

## Análisis de decisiones de inversión utilizando el criterio valor presente neto en riesgo (VPN en riesgo)

## Investment decision analysis using net present value at risk (NPV at Risk)

Diego Fernando Manotas Duque<sup>a</sup>, Héctor Hernán Toro Díaz<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística, Universidad del Valle. Ciudad Universitaria Meléndez Calle 13 N.º 100-00 Edificio 357, Cali, Colombia

<sup>b</sup>Departamento Ciencias de la Ingeniería y la Producción, Pontificia Universidad Javeriana Seccional Cali, Calle 18 N.º 118-250, Edificio Ingenierías, Cali, Colombia

(Recibido el 6 de octubre de 2008. Aceptado el 26 de mayo de 2009)

### Resumen

Las decisiones estratégicas de inversión son actividades cruciales para el desarrollo de una organización. Los proyectos de inversión se encuentran expuestos a diversos tipos de riesgo: financiero, político, de mercado, entre otros. Aunque se pueden mencionar varios tipos de metodologías de medición que intentan incluir el riesgo en la valoración de proyectos, la mayoría de ellas tiene falencias, que en todo caso pueden ser abordadas para dar lugar a mejores indicadores de bondad económica y financiera. El presente trabajo aborda el problema de valoración económica de proyectos, y en particular, los problemas del indicador de utilidad económica, Valor Presente Neto (VPN) cuando se calcula sobre un único escenario estático del proyecto. Mediante una combinación del cálculo del costo promedio ponderado de capital (CPPC) -*Weighted Average Cost of Capital (WACC)*- y el uso de métodos de valoración de riesgo que tienen en cuenta la relación entre riesgo – retorno esperado, el resultado principal que se obtiene en este trabajo es un método de evaluación de proyectos, con aplicación principalmente en decisiones estratégicas del sector real, que incluye explícitamente la valoración del riesgo inherente a tales decisiones. Para ilustrar el criterio propuesto, se presentan dos casos de aplicación, el primero sobre selección de tecnología y el segundo sobre decisiones de renovación de cultivos de caña de azúcar.

----- **Palabras clave:** Valor Presente Neto (VPN), Valor en Riesgo (VaR), evaluación de proyectos.

---

\* Autor de correspondencia: teléfono: + 57 + 2 + 321 21 67, fax: + 57 + 2 + 339 84 62, correo electrónico: manotas@pino.univalle.edu.co  
(D. Manotas)

## **Abstract**

Strategic investment decisions are core activities for organizational development. Investment projects faces several types of risk: financial, political, market risk, among others. Although there are several methodologies approaching the valuation of projects under risk conditions, most of them has some fails, but still they can be used as a basement for developing better financial and economic indicators. This work faces the problem of economic project valuation, and particularly, a usual lack of the commonly used Net Present Value (NPV) indicator, related to the calculation of the NPV for a single static scenario. Using a combination of Weighted Average Cost of Capital (WACC), and risk valuation methodologies that accounts for risk-return relation, a methodology for project valuation is proposed, that include explicit measurement of risk, supposed to be used mainly at strategic level decisions. To illustrate the proposed approach, there are two instances of application, the first on technology selection and the second decision on renewal of sugar cane crops.

----- *Keywords:* Net Present Value (NPV), Value at Risk (VaR), project appraisal.

## **Introducción**

Las decisiones estratégicas, tanto en el ámbito privado como en el público, suelen requerir grandes cantidades de recursos para su ejecución, y típicamente tienen carácter irreversible, siendo muy difícil recuperar los montos invertidos en un proyecto estratégico cuyos resultados no fueron los esperados. Por ejemplo, construir una planta de producción en un lugar donde posteriormente se identifique que los costos logísticos de tal localización son muy altos, no da pie a pensar en que se pueda vender fácilmente la planta ya construida, o que pueda moverse a otra locación geográfica donde resulte más adecuada. Sin embargo, a pesar del tamaño de las inversiones requeridas y su carácter irreversible, las organizaciones siguen tomando sus decisiones con base en el análisis costo – beneficio, y sólo en algunos casos usando alguna aproximación al análisis de riesgo financiero. Los indicadores más conocidos y usados en la valoración de proyectos, de acuerdo con J. Lohmann, S. Baksh [1], B. White, G. Smith [2], son el Periodo de Pago, el Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno. Para el cálculo de estos u otros indicadores, lo que normalmente se hace es asumir un caso o escenario

base para el proyecto en consideración, proyectando mediante algún esquema de pronóstico los valores de los parámetros críticos, y obteniendo entonces un valor para el indicador, que orienta sobre la bondad del proyecto. Sin embargo, para los proyectos reales, que involucran decisiones estratégicas, no resulta fácil proyectar valores, puesto que están sujetos a un alto grado de incertidumbre, que hace que cualquier escenario futuro previsto no sea más que una apuesta, entre un amplio conjunto de escenarios posibles, algunos de los cuales harán viable el proyecto, mientras que en otros su desempeño sería inadecuado respecto a las expectativas. Los mismos autores en su trabajo señalan algunos de los errores más comunes que se cometan al utilizar los llamados criterios tradicionales en el análisis de proyectos de inversión en condiciones de incertidumbre, en particular cuando se prefieren proyectos con periodo de recuperación más corto.

Como mencionan Ye y Tiong [3], los dos métodos generales más usados para considerar el riesgo inherente en un proyecto son la tasa de descuento ajustada por riesgo, y la consideración de las compensaciones adecuadas entre riesgo y retorno esperado. En el primer caso, lo que se

hace es ajustar la tasa de retorno mínima exigida por los inversionistas, de modo que el ajuste refleje el riesgo al que se exponen al hacer parte de un proyecto, en tanto el segundo método intenta hacer una medición del riesgo esperado, y según ello, calcular la compensación mínima exigida para aceptar el nivel dado de exposición al riesgo. Ambos casos suponen que se construye un flujo de caja del proyecto, y que ese ejercicio se hace para un número adecuado de períodos futuros, según la naturaleza del proyecto. Esta última suposición también puede ser muy discutida, puesto que en los proyectos estratégicos se deben considerar largos períodos de tiempo, que hacen que los ejercicios de pronóstico sean más complicados, y además, la misma longitud del período de análisis puede ser de naturaleza incierta. Para el caso de la consideración de las compensaciones adecuadas entre riesgo y retorno esperado, se critica la dificultad inherente en la estimación de la desviación esperada sobre los factores de riesgo que se cuantifican como parte del proceso de valoración del proyecto, mientras que en el caso de la tasa de retorno ajustada, se critica la carencia de un nivel de confianza dado para el cálculo de la tasa. En cualquiera de los dos casos, también se sugiere que se tenga en cuenta los elementos de financiación del proyecto, es decir, fuentes y costos de uso de los recursos que efectivamente se utilizarían en el desarrollo del proyecto.

