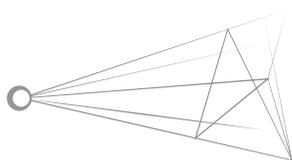
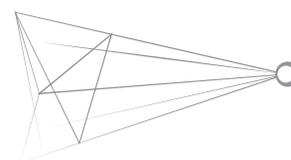




*Análisis de riesgo en proyectos de inversión: un caso de estudio para una planta de generación de biogás y electricidad en Colombia**



Walter Ospina Ortiz**



Resumen

La interpretación de los resultados de aplicaciones como Crystal Ball, Risk y otras similares, cuando se aplica al flujo de caja libre de un proyecto, requiere de parte del analista, conocimientos en estadística y experticia en proyectos, para definir correctamente las variables de entrada al modelo y analizar el perfil riesgo/rentabilidad del proyecto. En este artículo se explica cómo interpretar los resultados de la aplicación Crystal Ball cuando se utiliza para hacer el análisis de riesgo de la rentabilidad de un proyecto específico, es decir, sin considerar el portafolio de proyectos del que pueda hacer parte. El artículo, es una guía para aquellos analistas que utilizan por primera vez la aplicación para hacer análisis de riesgo de proyectos de inversión.

Palabras clave

Riesgo, análisis de riesgo, planta de biogás, perfil riesgo/rentabilidad.

* Este artículo es derivado del proyecto, *Estudio de prefactibilidad para la construcción de una planta productora de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales del Municipio de Quibdó, para generación de energía eléctrica.*

** Ingeniero electricista, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia. Especialista en gerencia de proyectos, Institución Universitaria Esumer, Medellín, Colombia. Correo electrónico: icatersas@gmail.com

Introducción

La legislación y la normativa colombiana, a partir de la ley de energías renovables (Ley 1715 de marzo de 2015), ha venido promoviendo los proyectos energéticos que utilicen las fuentes de energía de este tipo. En el sector de los residuos sólidos municipales las leyes, decretos y actos administrativos expedidos por entidades como los ministerios, la Comisión de Agua y Aseo y la Comisión de Energía y Gas, han creado el marco legal para que las gobernaciones y los municipios puedan formular proyectos y presentarlos a entidades como: Findeter, Fonade, Departamento Nacional de Planeación (DNP), Ministerio de Medio Ambiente, Banca Multilateral, Banca Nacional y otras entidades. El trabajo que se presenta es una parte del estudio de prefactibilidad realizado por el autor para analizar la viabilidad de una planta de biogás productora de electricidad y bioabono en el botadero a cielo abierto del municipio de Quibdó en el Chocó (Ospina, 2018). En este artículo se presenta el análisis de riesgo realizado a partir del flujo de caja libre construido para un horizonte de estudio de 20 años. El propósito del mismo es servir de guía para interpretar los resultados del modelo construido en Crystal Ball cuando se aplica a un solo proyecto.

1. Caso de estudio: planta de biogás

El proyecto consiste en la construcción de una planta industrial de digestión anaeróbica utilizando como materia prima la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Municipales (RSM), del municipio de Quibdó. Esta fracción orgánica debe ser previamente separada en una planta de clasificación manual o semiautomatizada. Una vez la fracción orgánica es separada, debe pasar por una etapa de pretratamiento donde se tritura y se mezcla con agua para conformar el sustrato que ingresa al biodigestor. De este salen dos subproductos: biogás y bioabono o acondicionador de suelo. El biogás se utiliza para generar electricidad, calor, gas natural vehicular o gas natural para uso residencial. El bioabono, dependiendo de la calidad del mismo, puede usarse en la agricultura o como recuperador de suelos afectados por la minería u otra actividad.



La ejecución de un proyecto de valorización energética de los RSM por parte de un municipio pequeño o mediano sin la ayuda del gobierno nacional o departamental, es prácticamente imposible. Por lo tanto, para hacer la evaluación se asume la participación de la nación, del departamento y del municipio, mediante aportes no reembolsables. De esta forma, solo una parte del valor total del proyecto, se considera inversión en el flujo de caja asociado al proyecto. La diferencia entre el valor total del proyecto y los aportes no reembolsables, se financia mediante un crédito con la banca nacional.

