

Análisis de riesgo en la evaluación de proyectos de inversión pública utilizando Crystal Ball

Dr. Juan Walter Tudela Mamani

Profesor de la Escuela Profesional de Ingeniería Económica de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú.

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Art. Recibido 30/abril/2015
Art. Aceptado 10/julio/2015
online: 14/setiembre/2015

PALABRAS CLAVE:

- * Análisis de riesgo
- * modelo de simulación de Monte Carlo
- * evaluación de proyectos de inversión pública

ARTICLE INFO

Article Received 30/april/2015
Article Accepted 01/july/2015
online: 14/sepember/2015

PALAVRAS CHAVE:

- * Risk analysis
- * Monte Carlo simulation model
- * evaluation of public investment projects

RESUMEN

En el presente artículo se expone una metodología para la evaluación social de un proyecto de inversión pública que incorpora el componente de riesgo e incertidumbre, con la finalidad de mejorar los procesos de evaluación de proyectos. Se demuestra que la simulación de Monte Carlo definitivamente aporta una mejor aproximación al análisis del riesgo en la evaluación de proyectos y es perfectamente aplicable a un proyecto que sea identificado, formulado y evaluado en el marco del sistema nacional de inversión pública.

RISK ANALYSIS IN THE ASSESSMENT OF PUBLIC INVESTMENT PROJECTS USING CRYSTAL BALL

ABSTRACT

In this article a methodology for social assessment of public investment project that incorporates the element of risk and uncertainty in order to improve the processes of project evaluation is exposed. We show that the Monte Carlo simulation approach definitely provides better risk analysis in the evaluation of projects and is perfectly applicable to a project is identified, developed and evaluated in the context of national public investment system.

INTRODUCCIÓN

Para mejorar la calidad de las inversiones en el sector público, a través de la aplicación de los métodos y procedimientos que permitan optimizar el uso de los recursos públicos, se implementa en el Perú el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP). Esta forma de proceder implica realizar estudios de pre-inversión también llamados estudios de viabilidad, donde se debe garantizar que la alternativa de proyecto seleccionada es viable financiera, económica, social y ambientalmente.

En este contexto, en la literatura de proyectos y en particular en los manuales y guías metodológicas que se publica a través de la Dirección General de Inversión Pública (DGIP) del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), no se tiene claramente explicitado la metodología a seguir cuando se requiere analizar el riesgo e incertidumbre¹ en el proceso de evaluación de un proyecto de inversión pública; sin embargo, no sobra enfatizar el hecho de que existe el reglamento de la Ley 29664 que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), que en su artículo 11, referido a gobiernos regionales y gobiernos locales, precisa incorporar en sus procesos de planificación, de ordenamiento territorial, de gestión ambiental y de inversión pública la gestión del riesgo de desastres. Para esto se plantea realizar un análisis de los proyectos de desarrollo e inversión con el fin de asegurar que se identifica:

- i. La vulnerabilidad potencial de los proyectos y el modo de evitarla o reducirla.
- ii. La vulnerabilidad que los proyectos pueden crear a la sociedad, la infraestructura o el entorno y las medidas necesarias para su prevención, reducción y/o control.
- iii. La capacidad de los proyectos de reducir vulnerabilidades existentes en su ámbito de acción.

El tema de gestión del riesgo en los proyectos de inversión pública está ampliamente difundido, su característica principal es la gestión prospectiva el riesgo, entendido como el planteamiento del conjunto de medidas que deben realizarse con el fin de evitar y prevenir el riesgo futuro para los proyectos de inversión pública. El análisis prospectivo del riesgo se aplica a las acciones consideradas en el proyecto, incluyendo las medidas de gestión correctiva del riesgo que se definen en la fase de identificación (MEF-DGIP, 2014). Sin embargo, el análisis de riesgo que se expone en el presente artículo se diferencia del enfoque de gestión del riesgo, debido a que se considera la variabilidad en las variables críticas del proyecto que impactan en la rentabilidad.