El artículo aborda el problema de valorar económicamente un proyecto real que está sujeto a condiciones de riesgo en al menos un subconjunto de parámetros críticos, lo cual se hace a partir de la mejora del indicador tradicional de evaluación, VPN. Se persigue entonces la construcción de un indicador más robusto, que incorpora en su cálculo la variabilidad inducida sobre el indicador de desempeño económico. Inicialmente se hace una descripción de las metodologías existentes para abordar el problema, caracterizando las falencias que son susceptibles de atacar para mejorar el panorama de toma de decisiones. Se revisa literatura previa en la que ha sido abordado el problema, y se aborda posteriormente el dise-

ño del indicador que se constituye en el resultado principal del artículo. El uso del indicador se ilustra mediante dos casos, uno hipotético sobre selección de tecnología y un caso real de renovación de plantaciones de caña de azúcar.

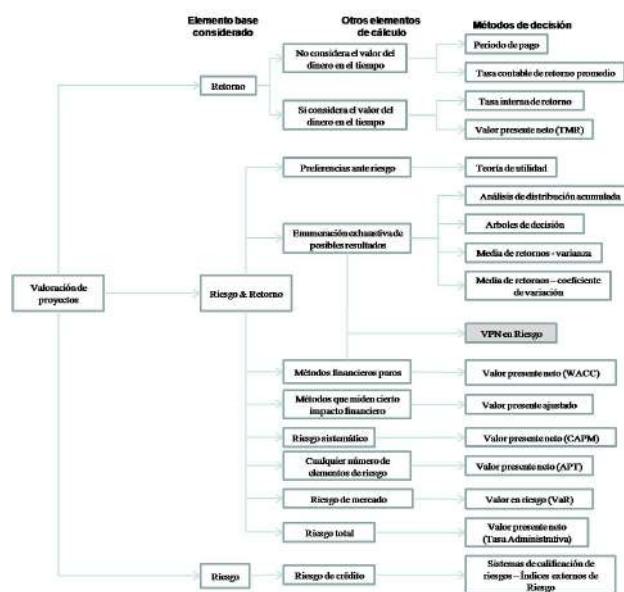
## **Metodologías de valoración económica de proyectos**

La práctica común en evaluación de proyectos hoy en día, considera la incorporación del riesgo, mediante elementos como la tasa de descuento, a partir de modelos derivados de la teoría de gestión de portafolios. Autores como Ye y Tiong [3] proponen una clasificación en tres categorías de los métodos usados para la valoración de proyectos: métodos basados en el retorno esperado, métodos basados en el riesgo al que se exponen los proyectos, y métodos que consideran al tiempo el riesgo y el retorno esperado. Tal clasificación de primer nivel, en conjunto con otros elementos de valoración de proyectos, da lugar a la figura 1.

Los métodos basados en la consideración del retorno se dividen a su vez según incorporen o no el valor del dinero en el tiempo dentro de su cálculo. En cualquiera de los dos casos parten de la construcción de un escenario para el proyecto, el más probable, y se supone que los valores estimados en tal escenario tienen característica de certeza. Según el Periodo de Pago, se prefiere aquellos proyectos con un período de pago más corto; para la Tasa de Retorno Contable y la Tasa Interna de Retorno, se determina que un proyecto es viable si su correspondiente indicador es mayor que un valor mínimo de referencia dado por el inversorista; según el VPN, un proyecto es factible si este indicador es igual o mayor que cero.

Por otra parte, los métodos que consideran únicamente el riesgo dan lugar a la creación de sistemas de puntajes e índices, de modo que una inversión se contrasta contra una escala predeterminada por una autoridad certificada, y entonces se juzga sobre su bondad económica. Los índices de compañías como Standard&Poors y Moody's, dominan el mercado, para efectos de calificación de títulos valores y emisores de los mismos. Una

inversión se clasifica según los índices mencionados u otros similares, y considerando el perfil de riesgo del inversor se decide entonces si valdría la pena invertir o no. Sin embargo, por una parte los índices han sido diseñados para considerar únicamente el riesgo de crédito y además, dan cuenta de la calidad de una inversión, más no del grado en que tal inversión es atractiva para un inversionista.



**Figura 1** Clasificación de Metodologías para el Análisis de Proyectos

Fuente: Ye y Tiong (2000)

El primer conjunto de métodos de valoración que apuntan a la consideración simultánea de retorno y riesgo está compuesto por aquellos que calculan indicadores de bondad económica incluyendo una tasa de descuento ajustada según el nivel de exposición al riesgo. Se incluye el modelo CAPM (*Capital Asset Pricing Model*), el modelo APT (*Arbitrage Pricing Theory*) y el modelo WACC (*Weighted Average Cost of Capital*). Cualquiera de ellos se orienta en la determinación de una tasa de descuento adecuada, en cuyo cálculo se incluya aquellos elementos del proyecto que resultan riesgosos respecto a la generación de los resultados esperados por los inversionistas. Se asume en ellos que la tasa de descuento usada

en un proyecto debe partir de un valor llamado tasa libre de riesgo, que se supone es la tasa de mercado que un inversionista podría ganarse con los instrumentos más seguros, tales como los títulos de tesorería estatales, y que a esa tasa libre de riesgo se adiciona una prima por riesgo, cuya forma de cálculo varía según el método, pero que se supone es una expresión que cubre los elementos inciertos en la realización del proyecto. En cualquier caso, se critican tales métodos porque no proveen un nivel de confianza asociado a la determinación de la tasa ajustada. Eschenbach y Cohen [4], presentan un detallado trabajo sobre los diferentes métodos de estimación de la tasa de descuento para los flujos de un proyecto. Al respecto, estos dos autores describen la utilización de criterios como el costo promedio ponderado de capital marginal, el costo de oportunidad derivado del análisis de opciones de inversión alternativas con riesgo equivalente y la tasa ajustada por nivel de riesgo.

Otro esquema de valoración de proyectos, que considera al tiempo riesgo y retorno, acude a la probabilidad y al análisis estadístico. De ello resulta la construcción de árboles de decisión, métodos de media – varianza y de coeficiente de variación del retorno esperado, y análisis de las distribuciones de probabilidad acumulada. Los árboles de decisión producen un promedio ponderado de los posibles retornos, siendo las ponderaciones la probabilidad de ocurrencia de cada retorno. En tal sentido, la metodología de árboles ignora la distribución y dispersión de los retornos esperados. Los métodos de media – varianza y de coeficiente de variación esperado, miden el retorno y el riesgo asociado a él, de forma separada. El valor esperado del retorno se considera un buen indicador que específicamente representa un proyecto, y su desviación respecto al valor esperado del retorno, se considera una medida del riesgo inherente del proyecto. Así como está definido, el método tiene dificultades en sugerir un grado de desviación adecuado para que el inversionista se sienta cómodo con la decisión de inversión. Por último, el cálculo de las distribuciones acumuladas permite comparar parejas de alternativas,

determinando con qué probabilidad una supera a la otra en el logro de un cierto valor mínimo sugerido por el inversionista.