Para construir el flujo de caja libre determinístico del proyecto se determinaron los valores que se muestran en la tabla 1. Para estimar estos valores se realizaron los siguientes estudios: mercado, técnico, legal y administrativo.

Tabla 1. Variables de entrada

Descripción	Valor	Interna o externa al proyecto
Energía exportada a la red (kWh por año)	10.002.106,56	Interna
Valor de los equipos electromecánicos (\$COP)	29.295.196.350,00	Interna
Valor de las obras civiles (\$COP)	2.295.935.840,00	Interna
AO&M del año de operación 1	1.648.526.880,00	Interna
Presupuesto general del proyecto	36.788.619.374,70	Interna
Precio de venta de la energía (\$COP/kWh)	180,00	Externa
Precio de venta del bioabono o acondicionador de suelo (\$COP/kg)	250,00	Interna
Tarifa de aseo para disposición final de una tonelada de residuos sólidos municipales (\$COP/ton)	31.858,00	Externa
Capacidad de procesamiento de la planta (Ton/año)	32.700,00	Interna
Aporte condonable de la nación (%)	32%	Externa
Aporte condonable del departamento del Chocó (%)	17%	Externa
Aporte condonable del municipio (%)	10%	Externa
Tasa crédito bancario (%)	11%	Externa
Tasa de descuento sin crédito (%)	9,33%	Interna
Tasa de descuento con crédito (%)	10,02%	Interna

Fuente: elaboración propia

En la tabla 1, en la tercera columna se refiere al tipo de variable como interna o externa: las internas son aquellas que son controladas directamente por el municipio de Quibdó o por los administradores del proyecto y que pueden ser afectadas por las variables externas. Las variables externas son aquellas de tipo macro y microeconómico, que no son controladas por el municipio de Quibdó ni por los administradores del proyecto, pero que afectan el entorno social, económico, ambiental y cultural, en el que se desarrolla el proyecto.

2. Marco conceptual

El modelo de evaluación financiera construido con los valores mostrados en la Tabla 1, se denomina determinístico, porque cada variable tiene un valor único. Esto quiere decir, que el modelo no considera la incertidumbre de los mercados de capitales y de la economía colombiana. Si se considera que todas las variables de entrada o algunas de ellas, tienen valores que están en un rango determinado y se asigna una función de distribución de probabilidades a dicho rango, se puede construir un modelo de evaluación probabilístico o estocástico mediante la técnica de simulación de Monte Carlo. Mediante esta técnica y usando la herramienta Crystal Ball, se puede hacer un análisis de riesgo del proyecto, construyendo escenarios aleatorios que correspondan a los supuestos establecidos por el equipo que formula y realiza la evaluación del proyecto. Este es el ejercicio que se desarrolla en el caso de estudio descrito antes.

2.1. Riesgo económico y riesgo financiero.

El riesgo económico se asocia a la etapa de operación del proyecto y por eso también es llamado riesgo operativo. Este riesgo se debe a los eventos de cambio en los costos de AO&M, la demanda de los productos y servicios y los ingresos. El riesgo financiero se debe al nivel de endeudamiento del proyecto y a la tasa de interés pactada con los bancos u otras entidades. Todo ello afecta el flujo de caja libre del proyecto y del inversionista, por tanto, el VPN y la TIR.

2.2. Certeza, riesgo e incertidumbre.

En el modelo determinístico todas las variables de entrada se suponen conocidas y con un valor único, es decir se conocen con certeza. Esto puede aplicar en proyectos de inversión a corto plazo, por ejemplo, inversiones en renta fija tales como certificados de depósito a término, donde las previsiones se cumplen. Cuando los horizontes de estudio de los proyectos son 10, 15 o 20 años, es difícil garantizar que las variables de entrada permanecen constantes en el tiempo y, por tanto, se presenta el riesgo o la incertidumbre, porque los valores de las variables de salida no coinciden con las previsiones del modelo determinístico. En condiciones de certeza no es necesario simular escenarios porque sólo existe uno, pero en condiciones de riesgo o incertidumbre si es necesario.