Al momento de evaluar un proyecto suele existir desconocimiento sobre muchos aspectos relacionados con el proyecto, como por ejemplo: el incremento de costos de operación y mantenimiento, aumentos en los montos de inversión, disminución de beneficios, etc. Todas estas variables pueden afectar los indicadores de rentabilidad. En el presente artículo se expone una metodología para la evaluación social de un

¹ Los conceptos de riesgo e incertidumbre están muy relacionados pero son muy diferentes. La incertidumbre involucra variables que están constantemente cambiando, mientras que el riesgo involucra solamente variables inciertas que afectan o impactan directamente el resultado del sistema (Mun, 2004). En consecuencia, se podría precisar que en condiciones de incertidumbre se conocen los posibles resultados, pero no se puede asignar una probabilidad de ocurrencia del hecho, mientras que en condiciones de riesgo se conocen los posibles resultados y si se puede asignar una probabilidad de la ocurrencia del hecho.

proyecto de inversión pública que incorpora el componente de riesgo e incertidumbre, con la finalidad de mejorar los procesos de evaluación.

La incorporación de herramientas como la simulación para el análisis del riesgo en los proyectos de inversión de corte privado ha sido ampliamente desarrollada. Sin embargo, en la evaluación de proyectos de inversión pública son escasas las investigaciones. La técnica de simulación que ha sido ampliamente desarrollada en el sector privado es la simulación de Monte Carlo. Como lo señala Sapag (2011), el modelo de simulación de Monte Carlo genera numerosos resultados que puede tomar el valor actual neto (VAN) del proyecto si a cada factor que condiciona el flujo de caja se le asigna, aleatoriamente, un valor probable de ocurrencia. Al aplicar repetidas veces la selección de valores aleatorios para cada uno de los factores, dentro de su propia distribución de probabilidad, se logra obtener un número suficiente de resultados como para pronosticar la forma de la distribución del comportamiento probabilístico del VAN.

A nivel de Latinoamérica existen trabajos de investigación que incorporan herramientas como la simulación en el análisis de riesgo en proyectos de inversión de corte privado. En efecto, Bazzani y Cruz (2008) exponen una metodología técnica para identificar riesgos financieros en los proyectos de inversión de las empresas, su análisis y manejo, con la finalidad de contribuir a garantizar el cumplimiento de los objetivos institucionales (misión y visión) y la supervivencia de las empresas en Colombia. Del trabajo de investigación se puede concluir que sobre la base del modelo determinístico clásico en la evaluación de proyectos se diseña el modelo aleatorio con 10.000 escenarios para analizar el riesgo, incluyendo en el análisis variables exógenas y endógenas volátiles e inestables, lo cual constituye un aspecto fundamental en el proceso de evaluación de proyectos de corte privado.

En nuestro país se destaca la investigación de los profesores Del Carpio y Eyzaguirre (2007), quienes muestran cómo el uso del software Crystal Ball, incorporado en una hoja de cálculo, puede ayudar a tomar mejores decisiones de inversión aplicando la técnica de simulación de Monte Carlo, en efecto, los autores en el desarrollo del ejemplo de aplicación demuestran que la técnica de simulación de Monte Carlo aporta significativamente en el análisis de inversión bajo condiciones de riesgo, pues el método determinístico produce un solo valor como es el caso del VAN igual a S/. 1.223,98. En tanto que la aplicación del modelo de simulación de Monte Carlo indica una distribución de probabilidades del VAN, determinándose que la probabilidad de que el VAN sea mayor que S/. 1.100 es de 97,63%.

Por su parte, Toloza y Acuña (2005) al evaluar la rentabilidad económica de un proyecto de inversión privada en la ciudad de Concepción-Chile, enfocada a la actividad deportiva «Canopy», que consiste en el deslizamiento de árbol a árbol empleando poleas sobre cables horizontales, incorpora el análisis de riesgo. Para la evaluación económica de este proyecto se elaboró un flujo de caja, en un periodo de cinco años, con la información generada en el flujo de caja se procedió al cálculo del VAN, seguido de esto con la ayuda del programa Crystal Ball se realizó la simulación en el tiempo y se le asignó una distribución de probabilidades a las variables de mayor influencia, para el posterior análisis de sensibilidad, y evaluación de las probabilidades de ganar y perder dinero. Según las cifras arrojadas por el flujo de caja el proyecto presenta valores positivos en los cinco años, y al primer trimestre ya genera utilidades. Del análisis de riesgo se desprende que

este proyecto presenta un 1,75% de probabilidad de perder dinero, por el contrario la probabilidad de tener un VAN positivo es de un 98,25%.