El método siguiente de valoración está asociado a la teoría de utilidad, incluyendo los modelos de utilidad esperada y generalizado de utilidad esperada. El primer caso supone una normalización en los pesos relativos que se confieren a cada función de utilidad, de modo que la suma de tales ponderadores sea 1, en tanto el modelo generalizado no parte de tal suposición. La utilidad esperada se calcula como el promedio ponderado de las utilidades que se obtienen en cada posible configuración de salida del modelo de valoración del proyecto, donde las ponderaciones corresponden a la probabilidad de ocurrencia de cada configuración. Este método se ve afectado por la construcción subjetiva de las funciones de utilidad, que dependen a su vez del perfil de riesgo del inversionista.

La incorporación de indicadores valoración financiera en el análisis de decisiones operacionales es un tema que viene siendo ampliamente tratado en la literatura. Por ejemplo, a nivel de decisiones sobre gestión de operaciones y logística, se pueden citar los trabajos de Bulinskaya [5] que integra los sistemas de control de inventarios y las políticas de inversión de una compañía. Por otra parte Grubbström [6], presenta una interesante aplicación del criterio de valor presente neto para evaluar el nivel de inventarios de seguridad en un proceso de planeación de producción, y a su turno Hill y Pakkala [7] desarrollan un modelo de flujo de caja descontado para analizar diferentes modelos de control de inventarios en una empresa industrial. Generalmente las políticas de control de inventarios, han sido evaluadas desde la óptica de los costos de tenencia y de gestión del inventario. Las técnicas de valoración fundamentadas en el descuento de flujos de caja han sido utilizadas en el ámbito de decisiones de carácter más estratégico, sin embargo, los autores mencionados, utilizan la potencialidad de los indicadores de evaluación tradicionales en decisiones de nivel táctico y operativo relacionadas con el control de los inventarios de materia prima y producto terminado en empresas industriales.

El Valor en Riesgo (VaR) citado por Jorion [8], y los métodos de valoración de proyectos que lo usan, proveen un criterio de decisión y además un nivel de confianza, de modo que es un buen punto de partida. Sin embargo, los sistemas VaR fueron desarrollados en principio para la consideración de los riesgos del mercado [9-11], y posteriormente sí fueron extendidos para incorporar otro tipo de riesgos presentes en un proyecto, tales como el riesgo de crédito, riesgo de liquidez, entre otros. A su vez, el Valor Presente Ajustado (VPA) aparece como un indicador que puede medir el efecto de los elementos de riesgo sobre la estructura financiera, para lo cual analiza cada uno de los elementos generadores de valor por separado y luego sí acumula sus impactos. Sin embargo, el VPA no provee un nivel de confianza.

El uso de indicadores de medición de riesgo financiero a nivel de decisiones de operación es un tópico relativamente más reciente que el relacionado con la incorporación de criterios de desempeño o evaluación financiera de proyectos. A nivel de gestión de inventarios, se pueden citar los trabajos de Luciano, Peccati y Cefarelli [12] y Tapiero [13] quienes proponen de manera específica la aplicación de criterios como el valor en riesgo en el análisis de decisiones relacionadas con el nivel óptimo de inventarios de una firma.

### **Desarrollo del Indicador VPN en Riesgo**

Autores como Vlek y Stallen [14], presentan seis definiciones sobre el riesgo en las decisiones organizacionales, entre las cuales se destaca aquella que lo define como la semivarianza de la distribución de todas las consecuencias, tomando solo las consecuencias negativas con respecto a un valor de referencia adoptado. La semivarianza sola, no es suficiente como medida de riesgo para analizar una decisión, pero si se combina con el VPN esperado puede constituir un criterio de decisión. Un proyecto será factible si el VPN esperado menos la desviación estándar del VPN del proyecto es mayor que cero. Sin embargo esta regla de decisión no considera el nivel de confianza que desea tener quien toma la decisión.

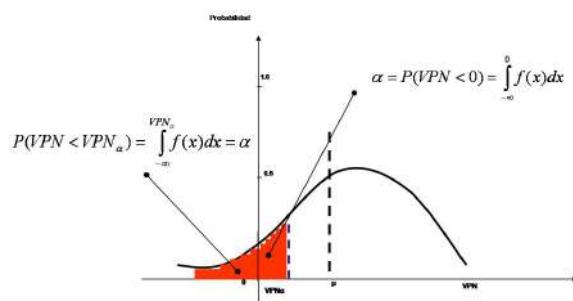
En este sentido Ye y Tiong sugieren que para analizar el riesgo de un proyecto de inversión, podría adoptarse la lógica del indicador de medición de riesgo financiero conocido como el valor en riesgo, VaR. El valor en riesgo define la máxima pérdida esperada en un portafolio de activos financieros dado un cierto nivel de confianza. De manera análoga para un proyecto podría definirse un valor presente neto en riesgo (VPN en riesgo), como un posible resultado del VPN del proyecto dado un cierto nivel de confianza, es decir el mínimo VPN esperado de un proyecto con un cierto nivel de confianza. Nótese que a pesar de compartir la misma lógica, hay diferencia entre el VaR y el indicador que se propone, VPN en Riesgo. El VaR es una medida del máximo cambio potencial en el valor de un portafolio de instrumentos financieros (aunque podría acuñarse perfectamente un portafolio de proyectos reales, sin pérdida de generalidad), con una probabilidad dada sobre un horizonte de tiempo conocido; el VPN en riesgo, en cambio, es una medida de la riqueza mínima esperada de un proyecto dado un cierto nivel de confianza. De acuerdo con Cruz [15], el riesgo puede medirse como la distancia entre el valor presente estimado a una tasa libre de riesgo, y el valor presente utilizando una tasa que incluya una prima por riesgo. Esta aproximación sugiere que el riesgo en un proyecto, puede estimarse a partir de la medición del menor valor del proyecto dada la presencia de riesgo sistemático, el cual no es posible eliminar incluso en portafolios bien constituidos.