2.3. Análisis de riesgo objetivo y subjetivo.

Se dice que el análisis de riesgo es objetivo, cuando la distribución de probabilidad se determina a partir de datos históricos de las variables de entrada. Cuando la distribución es asignada por el equipo humano que formula el proyecto y otros expertos, se dice que el análisis de riesgo es subjetivo. En la vida real, cuando el proyecto es novedoso, como el caso de estudio descrito, no existe suficiente información objetiva y debe recurrirse al conocimiento y experticia del grupo de personas que formulan el proyecto o de asesores especializados. Este procedimiento es muy común en la práctica.

2.4. Análisis de sensibilidad.

Cuando, definitivamente, no se puede asignar las distribuciones de probabilidad a las variables de entrada del proyecto de inversión, se debe hacer un análisis del proyecto en condiciones de incertidumbre. Para esto se aplican procedimientos como el Análisis de Sensibilidad. Este consiste en definir una fórmula de aumento y disminución de una o más variables de entrada, en un rango especificado, y analizar la variación de las variables de salida, por ejemplo, el VPN y la TIR.

2.5. Riesgo absoluto y riesgo relativo.

Se habla de riesgo absoluto del proyecto, cuando se hace el análisis de riesgo sin considerar su relación con el riesgo de la empresa o su relación con la economía municipal, departamental o nacional. Es decir, en este caso, no se considera la influencia de la planta de biogás sobre los otros proyectos del municipio de Quibdó, del Departamento del Chocó, o sobre la economía de Quibdó o del Chocó. En caso contrario se habla de riesgo relativo, es decir, no se considera el proyecto individualmente. Esto es importante considerarlo, cuando se cree que el proyecto individualmente puede ser muy arriesgado, pero incluido en el portafolio de proyectos, puede ayudar a disminuir el riesgo global.

3. *Suposiciones en Crystal Ball*

Antes de ejecutar la aplicación Crystal Ball, es necesario definir la distribución de probabilidades de las variables de entrada. Para el caso de estudio, se seleccionan las siguientes variables de entrada:

- Precio de venta de la energía eléctrica
- Precio de venta del acondicionador de suelo
- Tarifa de aseo para disposición final de una tonelada de residuos sólidos municipales
- Tasa de interés del crédito bancario
- Tasa de descuento con crédito

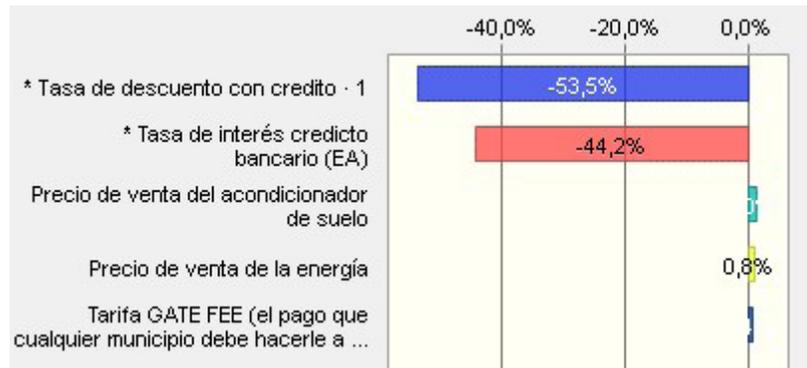
De acuerdo con el criterio de análisis de riesgo subjetivo antes mencionado, el equipo formulador asigna a cada variable de entrada una distribución de probabilidad. Para el caso de las tasas de interés del crédito y de descuento, asume una función de distribución normal con una media igual a los valores determinísticos mostrados en la Tabla 1. Para el precio de venta de la energía, el acondicionador de suelo y la tarifa de aseo, se asume una distribución uniforme con valores mínimos y máximos, alrededor del valor determinístico mostrado en la Tabla 1.

4. *VARIABLES DE RIESGO*

Se denomina variables de riesgo a aquellas variables de entrada al modelo que más hacen variar las variables de salida, en este caso el VPN y la TIR.

Corriendo la aplicación Crystal Ball con las cinco suposiciones descritas, el análisis de sensibilidad que reporta la aplicación, muestra que el VPN es más sensible a la tasa de descuento con crédito y que la TIR es más sensible a la tasa de interés del crédito. Ver Figura 1. *Sensibilidad VPN Inversionista* y Figura 2. *Sensibilidad TIR inversionista*.