Los trabajos de investigación referidos enfatizan la utilización de herramientas de simulación en los procesos de evaluación de proyectos de inversión privada; sin embargo, este tipo de análisis podría ser perfectamente replicable en la evaluación de proyectos de inversión pública.

MATERIALES Y MÉTODOS

El riesgo en la evaluación de proyectos se puede definir como el proceso cualitativo y cuantitativo mediante el cual se trata de estimar el impacto del factor riesgo en los principales indicadores evaluativos de un proyecto: valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y relación beneficio costo (RBC). En proyectos de inversión pública, lo que nos interesa es la variación en las variables críticas, por lo que, a mayor variabilidad mayor riesgo.

Algunos autores, al considerar el riesgo en la evaluación de proyectos suelen distinguir dos casos, en primer lugar, el riesgo propiamente dicho, el cual se refiere a situaciones en las que se conoce la probabilidad de ocurrencia de un evento particular, por ejemplo, la probabilidad de que en una determinada zona caiga granizo. Por otro lado, la incertidumbre, que se refiere a situaciones en las que no se conoce la probabilidad de ocurrencia, por ejemplo, es difícil conocer la probabilidad de que aparezca una nueva tecnología para producir cierto bien. En consecuencia, surge la pregunta de cómo puede medirse el riesgo, la idea básica es que se puede aplicar métodos que permitan explicitar el riesgo y tenerlo en cuenta en la evaluación de un proyecto (Botteon, 2007).

Es necesario precisar que existe una gran cantidad de metodologías para evaluar un proyecto ante variaciones en las principales variables críticas. En primer lugar se tienen los métodos que no consideran las probabilidades de ocurrencia, es decir, la idea con estas metodologías es identificar las variables críticas del proyecto y analizar determinados escenarios de evaluación y poner de manifiesto los rangos (incremento en costos y disminución de beneficios) sobre las cuales el proyecto sigue o no sigue siendo rentable (Botteon, 2007). Esta metodología también se conoce como análisis de sensibilidad y es muy aplicado por los proyectistas en nuestro medio.

Por otro lado, están los métodos que consideran las probabilidades de ocurrencia, en este grupo destacan los modelos de distribución de probabilidades de cada beneficio neto y el modelo de simulación de Monte Carlo². Estas metodologías, requieren de los resultados de los métodos que no consideran la probabilidad para saber las variables críticas del proyecto y a partir de esto establecer la distribución de probabilidades (Botteon, 2007). En el presente artículo se utilizará el modelo de simulación de Monte Carlo en la evaluación de riesgo de un proyecto de ampliación de agua potable, el mismo que fuera evaluado en el marco del SNIP.

² Según Foppiano (2013), la simulación de Monte Carlo se basa en un sistema de relaciones matemáticas y lógicas de generación de valores aleatorios que simularan el comportamiento de distribuciones matemáticas y/o estadísticas en sus variables de entrada, con el fin de obtener resultados para sus variables de salida, con los cuales se puede hacer inferencia estadística. Con el nombre de «simulación de Monte Carlo» se considera una serie de procedimientos generadores de variables aleatorias usando la simulación de números aleatorios.

El modelo de simulación de Monte Carlo permite obtener una distribución probabilística de los principales indicadores evaluativos de un proyecto de inversión (VAN, TIR y RBC), a través de la selección aleatoria de valores de las distintas variables que inciden en la rentabilidad del proyecto, cada variable asume individualmente valores aleatorios concordantes con una distribución de probabilidades propia para cada una de ellas. El modelo de simulación de Monte Carlo se diferencia del análisis de sensibilidad en que mientras en este último los valores de las variables son definidos sobre la base del evaluador, en el primero se asigna en función a la distribución de probabilidades que se estime para cada una y dentro de un intervalo determinado por el evaluador (Sottile, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta parte del artículo, se trata de analizar el riesgo en un proyecto de inversión pública de agua potable, obviamente por razones de espacio, nos concentramos solamente en la parte de la evaluación haciendo hincapié que el proyecto fue identificado y formulado según las pautas que se han establecido en los manuales y guías que emana la DGIP a través del MEF. Por consiguiente, se tiene que del análisis de sensibilidad de la alternativa de proyecto seleccionada las variables más vulnerables en el desarrollo del proyecto son las *inversiones*, los *costos de operación y mantenimiento* y los *beneficios brutos totales*. Para la utilización del software Crystal Ball³ y aplicar el modelo de simulación de Monte Carlo en la evaluación de riesgo se procede con los siguientes pasos:

a.- Se elabora el flujo de fondos del proyecto y se calcula los indicadores evaluativos del proyecto (VAN, TIR y RBC), en nuestro ejemplo estos resultados se detallan en Tabla 1.

De los resultados mostrados en la Tabla 1 se puede desprender que los indicadores hallados VAN, TIR y RBC indican que la alternativa de proyecto es rentable desde el punto de vista social y por lo tanto conveniente que este proyecto sea ejecutado.

b.- Definición de las variables de entrada y elección de distribución de probabilidades, en el análisis de sensibilidad se han considerado como variables críticas: inversiones, costos de operación y mantenimiento y beneficios. A cada una de estas variables se les asocia una función de distribución de probabilidades, siguiendo básicamente el siguiente criterio:

- La variable *inversión* será normalmente distribuido alrededor de un valor de la media de S/.4'000.000 con una desviación estándar de S/.400.000, es decir, se espera que la conocida curva en forma de campana con aproximadamente 68% de todos los valores posibles correspondientes a la inversión, se ubique entre una desviación estándar debajo del valor de la media y una desviación estándar por encima de dicho valor.
- Para la variable *costos de operación y mantenimiento* se asume una función de distribución triangular, se espera que en el proyecto estos desembolsos bordeen entre S/.117.000 y S/.143.000 siendo el monto más probable S/.130.000.

³ Crystal Ball es un programa de análisis de riesgo y de pronóstico orientado a través de gráficos, y que está destinado a quitar la incertidumbre en la toma de decisiones. Crystal Ball® es marca registrada de Decisioneering, Inc.

Tabla 1: Indicadores evaluativos del proyecto de inversión pública

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
	Total	Antiguas	Nuevas	Total	Inversión total a precios sociales (S/.)	Producción de agua (m³/año)	Operación y mantenimiento incrementales	Flujo neto a precios sociales	Factor de descuento	Valor actual del flujo neto a precios sociales	
10					3.361.345			-3.361.345	14%	-3.361.345	
11	587	52.352	434.747	487.099	0	237.118	26.252	460.847	0,877	404.252	
12	600	52.352	454.440	506.792	0	242.369	29.253	477.539	0,769	367.450	
13	612	52.352	472.617	524.969	2.017	247.217	32.023	490.929	0,675	331.363	
14	625	52.352	492.309	544.662	2.185	252.468	35.024	507.453	0,592	300.453	
15	638	52.352	512.002	564.354	2.185	257.719	38.024	524.145	0,519	272.224	
16	652	52.352	533.209	585.561	2.353	263.375	41.256	541.952	0,456	246.906	
17	665	52.352	552.901	605.254	2.185	268.626	44.257	558.812	0,400	223.322	
18	679	52.352	574.109	626.461	2.353	274.281	47.488	576.619	0,351	202.139	
19	694	52.352	596.831	649.183	2.521	280.340	50.951	595.711	0,308	183.186	
20	708	52.352	618.038	670.390	2.353	285.996	54.182	613.855	0,270	165.583	
21	723	52.352	640.760	693.112	2.521	292.055	57.645	632.946	0,237	149.766	
22	738	52.352	663.482	715.834	2.521	298.114	61.107	652.206	0,208	135.371	
23	754	52.352	687.718	740.071	2.689	304.577	64.801	672.581	0,182	122.456	
24	770	52.352	711.955	764.307	2.689	311.041	68.494	693.125	0,160	110.639	
25	786	52.352	736.192	788.544	2.689	317.504	72.187	713.668	0,140	99.982	
26	802	52.352	760.429	812.781	2.689	323.967	75.880	734.212	0,123	90.228	
27	819	52.352	786.180	838.533	2.857	330.834	79.804	755.871	0,108	81.483	
28	836	52.352	811.932	864.284	2.857	337.701	83.728	777.639	0,095	73.540	
29	854	52.352	839.198	891.550	3.025	344.972	87.883	800.642	0,083	66.412	
30	872	52.352	866.465	918.817	3.025	352.243	92.038	823.753	0,073	59.938	
32										VAN SOCIAL	325.411
33										TIR SOCIAL	15.47%
34										RBC SOCIAL	1,1