En otras palabras, el VPN en riesgo de un proyecto podría definirse como el valor para el cual el  $\alpha$  % de los posibles valores del VPN es menor y el  $1-\alpha$  % es mayor. El cálculo del VPN supone la adopción de una tasa de descuento apropiada, además del cálculo de una función de distribución del VPN esperado, y con ello, una función acumulativa de probabilidad. De los varios modelos para determinación de una tasa de descuento, se prefiere el modelo WACC, puesto que en su cálculo sólo se considera una estructura de financiación que partitiona las fuentes de fondos que son requeridos por el proyecto, y se asocia a cada

una su respectiva tasa de financiación, que para el proyecto se convierte en el costo de uso de los recursos externos. El WACC pondera las diferentes tasas de financiación, según el peso relativo de cada fuente de fondos respecto al total de inversión requerida para dar inicio al proyecto, usando como ponderadores los valores de mercado de las fuentes de financiación.

El uso del VPN en Riesgo como criterio de decisión supone dos perspectivas de análisis: un proyecto sería aceptable, calificado como factible con un nivel de confianza igual a  $1-\alpha$ , si el valor del VPN en riesgo para ese nivel de confianza es igual o mayor que cero; análogamente, el proyecto se considera aceptable si el nivel de confianza calculado para un valor del VPN en Riesgo igual a cero, resulta ser mayor o igual que el nivel de confianza predeterminado por el decisor.

De acuerdo con los requerimientos del criterio de decisión, y según se enunció la interpretación, existen dos aproximaciones posibles. La primera es calcular el VPN dado un cierto nivel de confianza ( $VPN_\alpha$ ) y la segunda es calcular el nivel de confianza ( $\alpha$ ) para un valor presente neto igual a cero. Asumiendo que la función de densidad de probabilidad del proyecto es  $f(VPN)$ , el VPN en riesgo del proyecto dado un cierto nivel de confianza  $\alpha$  se puede definir como el área bajo la curva entre  $-\infty$  y  $VPN_\alpha$ . Por otra parte el nivel de confianza para un  $VPN=0$  se puede obtener mediante la integración entre  $-\infty$  y cero (0) sobre la función de densidad de probabilidad (Figura 2).



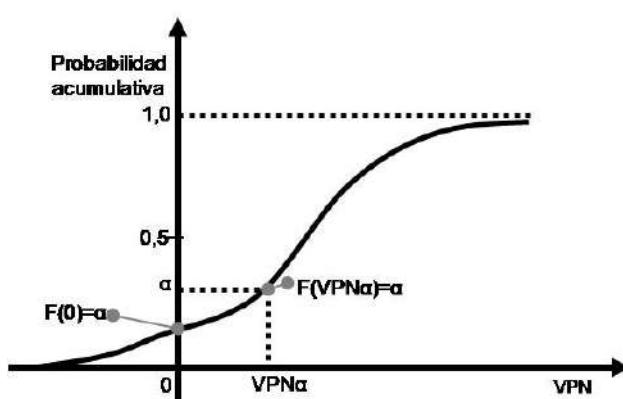
**Figura 2** Estimación del VPN en riesgo y el nivel de confianza a partir de la función de distribución

Si el Valor Presente Neto del proyecto se distribuye normalmente, el VPN en riesgo se puede obtener mediante el método de media – varianza. En este caso, el VPN en riesgo puede calcularse mediante la diferencia entre la media y un múltiplo de la desviación estándar.

$$VPN \text{ en riesgo} = VPN \text{ medio} - Z(\alpha) \cdot \sigma$$

$Z(\alpha)$  = Número de unidades de la desviación normal estándar que corresponden al nivel de confianza  $\alpha$ , por ejemplo para un nivel de confianza del 95%,  $Z(\alpha) = 1.65$ .

De manera alternativa, asumiendo que la función de distribución acumulativa del proyecto es  $F(VPN)$ , el VPN en riesgo para un nivel de confianza  $\alpha$  y el nivel de confianza para  $VPN = 0$  puede obtenerse mediante el análisis de percentiles (Figura 3).



**Figura 3** Estimación del VPN en riesgo y el nivel de confianza a partir de la función de distribución acumulativa de probabilidad

Si no se conoce la función de distribución de los VPN's del proyecto, ni la función de distribución acumulativa, puede utilizarse la simulación Monte Carlo con el fin de generar la posible distribución de este indicador. Mediante esta técnica se pueden generar múltiples escenarios del VPN del proyecto a partir de diferentes muestras que se toman para las variables de entrada definidas mediante una función de distribución dada o ajustada a partir de datos históricos. El proceso de generación se puede repetir tantas veces

como se considere necesario. Los resultados obtenidos  $VPN_1, VPN_2, \dots, VPN_n$  se pueden ordenar en forma ascendente y de esta manera obtener la función de distribución acumulativa. La función de distribución puede ser estimada a partir de la distribución empírica:

$$F_n(VPN) = \frac{(\#VPN_i \leq VPN)}{n}$$

La cual corresponde a la frecuencia relativa del  $VPN$ , donde  $\#VPN$  es el número de resultados del  $VPN_i$  obtenidos de la simulación que son menores que un valor de  $VPN$  específico.

Por lo tanto el VPN en riesgo para un nivel de confianza dado puede ser calculado mediante el percentil correspondiente:

$$F_n^{-1}(\alpha) = VPN_\alpha$$

El nivel de confianza para que el  $VPN = 0$  se puede calcular mediante la probabilidad de que el  $VPN$  sea menor o igual a cero  $P(VPN \leq 0)$ , es decir,  $F_n(0) = \frac{(\#VPN \leq 0)}{n}$

#### Caso: Problema de selección de tecnología

Para ilustrar la aplicación del concepto de Valor Presente Neto en Riesgo, se ha desarrollado un caso hipotético de selección del tipo de tecnología que sería usada en una planta de producción de fertilizantes. Los flujos de caja de este proyecto se obtienen a partir de los siguientes parámetros: la inversión media es de \$300 millones de pesos, dicha inversión se ejecuta en el transcurso de los tres primeros años, tal como se indica en la Tabla 1; la capacidad instalada de producción es de 700 kilogramos por día; la demanda estimada para los diez (10) años del proyecto equivale al 80% de la capacidad instalada y se mantiene constante durante el periodo de análisis; el precio promedio de venta es 70 pesos por kilogramo. Se asume que la planta operará 365 días al año, durante 24 horas diarias.

En materia tributaria, se asume una tasa de impuesto a la renta del 35%, la cual es aplicable a la utilidad antes de impuestos. El costo prome-

dio del capital (*WACC*) que se compromete en este tipo de inversiones se ha estimado en un 8% anual.