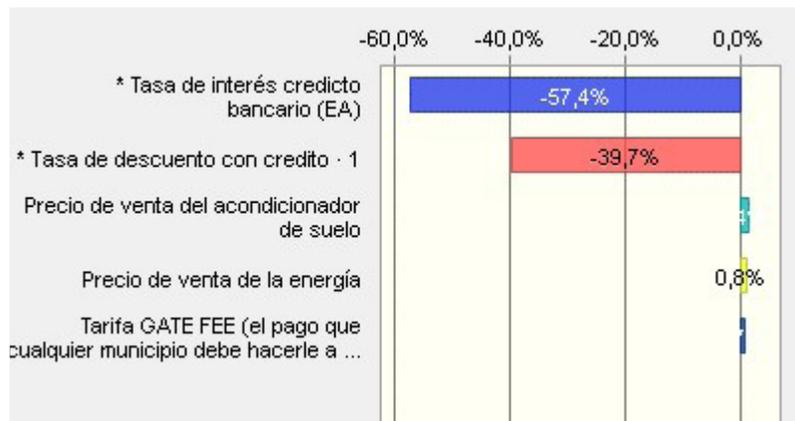
Tabla 1. Variables de entrada



Fuente: elaboración propia

En la figura 1, se observa que el VPN es sensible de manera inversa a la tasa de descuento y a la tasa de interés del crédito. Es decir, a mayor valor de estas tasas menor valor del VPN.

Figura 2. Sensibilidad TIR inversionista



Fuente: elaboración propia

En la Figura 2, se observa que la TIR, es sensible de manera inversa a la tasa de descuento y a la tasa de interés del crédito. Es decir, a mayor valor de estas tasas menor valor de la TIR.

Con respecto a las variables precio de la energía, precio del acondicionador del suelo y tarifa de aseo, se observa que son poco responsables de las variaciones del VPN y de la TIR. Por lo tanto, no deben calificarse como variables de riesgo en el análisis.

Resumiendo, del grupo de variables de entrada, se identifican como variables de riesgo a la tasa de interés del crédito y a la tasa de descuento, por ser responsables de las mayores variaciones del VPN y de la TIR. Esto quiere decir que estas dos variables se deben analizar con más detalle y repetir el proceso.

< Análisis de riesgo en proyectos de inversión: un caso de estudio para una planta de generación de biogás y electricidad en Colombia >

5. Evaluación del proyecto

En la tabla 2, se muestran los resultados de las variables de salida VPN y TIR, del modelo determinístico y del modelo estocástico. En el caso del modelo estocástico se toman los valores esperados del VPN y de la TIR, para compararlos con los valores del modelo determinístico.

Tabla 2. Resultados de los modelos determinístico y estocástico

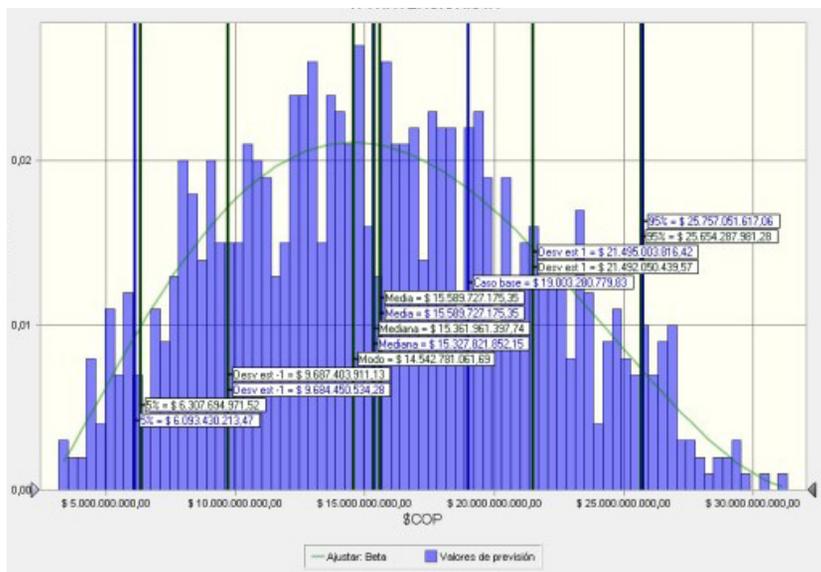
Indicador	Determinístico	Estocástico (valor esperado)
VPN	19.003.280.779,83	\$ 15.589.727.175,35
TIR	16,87%.	15,81%

Fuente: elaboración propia

Un análisis comparativo permite concluir que el VPN esperado es menor que el VPN determinístico, con un valor que indica que el proyecto es viable pero que el inversionista gana menos según el modelo estocástico. En el caso de la TIR, los valores se acercan, pero el valor probabilístico indica que el inversionista gana un poco menos. En ambos casos la TIR es superior a la tasa de descuento con crédito.