- Para la variable *beneficios brutos totales* se asume una función de distribución uniforme considerando que se espera con el proyecto un mínimo de S/.113,61 y un máximo de S/.138,85.

A continuación se ilustra gráficamente la distribución de probabilidades según los criterios definidos para cada variable del proyecto.

Figura 1: Distribución normal – inversión total

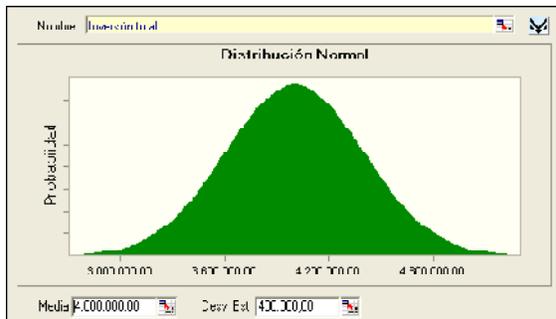


Figura 2: Distribución triangular – costos de operación y mantenimiento

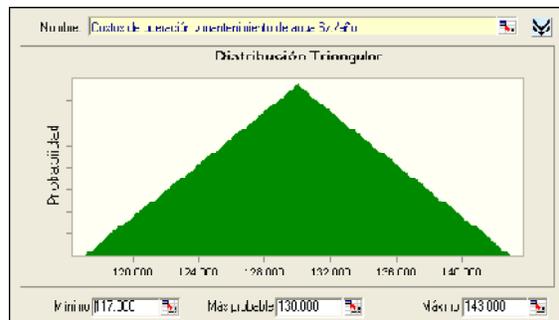
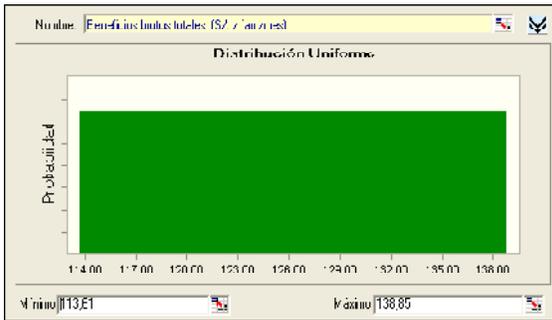


Figura 3: Distribución uniforme – beneficios brutos totales



c.- **Definición de las variables de salida**, en esta parte se identifican los indicadores evaluativos a pronosticar, en nuestro caso se pronosticará los indicadores: VAN y TIR.

d.- **Simulación del modelo**, para proceder con la simulación del modelo se tiene la posibilidad de definir la cantidad de veces que se desea iterar y/o ejecutar la simulación. En nuestro caso se generaron 1.000 escenarios.

Figura 4: Resultados del modelo de simulación de Monte Carlo para el VAN

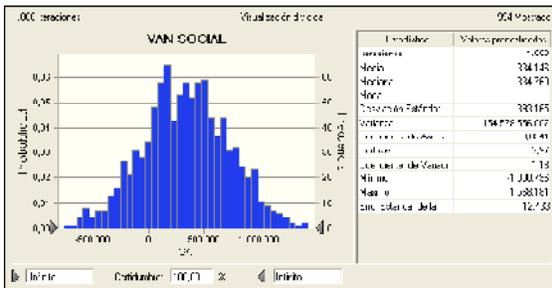
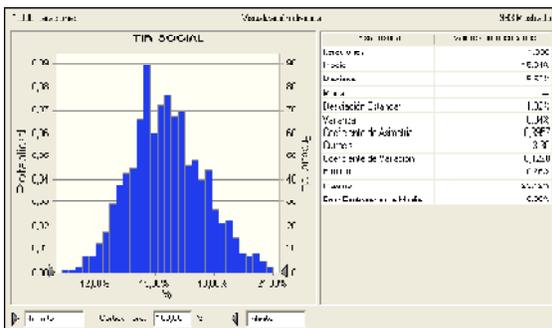