**Tabla 1** Flujo de caja del proyecto – Escenario base

Año	Inversión	Ingresos	Cost. Op&Mtto	Util. Oper.	Impuestos	Flujo Caja Libre
0	\$ 75,00					-\$ 75,00
1	\$ 75,00					-\$ 75,00
2	\$ 75,00					-\$ 75,00
3	\$ 75,00					-\$ 75,00
4		\$ 343,39	\$ 120,19	\$ 223,20	\$ 78,12	\$ 145,08
5		\$ 343,39	\$ 120,19	\$ 223,20	\$ 78,12	\$ 145,08
6		\$ 343,39	\$ 120,19	\$ 223,20	\$ 78,12	\$ 145,08
7		\$ 343,39	\$ 120,19	\$ 223,20	\$ 78,12	\$ 145,08
8		\$ 343,39	\$ 120,19	\$ 223,20	\$ 78,12	\$ 145,08
9		\$ 343,39	\$ 120,19	\$ 223,20	\$ 78,12	\$ 145,08
10		\$ 343,39	\$ 120,19	\$ 223,20	\$ 78,12	\$ 145,08

Existe la posibilidad de afrontar este proyecto con diferentes tipos de tecnología que conllevan diferentes niveles de incertidumbre sobre los parámetros de evaluación. Para presentar los niveles de incertidumbre se ha recurrido al concepto de coeficiente de variación, que se estima mediante la relación entre la desviación estándar de una variable y su valor esperado. En la medida en que este indicador se aproxime a 1, o sea mayor que 1, se interpreta que el grado de dispersión de los datos en torno al valor medio de la variable en análisis es mucho mayor. En la tabla 2 se presentan los parámetros del proyecto, incluyendo la incertidumbre asociada a cada tipo de tecnología. Posteriormente, se procede a simular 1000 escenarios, considerando los parámetros de valor esperado y desviación asociados a cada coeficiente de variación.

Para efectos del ejemplo se asumió que las variables claves a simular son el valor de la inversión,

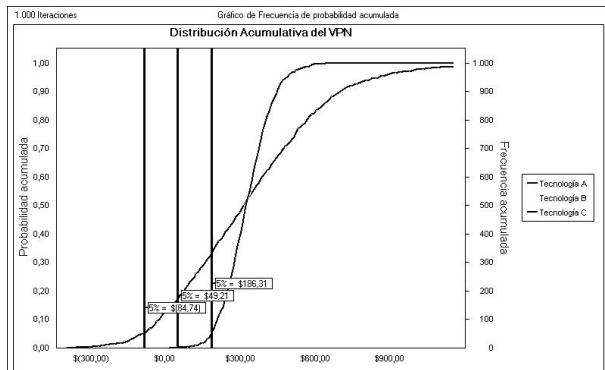
la capacidad utilizada, el precio de venta y los costos de operación y mantenimiento. Estos últimos se presentan como un porcentaje respecto a los ingresos esperados.

Los resultados obtenidos de la simulación para cada una de las tecnologías se presentan en las figuras 4 y 5. La figura 4 muestra las gráficas de distribución acumulativa del VPN, indicando además el VPN en riesgo, calculado en cada caso para un nivel de confianza del 95%. La figura 5 muestra la distribución de la variable analizada en cada escenario, el VPN del proyecto. La siguiente ecuación ilustra el cálculo del VPN, tomando los datos de flujo de caja del escenario base:

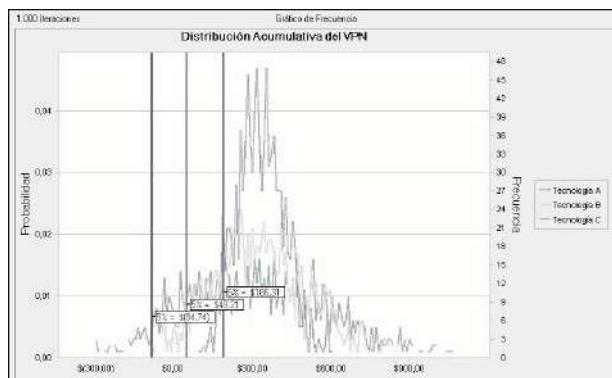
$$\begin{aligned} VPN = & -75 + \frac{-75,0}{(1+8\%)} + \frac{-75,0}{(1+8\%)^2} + \\ & \frac{-75,0}{(1+8\%)^3} + \frac{145,08}{(1+8\%)^4} + \dots + \frac{145,08}{(1+8\%)^{10}} \end{aligned}$$

**Tabla 2** Definición de variables y factores de riesgo

Variable	Distribución Asumida	Media Estimada	Planta Tecnología A		Planta Tecnología B		Planta Tecnología C	
			$\sigma/\mu$	$\sigma$	$\sigma/\mu$	$\sigma$	$\sigma/\mu$	$s$
Inversión		300 \$MM	0,10	30 \$MM	0,20	\$60MM	0,30	\$90MM
Capacidad Usada		80%	0,10	8%	0,20	16%	0,30	24%
Precio de venta	Normal ( $\mu, \sigma^2$ )	70 \$/Kg	0,10	7	0,20	14	0,30	21
Costos de Operación y Mantenimiento		35% de ingresos	0,10	3,5%	0,20	7%	0,30	10,5%



**Figura 4** VPN Acumulado – VPN en Riesgo: Tecnologías A, B y C



**Figura 5** Distribución del VPN del proyecto para cada tecnología

De la figura 4 se observa que si se define el VPN en Riesgo para un nivel de confianza del 95%, correspondiente al percentil 5, la tecnología que se debe seleccionar es la A, ya que su VPN en Riesgo es \$186,31, mientras que la tecnología B tiene un VPN en riesgo de \$49,21 y la tecnología C de -\$84,74, que además indicaría la no factibilidad de la tecnología C. Recuérdese que el VPN en riesgo indica el valor más pequeño del VPN que se esperaría con un 95% de confianza. Para la tecnología A, por ejemplo, el VPN en Riesgo calculado indica que, en el 95% de los escenarios, el VPN fue igual o superior a \$186,31.

En la tabla 3, se presentan los criterios de decisión utilizados y las respectivas interpretaciones en relación con el tipo de tecnología a seleccionar.

Obsérvese que si la decisión se toma luego de analizar el valor promedio del VPN para cada tipo de tecnología, incluso si dicho valor promedio se obtiene luego de un proceso de simulación de varias corridas, como es el caso de los valores medios reportados en la tabla 3, el decisor realmente enfrentaría un proceso de selección en el cual el indicador no es de mucha ayuda, pues los valores medios son muy cercanos entre sí, lo cual podría generar que, en un corrida diferente que se realice para propósitos de comparación, el orden de bondad de los proyectos se altere.