El análisis de los valores de la tabla 2, no se puede considerar completo, si no se consideran los demás estadísticos que entrega la aplicación Crystal Ball con el valor esperado. En la Figura 3, se muestra la distribución de probabilidades del VPN, entregada por la aplicación. Las barras muestran los valores aleatorios del VPN y la curva indica que la distribución que se ajusta a dichos valores es la Beta.

Figura 3. Distribución Beta del VPN



Fuente: elaboración propia

En la figura 3 y en tabla 3, se muestran la media, la mediana, el valor del VPN en el caso base o determinístico, en valor del VPN correspondiente a una desviación estándar para la izquierda y una para la derecha, el valor del VPN para los percentiles 5% y 95%. En la Tabla 3, además se muestran los valores de la varianza, el sesgo, curtosis, coeficiente de variación, valor mínimo y máximo del VPN en los 1000 escenarios y el error estándar medio. Todos esos valores asociados a los probables valores del VPN, carecen de importancia, sino se interpretan correctamente. Maxime, si se considera que algunos de dichos valores representan una medida del riesgo del proyecto.

La mediana de los 1000 valores del VPN calculados por la aplicación es 15.327.821.852,15, es decir que organizados dichos valores de menor a mayor, en el medio existen dos valores del VPN cuyo promedio es el valor mencionado.

Tabla 3. Estadísticas del VPN entregadas por Crystal Ball

Estadísticas VPN	Valores de previsión
Pruebas	1.000
Caso base	\$ 19.003.280.779,83
Media	\$ 15.589.727.175,35
Mediana	\$ 15.327.821.852,15
Desviación estándar	\$ 5.905.276.641,07
Varianza	\$ 34.872.292.207.533.100.000,00
Sesgo	0,1551
Curtosis	2,29
Coeficiente de variación	0,3788
Mínimo	\$ 3.172.125.734,62
Máximo	\$ 31.319.985.669,65
Ancho de rango	\$ 28.147.859.935,02
Error estándar medio	\$ 186.741.243,99

Fuente: elaboración propia

Si la mediana se compara con el valor esperado del VPN - $E(\text{VPN})$, se observa que es un poco menor. Si la mediana del VPN es igual al valor esperado, se dice que la distribución del VPN es simétrica, en caso contrario es sesgada. En la Figura 3, se observa que la cola de la derecha de la curva, es más alargada que la cola de la izquierda, en este caso se dice que el sesgo es positivo. En la Tabla 3, se indica que el valor del sesgo es +0,1551, es un valor positivo que indica que el sesgo es positivo y es un valor cercano a cero porque la media y la mediana se aproximan, indicando que hay poca asimetría.

La tabla 3, indica que el valor de la curtosis es 2,29, lo que quiere decir que la curva de distribución Beta del VPN es platicúrtica porque es menor que 3,0. Es decir, que los valores aleatorios del VPN se dispersan bastante a ambos lados del valor esperado del VPN, no se concentran como en el caso de una curva de punta aguda.

6. Perfil riesgo/rentabilidad

La rentabilidad del proyecto de inversión del caso de estudio está asociada en este análisis con el VPN y la TIR. Cuando, además de estos dos parámetros, se incluye el análisis de riesgo como criterio de decisión, es necesario estudiar el perfil riesgo/rentabilidad de la inversión y la predisposición al riesgo de parte del equipo humano que toma la decisión.