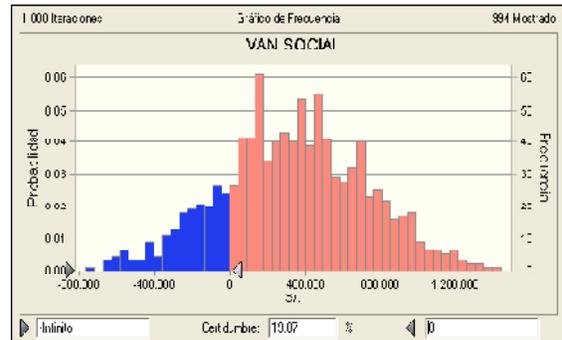
Figura 5: Resultados del modelo de simulación de Monte Carlo para la TIR



En las Figuras 4 y 5 se muestran los resultados del pronóstico para el VAN y la TIR respectivamente con un nivel de certeza del 100%. Las valores que merecen destacar es el VAN promedio el cual es de S/ .334.146 y la TIR promedio que bordea el 15,54%. Estos resultados se asemejan mucho a los resultados determinísticos tradicionales (ver

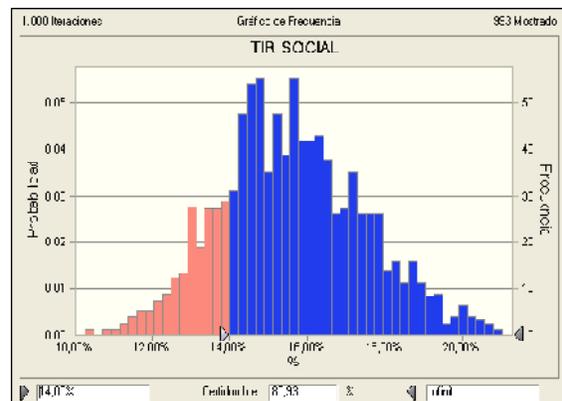
tabla 1), sin embargo, la utilidad del análisis de riesgo radica en que a partir de los resultados anteriores se puede establecer las probabilidades de viabilidad y no viabilidad de un proyecto de inversión.

Figura 6: Probabilidad de no viabilidad del proyecto de inversión pública



En la Figura 6 se ilustra la probabilidad de no viabilidad del proyecto de inversión pública, en efecto, se tiene que la probabilidad de que el VAN sea menor que cero [p(VAN<0)] es de 19,07%, esta probabilidad también se conoce como la probabilidad de no viabilidad y consiguientemente la probabilidad de viabilidad en este caso sería 80,93%. Este resultado muestra que la rentabilidad social del proyecto esta garantizado.

Figura 7: Probabilidad de que la TIR sea mayor al 14%

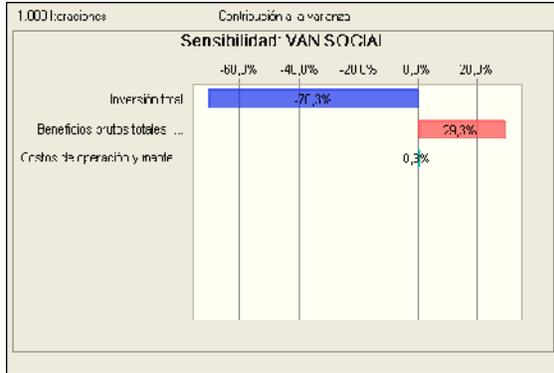


En la Figura 7 se ilustra la probabilidad de que la TIR sea mayor que 14% (tasa de descuento utilizado para descontar el flujo de fondos del proyecto), según los resultados de la simulación se tiene que esta probabilidad es de 80,93%, reflejando que existe una alta probabilidad de que la TIR sea superior a la tasa de descuento.