**Tabla 3** Criterios de decisión - Alternativas tecnológicas

Criterio de Decisión	Tecnología A	Tecnología B	Tecnología C	Decisión
VPN (8%)	\$331,34	\$331,34	\$331,34	Con los criterios tradicionales la incertidumbre no es determinante,
TIR	26,51%	26,51%	26,51%	
VPN medio -varianza	$\mu= 336,30$ $\sigma=94,99$	$\mu= 329,84$ $\sigma=195,28$	$\mu= 323,40$ $\sigma=287,31$	Todas las tecnologías presentan VPN positivo, lo cual indica factibilidad, pero la decisión depende de la percepción de la relación riesgo retorno (función de utilidad del tomador de la decisión),
Coeficiente de variación	$\sigma/\mu=0,28$	$\sigma/\mu=0,59$	$\sigma/\mu=0,88$	
VPN en Riesgo (Nivel de confianza del 95%)	186,31	49,21	-84,74	Con este criterio la tecnología C no es factible y el mayor VPN lo tiene la tecnología A,
Nivel de Confianza para VPN=0	0%	2,76%	10,94%	De nuevo, el proyecto C sería inaceptable porque el nivel de confianza resultante es superior al establecido por el decisor (5%), A y B serían aceptables, se prefiere A,

### **Caso de aplicación renovación de cultivos en la industria azucarera colombiana**

Con el fin de contrastar empíricamente el uso del indicador propuesto, se ha tomado un conjunto de datos relativos al problema de renovación de una plantación de caña de azúcar en el Valle del Cauca, a partir de información suministrada en el marco de un proyecto de investigación financiado el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (CENICAÑA).

#### *Descripción del problema*

Los ingenios azucareros y los cultivadores de caña se enfrentan periódicamente a la decisión de continuidad del cultivo por un ciclo adicional de producción, o bien, la renovación completa del mismo, con la consecuente inversión en actividades de adecuación, preparación y siembra. La decisión de renovación implica también seleccionar una variedad de caña apropiada a las condiciones

particulares de la zona de cultivo. No existe una regla, ni empírica ni formal, de general aceptación entre los cultivadores, sobre el momento óptimo de renovación de un cultivo de caña, es decir, cuál es el número óptimo de cosechas que deberían obtenerse antes de iniciar un nuevo ciclo productivo, con el fin de maximizar algún indicador de desempeño.

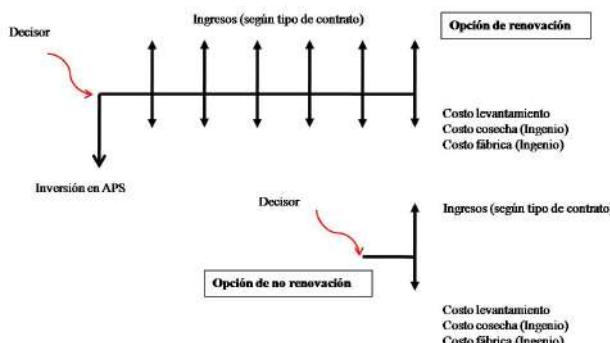
Uno de los aspectos fundamentales que incide directamente en la rentabilidad del inversionista es la adopción de variedad [16], con el fin evaluar la contribución de cada una de ellas a la productividad de la plantación.

Así mismo mediante la aplicación de conceptos económicos tradicionales, el problema de renovación ha sido abordado por Salassi and Breaux [17], para establecer el número óptimo de cosechas para las dos mejores variedades producidas en cierta zona de producción.

A nivel nacional, la aproximación más cercana al análisis económico de la renovación de caña

de azúcar, se consigna en el modelo desarrollado por Daza y Luna [18]. La metodología de evaluación del modelo consiste en analizar siete escenarios que consideran el número óptimo de cortes para la renovación de cultivos, considerando la tasa de reducción de la producción por corte y asumiendo ciclos de producción perpetuos, modelados mediante estructuras tipo gradiente, es decir, flujos que decrecen geométricamente a tasas constantes. Otro modelo desarrollado recientemente, Gaviria y Perea [19] incorpora la técnica conocida como simulación de Monte Carlo en el análisis de decisiones de renovación de cultivos de caña de azúcar en el Valle del Cauca.

En la figura 6 se ilustra la decisión fundamental de extender el cultivo por una cosecha (corte) más, o renovarlo completamente, y dar inicio a un nuevo de producción, lo cual implicaría realizar una inversión inicial por concepto de adecuación y preparación de la tierra y siembra de la nueva plantación. En la figura se observan los flujos de ingreso en cada opción de decisión, que dependen de la productividad del cultivo, medida a partir de dos indicadores base: las toneladas de caña que se obtienen por hectárea (TCH) y el rendimiento comercial (RDTO), que se refiere a la proporción de azúcar que se obtiene al procesar una tonelada de caña. A su vez, el TCH y el RDTO dependen de varias condiciones: variedad sembrada, condiciones del terreno y del clima (variables agroecológicas), técnicas de cultivo y número de cosecha de la plantación en cada ciclo, entre otras.



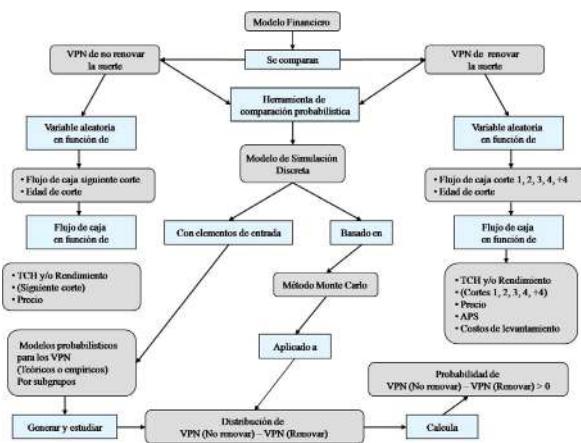
**Figura 6** Esquema del modelo de decisión de renovación

### Caracterización de variables de entrada

Los parámetros del caso de aplicación han sido obtenidos a partir de análisis de datos consignados en la Base de Datos Comercial del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (CENICAÑA), la cual se alimenta de información suministrada directamente por los ingenios y cultivadores asociados al centro de investigación. En el modelo desarrollado se ajustan distribuciones de probabilidad para las variables críticas (TCH y RDTO), filtradas teniendo en cuenta las siguientes características: zona agroecológica del cultivo, variedad sembrada, mes de cosecha esperado, edad de cosecha esperada, número de corte del cultivo. Estas características son las que se han considerado más relevantes en la definición del valor real de las variables críticas, y consecuentemente determinantes del flujo de ingreso de cada alternativa.

### Metodología general del modelo de decisión

En la figura 7 se muestra en detalle la metodología de soporte a la decisión de renovación, en la cual se destaca como variable de salida la distribución de probabilidad de la diferencia entre el VPN de la opción de renovación, y el mismo indicador para la opción de mantener el cultivo, teniendo en cuenta la incertidumbre asociada a las variables de entrada.