Supóngase que existen dos proyectos que tienen el mismo VPN esperado positivo y con distribuciones de probabilidad tal que la desviación estándar del primer proyecto es mayor que la desviación del segundo. Elegir uno de los dos proyectos desde el punto de vista del VPN no es posible. Si el equipo humano que debe tomar la decisión es adverso al riesgo, debe elegir el segundo proyecto porque la desviación estándar es menor, indicando que hay menor riesgo o dispersión alrededor del VPN esperado. Si el equipo decisor es amigo del riesgo, es posible que elija el primer proyecto, que tiene una desviación estándar mayor, es decir mayor riesgo o dispersión de los valores del VPN, muchos de los cuales pueden ser mayores que el valor esperado del VPN, resultando en una mayor rentabilidad del proyecto.



El coeficiente de variación indicado en la Tabla 3, resulta de dividir la desviación estándar entre la media del VPN. Expresado en porcentaje es 37,88%. Este coeficiente por sí sólo y sin considerar otros proyectos que compitan por los mismos recursos de inversión, no indica mayor cosa. Para utilizarlo en el análisis de riesgo de un solo proyecto es necesario definir criterios de bajo, moderado o alto. En la literatura se encuentran criterios como los indicados en la Tabla 4. Valores del coeficiente de variación.

Tabla 4. Valores del coeficiente de variación

Descripción	Valor
Coefficiente de variación bajo	Menor o igual a 10%
Variabilidad moderada	Mayor que 10% y menor o igual al 30%
Coefficiente de variación alto	Mayor que 30%

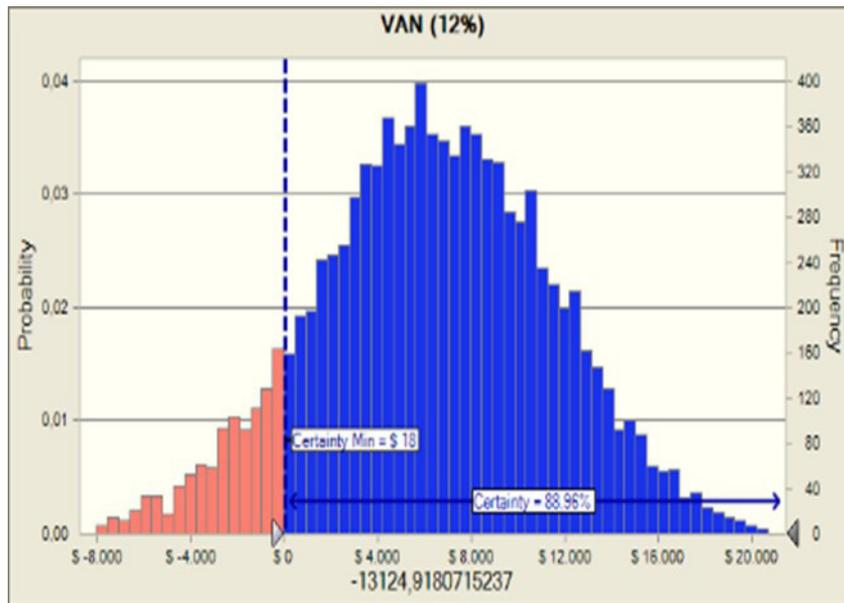
Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los criterios de la Tabla 4, el VPN del proyecto del caso de estudio tiene una variabilidad alta. Si se observa la Tabla 3, el rango de variación de los valores aleatorios del VPN está entre un mínimo = \$ 3.172.125.734,62 y un máximo = \$ 31.319.985.669,65. Es decir, el VPN toma valores que son siempre positivos pero que pueden estar alejados, hacia abajo o hacia arriba, del valor esperado o media, debido a que el coeficiente de variación es alto. En este caso el grado de riesgo medido por el coeficiente de variación se refiere a que es posible obtener escenarios donde la rentabilidad es mayor o menor que la indicada por el valor esperado. Desde este punto de vista, entre dos proyectos que tengan valores esperados similares, aquel con menor coeficiente de variación es menos arriesgado.

En la Figura 3 y en la Tabla 3, se indica que, para los 1000 escenarios simulados, el valor mínimo del VPN es igual a \$ 3.172.125.734,62 y el valor máximo es igual a \$ 31.319.985.669,65, es decir el ancho del rango, que es la diferencia entre los dos valores, es igual a \$ 28.147.859.935,02. Según lo anterior, no existen valores negativos en el rango, por tanto, la probabilidad de que el VPN sea mayor que cero es 100% ($P(\text{VPN} > 0) = 100\%$). Dicho de otra forma, la $P(\text{VPN} < 0) = 0$, lo que implica que el riesgo de rentabilidad negativa no existe. En este caso, el decisor debe aceptar el proyecto.

