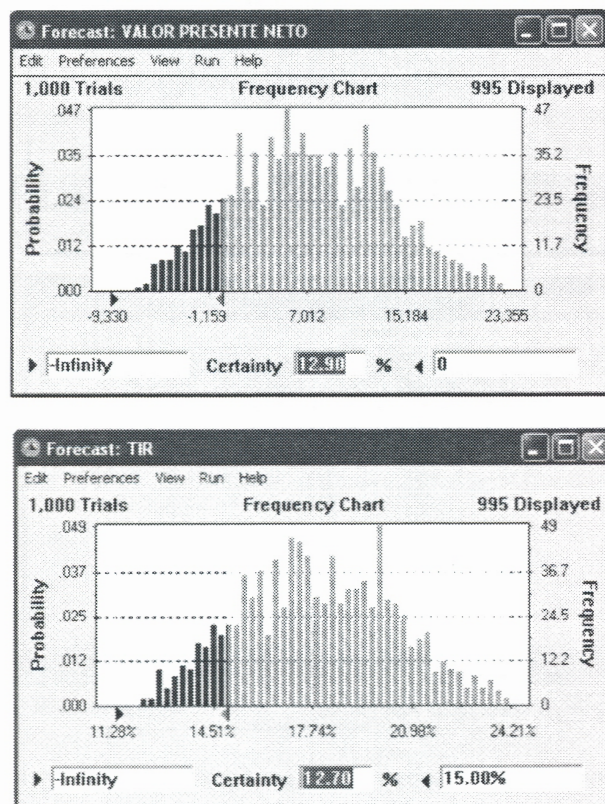


Figura 10. Probabilidad de no factibilidad de un proyecto.

2. Un análisis complementario al realizado hasta aquí tiene que ver con la posibilidad de desarrollar estudios de sensibilidad en los cuales se identifique el impacto de las diferentes variables de entrada frente a los resultados simulados de las variables de salida. La gran mayoría de las aplicaciones computacionales que utilizan técnicas de Monte Carlo, priorizan el impacto de las variables mediante dos métodos, contribución a la varianza o ranking de correlaciones.

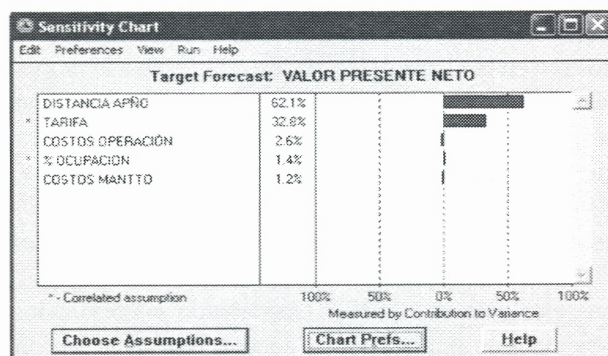


Figura 11. Análisis de Sensibilidad – Contribución a la Varianza.

En la Figura 11, se pueden observar los resultados obtenidos para el ejemplo de compra del camión. La variable más relevante es la distancia recorrida al año, seguida de las variables tarifa, costos de operación, porcentaje de ocupación y finalmente costos de mantenimiento. Este análisis, permitiría concentrar los esfuerzos de análisis y optimización en aquellas variables determinantes del proyecto, por el alto nivel de incertidumbre que generan y en consecuencia adoptar medidas de control sobre el proyecto.

4. Conclusiones y comentarios finales

• Como se observó a lo largo del presente artículo, la utilización de técnicas de simulación permite refinar el análisis y las conclusiones derivadas de proyectos de inversión, introduciendo criterios como la probabilidad de “no factibilidad” o su complemento, la probabilidad de factibilidad, las cuales proporcionan más elementos de juicio para la toma de decisiones en el análisis de alternativas de inversión o financiación.

• Las aplicaciones de la simulación en las finanzas corporativas presentan un universo bastante amplio, puesto que la gran mayoría de las decisiones estudiadas se somete a fenómenos donde prima la incertidumbre.

• Desde el punto de vista académico y pedagógico, la utilización de técnicas de simulación proporciona excelentes elementos de análisis de alternativas, que complementan las técnicas tradicionales, estudiadas en los cursos de finanzas e ingeniería económica.

• El análisis económico de proyectos de inversión utilizando técnicas de simulación, es especialmente útil en aquellos proyectos donde la incertidumbre es absolutamente determinante en los resultados finales, por ejemplo en los proyectos de exploración y posterior explotación de campos petrolíferos, concesiones viales entre otros.

• La simulación permite refinar los supuestos de los proyectos de inversión y formular nuevas hipótesis que pueden ser validadas a través de pruebas en el modelo de análisis. Por ejemplo, algunos de los conflictos típicos entre los grupos de interés o stakeholders de un proyecto podrían ser simulados en diferentes escenarios y de esta manera generar más elementos de juicio.

- La utilización de criterios como la probabilidad de no factibilidad, permitiría mejorar las técnicas de comparación de alternativas de inversión incorporando como variable complementaria al análisis por valor presente neto o tasa de retorno, el análisis del nivel de riesgo de cada alternativa.

5. Referencias Bibliográficas

1. COATES, Eyler R. y Kuhl, Michael (2003). Using Simulation Software to solve Engineering Economy Problems. Computers & Industrial Engineering. No. 45.
2. COATS, P.K. y Chesser, D.L. (1992). Coping with Business Risk through Probabilistic Financial Statements. Simulation, June.
3. ESCHENBACH, T. G., y Gimpel, r. J. (1990) Stochastic Sensivity Analysis. The Engineering Economist, 35(4).
4. EVANS, James R. and Olson, David L. Introduction to Simulation and Risk Analysis (2 ed) Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2002.
5. GIACCOTTO, C. (1994). A Simplified Approach to Risk Analysis in Capital Budgeting with Serially Correlated Cash Flows. The Engineering Economist, 29(4).
6. GOYAL, A. K., tien, J.M., y Voss, P.A. (1997). Integrating Uncertainty Considerations in Learning Engineering Economy. The Engineering Economist, 42(3).
7. HERNANDEZ, Hugo y Montenegro, José (2002). Evaluación del Riesgo en un Proyecto de Servicios Industriales mediante Simulación de Montecarlo. 3er. Congreso Ibero Americano de Gerencia de Proyectos. Caracas, Venezuela.
8. HILLIER, F.S. (1963). The Derivation of Probabilistic Information for the Evaluation of Risky Invesments. Management Science.
9. MCKINNEY, Bryan L and Engfer, David R. (2004) Formulating Risk into Research and Engineering Projects. Proceedings of the 2004 Crystall Ball Users Conferences.
10. PULGARÍN HOME, Fernando y Rodríguez, Ferney. (1997) Diagnostico sobre los métodos y procedimientos utilizados por la gran industria manufacturera del Valle del Cauca en la definición de tecnología productiva en proyectos de ampliación de la capacidad. Tesis de Grado Ingeniería Industrial, Universidad del Valle 1997.
11. SAVVIDES, Savvakis. (1994) Risk Analysis in Invesment Appraisal. Project Appraisal. Volumen 9 Number 1. Beech Tree Publishing.
12. VOSE, David. Risk Análisis (2002) A Quantitative Guide (2 ed) New York: John Wiley & Sons.