**Figura 7** Mapa conceptual del modelo de decisión

## Resultados

En las tablas 4, 5 y 6 se observan los resultados obtenidos al realizar la simulación del flujo de cada de las opciones de renovación y no renovación. En particular, la tabla 5 ilustra algunos valores monetarios que son requeridos para la estructuración del flujo de caja, la tabla 6 muestra el flujo de caja de ambas opciones, para 5 períodos futuros en cada caso, así como el flujo marginal que compara las dos opciones de decisión. En todos los casos, los resultados se obtienen usando una herramienta de simulación Monte Carlo, desarrollada en Visual Basic para aplicaciones, específicamente la hoja de cálculo EXCEL™.

En la tabla 6 se observa el VPN marginal promedio (VPN Renovar – VPN NO Renovar), considerando que se hiciera la comparación para 1, 2, y hasta 5 cortes. Además, se presenta la probabilidad asociada a la ocurrencia de VPNs marginales positivos, que señalarían la conveniencia de renovar el cultivo en el corte correspondiente. Del análisis de la tabla 6, se desprende de manera implícita la longitud óptima de un ciclo de renovación de cultivos. Por ejemplo, si se decidiera renovar y mantener el cultivo nuevo por tres cortes, existe una probabilidad del 90% de que tal decisión genere un VPN mayor que el que generaría la opción de mantener el cultivo por el mismo número de cortes. Esta probabilidad puede lucir atractiva ya que a pesar de la incertidumbre en las variables de entrada, existe una alta posibilidad de acierto en la decisión de renovación. En la misma tabla se observa que renovar y mantener los cultivos por un corte presenta una probabilidad de acierto, en la decisión de renovación, de apenas el 26%.

En los dos casos desarrollados, la metodología de decisión se orienta hacia la inclusión del criterio denominado VPN en riesgo, mediante la consideración explícita de la incertidumbre propia de las variables estudiadas, en el contexto de dos decisiones típicas en la evaluación de proyectos. En el primer caso, haciendo referencia a los procesos de selección de tecnología, cuando las opciones

tecnológicas, en este caso mutuamente excluyentes, incorporan niveles de riesgo diferentes en aspectos como beneficios, costos e inversiones. En el segundo caso, a partir de la información suministrada es posible caracterizar y simular la productividad de diferentes variedades de caña bajo distintas condiciones de producción. Desde el punto de vista teórico, el tipo de decisión analizada a la luz del indicador propuesto, hace referencia a los problemas de reemplazo de activos, con beneficios y costos inciertos.

**Tabla 4** Información Económica requerida

Información Económica	
Costo de adecuación (\$/HA)	500.000
Costo de operación (\$/HA)	500.000
Costo de Siembra (\$/HA)	500.000
Costo de levantamiento (\$/HA)	1.800.000
Tasa mín. de retorno (EA)	16,00%
\$ TN de Azúcar	700.000
Tiempo de retraso (meses)	0
Inflación esperada (EA)	4,00%
Kg de Az/TN de Caña	58,00
Tasa Real Efectiva Anual	11,50%

## Conclusiones

Se ha revisado literatura que sugiere la valoración de proyectos reales incluyendo los elementos del entorno y de cada proyecto que tienen características de riesgo, identificando varios métodos que acometen tal valoración. En general se tiene métodos orientados al cálculo de los retornos esperados, así como métodos orientados al cálculo del riesgo implícito en los procesos que se supone generan tales retornos esperados. Varios métodos han intentado combinar las dos perspectivas, resultando en indicadores más confiables y precisos sobre la bondad de un proyecto, algunos de los cuales se han descrito en la sección 2 de este documento.

**Tabla 5** Resultados de una corrida de simulación

<b>Construcción del Flujo de Caja</b>						
	Hoy	Plantilla	Soca 1	Soca 2	Soca 3	Soca 4
<b>TCH Renovar</b>		153,05	148,52	161,55	141,48	163,44
<b>RDTO Renovar</b>		12,67%	12,38%	13,26%	12,13%	12,89%
	Hoy	Soca 9	Soca 10	Soca 11	Soca 12	Soca 13
<b>TCH Renovar</b>		118,51	116,16	113,85	111,59	109,38
<b>RDTO Renovar</b>		12,20%	12,10%	11,90%	11,70%	11,50%
<b>FCN Renovar</b>	-1.500.000	4.413.975	4.229.886	4.759.113	3.943.893	4.835.641
FCN NO Renovar	-	3.011.506	2.916.037	2.822.462	2.730.744	2.640.846
VPN Marginal	-	259.429	768.286	2.107.891	2.850.172	4.037.707

**Tabla 6** VPN Marginal promedio y Probabilidad(VPN Marginal >0)

<b>Comparación de Opciones</b>	<b>P(VPN Marg&gt;0)</b>
VPN Ren. Vs. NO Ren. 1 Corte	-\$ 399.347
VPN Ren. Vs. NO Ren. 2 Corte	\$ 663.543
VPN Ren. Vs. NO Ren. 3 Corte	\$ 1.478.654
VPN Ren. Vs. NO Ren. 4 Corte	\$ 2.272.687
VPN Ren. Vs. NO Ren. 5 Corte	\$ 2.961.027

Algunos indicadores del riesgo implícito en un portafolio de activos financieros han sido usados como punto de partida para crear valoraciones del riesgo al que se expone un proyecto del sector real. En particular, el VaR ha sido el indicador base que ha servido para construir el indicador VPN en Riesgo. Dados un nivel de confianza y un horizonte de tiempo para la proyección del flujo de caja de un proyecto del sector real, además de la identificación de las variables críticas

del proyecto y de algún esquema de representación para ellas (una función de probabilidad), se procede a usar un esquema de simulación Monte Carlo para generar la posible distribución del VPN del proyecto.

El VPN en Riesgo se define como el valor esperado más pequeño que se tendría para el VPN con un cierto nivel de confianza, de modo que si ese valor resulta ser mayor que CERO, entonces el proyecto resultaría factible, con una probabilidad dada por el nivel de confianza. Este indicador es mucho más robusto que la sola utilización del VPN medio, pues este último puede terminar por ocultar la variabilidad o dispersión de los parámetros críticos. De hecho, la comparación de varios escenarios sobre un mismo proyecto, en los cuales se mantiene los valores medios de los parámetros críticos, pero se varía su dispersión, ilustra el caso de muy buena manera. Con base en el valor medio del VPN, un decisor no tendría elementos diferenciales que le permitan optar por una u otra opción. El grado de preferencia por cada alternativa sería básicamente el mismo, aunque los resultados reales podrían ser bien di-

ferentes, como se ha ilustrado en los escenarios del caso de ejemplo.