De análisis anterior se puede concluir que la ejecución de este proyecto es totalmente viable desde el punto de vista social y por lo tanto la herramienta de simulación de riesgo utilizada se complementa perfectamente con el análisis clásico de sensibilidad. En consecuencia, el proceso de evaluación de proyectos de inversión pública se puede

complementar con el análisis de riesgo para que la inversión del estado pueda ser objetivamente evaluada.

Figura 8: Análisis de sensibilidad



En la figura 8 se muestra el análisis de sensibilidad del pronóstico (combinación de la sensibilidad del pronóstico a la variable y la incertidumbre de la variable), se puede observar las variables consideradas críticas mostrando cuáles variables son los más o los menos importantes en el modelo. De análisis, se puede desprender que las variables más importantes y relevantes en el análisis de riesgo son la inversión seguida de los beneficios brutos totales y los costos de operación y mantenimiento respectivamente en orden de importancia. Definitivamente este análisis permite concentrar esfuerzos en esta variable afín de optimizar y adoptar medidas de control en el proyecto dado el alto nivel de incertidumbre que genera.

CONCLUSIONES

La simulación de Monte Carlo definitivamente aporta una mejor aproximación al análisis del riesgo en los proyectos de inversión pública. Sin embargo, se debe tener presente que la parte más importante y difícil en este tipo de análisis es asumir una distribución de probabilidades de las variables consideradas críticas en el proyecto, en este caso, se recomienda utilizar el criterio técnico según el uso y características del proyecto, por ejemplo, cuando se hace un análisis de valores de resultados de prueba se puede utilizar la distribución normal, cuando no se conoce la forma de la distribución pero se puede estimar los escenarios (optimista, pesimista y promedio) se puede utilizar la distribución triangular y cuando dentro de un rango conocido todos los valores tienen la misma probabilidad de ocurrir se puede utilizar la distribución uniforme. No está demás precisar que también es posible asumir una distribución de probabilidades en base a los datos históricos de las variables críticas y de esta manera con ayuda de cualquier paquete estadístico analizar la forma de la distribución que más se ajusta a la información histórica.

Finalmente es necesario indicar que la gran mayoría de evaluadores de proyectos de inversión pública en el país se concentran 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, complementados con técnicas de análisis de sensibilidad a partir de la construcción de escenarios, en este contexto, se recomienda la incorporación de herramientas como la simulación para el análisis de riesgo en los procesos de evaluación de proyectos de inversión pública,

toda vez de que estas herramientas aportan argumentos cuantitativos adicionales que permiten que la sustentación de los proyectos sea más objetiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bazzani, C. L. & Cruz, E. (2008). Análisis de Riesgo en Proyectos de Inversión un Caso de Estudio. *Scientia et Technica*. Pag. 309-314. Año XIV, No 38, Junio de 2008. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Botteon, C. (2007). Análisis de Riesgo. ILPES: XII Curso Internacional de Preparación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública. Santiago de Chile, Octubre 2007.
- Del Carpio, J. & Eyzaguirre, R. (2007). Análisis de Riesgo en la Evaluación de Alternativas de Inversión Utilizando Crystal Ball. *Gestión y Producción*. Pag. 55-58. Ind. Data 10(1), 2007.
- Foppiano, G. (2013). *Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión*. 1ª ed. Instituto Superior San Ignacio de Loyola, Lima-Perú.
- MEF-DGIP (2014). *Guía General para Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública, a Nivel de Perfil: Incorporando la Gestión del Riesgo en un Contexto de Cambio Climático*. Ministerio de Economía y Finanzas - Dirección General de Inversión Pública. Lima, Diciembre, 2014.
- Mun, J. (2004). *Applied Risk Analysis*. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A.
- Sapag, N. (2011). *Proyectos de Inversión: Formulación y Evaluación*. 2da edición, Pearson Educación, Chile, 2011.
- Sottile, A. (2006). *Decisiones bajo Condiciones de Incertidumbre: Análisis de Riesgo y Simulación de Monte Carlo*. Apuntes de clase.
- Tolosa, C. & Acuña, E. (2005). *Evaluación Económica y Análisis de Riesgo de un Canopy en el Cerro Caracol de Concepción*. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Chile.