Cuando en el rango de valores aleatorios del VPN existen valores negativos, es decir hay un cruce por $\text{VPN} = 0$, como se muestra en la Figura 4, se presentan dos valores de probabilidad que se deben analizar: $P(\text{VPN} < 0)$ y $P(\text{VPN} > 0)$. En este caso, el criterio de decisión depende de la magnitud de cada probabilidad y de la predisposición al riesgo del decisor. Por ejemplo, si $P(\text{VPN} > 0) > P(\text{VPN} < 0)$, la probabilidad de rentabilidad positiva es mayor que el riesgo de una rentabilidad negativa. Si el decisor es amigo de tomar riesgo, entonces puede aceptar el proyecto.

Figura 4. Valores negativos y positivos del VPN



Fuente: elaboración propia

Al valor medio del rango de valores negativos (área a la izquierda de $VPN = 0$ en la Figura 4), se le conoce como valor esperado de las pérdidas si se acepta el proyecto). Al valor medio del rango de los valores positivos (área a la derecha de $VPN = 0$ en la Figura 4), se le conoce como valor esperado de las ganancias a las que se renuncia si se rechaza el proyecto. Ambos valores son indicadores del riesgo que se asume cuando se acepta realizar un proyecto.

7. Conclusiones

Tomar decisiones de aceptar, rechazar o posponer un proyecto con base, únicamente, en el modelo determinístico, no es recomendable cuando se evalúan proyectos de infraestructura, proyectos energéticos, como el proyecto del caso de estudio, porque no se considera el riesgo.

Hacer un análisis de riesgo con una aplicación como Crystal Ball u otra similar, permite construir el perfil riesgo/rentabilidad del proyecto y tomar mejores decisiones en cuanto a rechazar, aceptar o posponer. También para decidir si es necesario profundizar en los estudios que soportan la formulación del proyecto, para mejorar o confirmar los resultados de los modelos. El costo real de los estudios adicionales se puede comparar con el valor esperado de las pérdidas, para justificar la reducción del perfil riesgo/rentabilidad.

Es necesario estudiar y documentar la predisposición al riesgo del equipo humano que toma las decisiones de aceptar, rechazar o posponer un proyecto para que, combinando dicha predisposición y los resultados de los modelos, tome las mejores decisiones con respecto al proyecto o portafolio de proyectos.

- Ospina, W. (2018). *Estudio de prefactibilidad para la construcción de una planta productora de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales del Municipio de Quibdó, para generación de energía eléctrica*. Medellín: ESUMER.
- Aswath Damoradan*. (2018). Obtenido de Universidad de Stern - New York: www.stern.nyu.edu
- Graíño, P., & Moscovitz, A. (2014). *Generación y Distribución de Energía Renovable a Partir de Biogás*. Argentina: Universidad Argentina de la Empresa.
- Ley 1715. (13 de Mayo de 2014). *República de Colombia - Gobierno Nacional*. Obtenido de <http://www.upme.gov.co>
- Martins, R. (2004). *Aproveitamento Energético Dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica*. Rio de Janeiro - Brasil: Universidad Federal do Rio de Janeiro.
- PGIRS. (Diciembre de 2015). *Actualización y ajustes del plan de gestión integral de residuos sólidos del municipio de Quibdó - Choco*.
- Project Management Institute - PMI. (2018). *Success In Disruptive Times*.
- Verma, S. (2002). *Anaerobic Digestion Of Biodegradable Organics In Municipal Solid Wastes*. Columbia: Columbia University.
- EBA. (2016). *European Biogas Association*. Obtenido de www.european-biogas.eu
- ERC. (2017). *Energy Recovery Council*. Obtenido de www.energyrecoverycouncil.org
- ESWET. (2017). *European Suppliers of Waste to Energy Technology*. Obtenido de www.eswet.eu
- Diaz de Basurto Burgos, A. (2013). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio con residuos orgánicos generados en el mercado de Tiquipaya de Bolivia*. Barcelona - España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.