Si la decisión se orienta usando el VPN en Riesgo, en cambio, se puede diferenciar cada alternativa, pues al contrario del valor medio, que resulta muy estable, la dispersión del VPN varía en cada caso, de modo que el VPN en Riesgo permite identificar aquellas alternativas que pueden resultar en pérdida, con mayor probabilidad. Además, es destacable que el indicador tenga en cuenta el perfil de riesgo del decisor, mediante la selección de un nivel de confianza. Un decisor que guste de correr riesgos puede estar satisfecho con la factibilidad de un proyecto con un 50% o 60% de probabilidad, en tanto alguien con aversión al riesgo usaría un nivel de confianza del 95% o superior.

Otra de las ventajas destacadas de utilizar medidas como el VPN en riesgo es que se podrían comparar los riesgos de un proyecto en términos de las pérdidas potenciales, que de hacerse efectivas ocurren con probabilidades equivalentes. Esto permitiría realizar comparaciones en términos de probabilidades de ocurrencia para distintos factores y por lo tanto dirigir las acciones hacia la mitigación de estos riesgos.

A pesar de las ventajas que se evidencian en el indicador propuesto, frente a otro tipo de criterios habitualmente utilizados en evaluación de proyectos, es necesario aclarar que también se presentan importantes limitaciones en la metodología que obligan a tener cierta prudencia. No se debe olvidar que las técnicas de valor en riesgo utilizan información disponible sobre distribuciones y parámetros estadísticos, y además no intentan predecir eventos catastróficos, ni situaciones extremas.

El indicador y la metodología de cálculo propuesta son de suficiente generalidad como para que puedan usarse en casi cualquier proyecto, sin importar su naturaleza. De hecho, es una sugerencia usual de la literatura, tanto en la valoración de portafolios financieros, como proyectos reales, que se acuda a la simulación como herramienta de cálculo. Así, es posible incluir, en el

modelo de valoración del negocio, todos aquellos elementos que estén sujetos a riesgo, de modo que los escenarios evaluados tengan en cuenta el mayor número posible de salidas reales del proyecto.

Aunque en el caso de ejemplo de uso del indicador se ha asumido que los factores de riesgo son independientes entre sí, también existe la posibilidad de incluir en el análisis las posibles correlaciones entre dichos factores. Ello será necesario cuando la suposición de independencia no sea una buena representación de la naturaleza del proyecto o portafolio de proyectos evaluado.

En el caso de estudio presentado, para la decisión de renovación de cultivos de caña de azúcar, se presenta una forma análoga del indicador Valor Presente Neto en Riesgo, que se concentra en la estimación de la probabilidad de que la variable de respuesta presente resultados positivos, que señalan la factibilidad de la decisión. En contraste con el indicador presentado en el ejemplo de la planta de fertilizantes, en el cual el tomador de la decisión asume un cierto nivel de confianza que define el percentil correspondiente del indicador. Esta clase de indicadores son de suma importancia en la toma de decisiones bajo riesgo.

## Referencias

1. J. Lohmann, S. Baksh. "The IRR, NPV and Payback Period and their relative performance in common capital budgeting decisions procedures for dealing with risk". *The Engineering Economist*. Vol. 39. 1993. pp. 17-47.
2. B. White, G. Smith. "Comparing the effectiveness of ten capital investment ranking criteria". *The Engineering Economist*. Vol. 31. 1986. pp. 151-163
3. S. Ye, R. Tiong. "NPV-at-Risk Method in Infrastructure Project Investment Evaluation". *Journal of Construction Engineering and Management*. ASCE. 2000. pp. 227-233.
4. T. Eschenbach, R. Cohen. "Which Interest Rate for Evaluating Projects?". *Engineering Management Journal*. 2006. Vol. 18. pp. 11-19.
5. E. V. Bulinskaya. "Inventory control and investment policy". *International Journal of Production Economics*. 2003. Vol. 81-82. pp. 309-316.

6. R. Grubbström. “A net present value approach to safety stocks in planned production”. *International Journal of Production Economics*. 1998. Vol. 56-57. pp. 213-229.
7. R. M. Hill, T. P. M. Pakkala. “A discounted cash flow approach to the base stock inventory model”. *International Journal of Production Economics*. 2005. Vol. 93-94. pp. 439-445.
8. P. Jorion. “Risk: Measuring the risk in Value at Risk”. *Financial Analyst Journal*. 1996. Vol. 52, pp. 47-56
9. T. Linsmeier, N. Pearson. “Risk Measurement: An introduction to Value at Risk”. *Department of Accountancy and Department of Finance*. Technical Report 96-04. University of Illinois at Urbana-Champaign. 1996. pp. 1-45.
10. M. Pritsker. “Evaluating Value at Risk methodologies: accuracy vs. computational time”. *Journal of Financial Services*. 1997. Vol. 12. pp. 201-242.
11. Y. Ganzach. “Judging risk and return of financial assets”. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*. 2000. Vol. 83. pp. 353-370.
12. E. Luciano, L. Peccati, D. Cifarelli. “VaR as a risk measure for multiperiod static inventory models”. *International Journal of Production Economics*. 2003. Vol. 81-82. pp. 375-384.
13. C. Tapiero. “Value at risk and inventory control”. *European Journal of Operational Research*. 2005. Vol. 163. pp. 769-775.
14. C. Vlek, J.P. Stallen. “Judging Risk and Benefits in the Small and in the Large”. *Organizational Behavior and Human Performance*. 1981. Vol. 28. pp. 235-271.
15. J. M. Cruz. *Measurement of Risks in the Evaluation of Mining Projects: The VaR of VAN*. Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile. Atacama Resource – Proyecto Fondef 1087. 2004. pp. 1-40.
16. D. Manotas, P. Manyoma, L. Rivera. “Productivity indicators and its influence in economic value of a company: a research in the Colombian sugar cane industry”. *Proceedings of Industrial Engineering Research Conference*. Dallas, (Texas). 2001. pp. 50-63.
17. M. Salassi, J. Breaux. “Economically Optimal Crop Cycle Length for Major Sugarcane Varieties in Louisiana”. *Journal American Society of Sugarcane Technologies*. 2002. Vol. 22. pp. 53-61.
18. O. Daza, C. Luna. “Modelo Económico para la renovación de la Plantación de Caña”. *Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña)*. IV Congreso Colombiano de la Asociación de técnicos de la Caña de Azúcar. Cali. Colombia. 1997. pp. 518-534.
19. J. Gaviria, T. Perea. *Análisis económico de las decisiones de renovación de cultivos de caña de azúcar – Un enfoque desde la simulación*. Trabajo de grado. Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. 2007. pp. 35-62.