

# Matemáticas difusas aplicadas a finanzas, modelo y sistema para la evaluación de portafolios

JORGE ENRIQUE PENICHE CURIEL

**Resumen—** Globalización, competencia, crisis, riesgo e inversión son algunos conceptos que toda empresa maneja en la actualidad. Hoy en día las profesiones y disciplinas están más unidas que en los últimos 40 años; la migración de conocimiento de un área a otra para su aplicación en la creación de modelos de análisis, sobretodo en cuestiones económicas y financieras es un claro ejemplo de ello. Pero para ello los modelos no deben quedarse en el sustento teórico, no es suficiente tampoco su demostración matemática o su aplicación correctamente documentada, las empresas hoy en día necesitan sistemas competentes pero flexibles que automaticen dichos modelos, y les ayuden a tomar decisiones rápidas y acertadas, que los mantenga dentro de la competencia de un mundo en constante cambio. Por lo anterior se ha escogido el programa MS Excel para la automatización del modelo a través de lenguaje de programación en VBA; se podría decir que MS Excel es actualmente uno de los softwares más utilizados en todo el mundo, lo cual facilita la aplicación, distribución y comprensión del sistema. La lógica difusa es una herramienta con un campo de aplicación muy amplio, que aún no ha sido explotado; normalmente se utiliza en sistemas de control. Sin embargo, para la administración financiera es un área de oportunidad; por ejemplo en evaluación de inversiones en portafolios de valores bursátiles. La evaluación de las inversiones combinan modelos probados y aceptados en la sociedad como la teoría moderna de portafolios, el valor en riesgo, el valor presente neto entre otros; el modelo utiliza esos mismos métodos pero agrega un valor de detalle gracias a las matemáticas difusas, en términos sencillos, da una mayor asertividad en los datos ya que considera un intervalo de variación bajo cierto nivel de confianza. El modelo de evaluación con matemáticas difusas, nos ayuda a resolver este problema en particular, aunque con la misma base se puede aplicar a evaluación del valor presente neto en proyectos de inversión en cualquier industria.

## I. INTRODUCCIÓN

Son muchos los motivos que originan que las decisiones de inversión sean probablemente las más complejas y difíciles que afronta la alta administración de una organización:

- (a) Generalmente demandan grandes cantidades de dinero.
- (b) Los efectos de una mala decisión de inversión no son inmediatos. Repercuten seriamente en la posición financiera de la empresa y en las metas a largo plazo que ésta se haya fijado.

JORGE ENRIQUE PENICHE CURIEL pertenece a la Maestría INGENIERIA ECONOMICO Y FINANCIERA de la Facultad de Negocios y realizó el proyecto dentro del Concurso Lasallista de Investigación + Desarrollo + innovación CLIDI 2014 (Email: [CLIDI@lasallistas.org.mx](mailto:CLIDI@lasallistas.org.mx)).

El proyecto fue asesorado por JORGE RAFAEL LOMELÍ MORALES

El autor agradece a: Sus padres, por todo el apoyo, guía y ejemplo de vida a lo largo de todos estos años; al maestro Lomelí, por la motivación e impulso para realizar este trabajo; y, por último, a J. Jolly por estar a cada momento.

- (c) Constituyen la implantación de una estrategia.
- (d) Se caracterizan por un alto grado de riesgo en la mayoría de las ocasiones, quizá el motivo más importante.
- (e) No sólo resulta complejo estimar las condiciones económicas futuras, sino que además los efectos económicos futuros de la mayoría de las inversiones se conocen solamente con un grado de seguridad relativo.

Es por esto que las decisiones de inversión absorben una gran cantidad de tiempo y la atención de la alta administración de toda la organización. La administración financiera ha sufrido cambios substanciales en los últimos años. Su papel ha venido aumentando en importancia hasta llegar al sitio que tiene hoy y que la liga con toda la organización. El Gerente Financiero tiene que ver hoy con aspectos de Dirección General, mientras que en el pasado solamente se preocupaba por la obtención de fondos y por el estado de la caja de la empresa.

Los resultados de la inversión en los últimos años han demostrado que la información derivada del análisis de valores *clásico* no es ni completa ni infalible. De hecho, desde el punto de vista de la Teoría Moderna del Portafolio, las tradicionales formas de administración de inversiones, que no incorporan una estimación y control explícitos del riesgo, no son más que reliquias de otra era.

En la actualidad los administradores financieros deben ser capaces de adaptarse al constante cambio del entorno económico globalizado, así como planear eficientemente el manejo de los fondos que requiera la empresa, y la obtención de los mismos; aspectos que influyen no solo en el éxito de la empresa sino que también afectan a la economía en general.

Al mismo tiempo, un mundo globalizado implica una mayor competencia y con esto un requerimiento de sistemas que ayuden a la toma de decisiones; sistemas sencillos de fácil acceso pero con la suficiente competencia y flexibilidad tales que permitan a los administradores financieros, expertos, inversionistas, entre otros, hacer escenarios, simulaciones y estudios estadísticos.

Actualmente existe la necesidad de emigrar conocimientos de unas ciencias a otras, es decir existe una conectividad de un TODO, por lo que a pesar de que la lógica difusa fue aplicada en principio a los sistemas de control por medio de la electrónica existe una analogía en el espectro bursátil. Quizá lo más seguro es que cada persona interesada en pronosticar tiene su propio método para hacerlo, no porque la estadística o la matemática no funcione, al contrario, hay que saber confiar en ésta, la respuesta está en el saber detectar y combinar métodos para pronosticar, la lógica difusa es el futuro de los sistemas de control moderno en los pronósticos. [1]

En el mundo financiero la teoría y la realidad resultan en muchos casos incompatibles, es más difícil analizar o utilizar un método de pronóstico que una simple intuición de una persona experta en el tema. En el espectro bursátil existen muchas variables que están relacionadas con la variable de pronosticar; algunas variables ni siquiera se tienen cuantificadas o se tiene un problema con la estandarización. Nuestro trabajo pretende dar una predicción de datos en el espectro bursátil, basado en los métodos modernos y utilizando la lógica difusa, puesto que actualmente es uno de los métodos más usados para resolver sistemas actualmente no lineales.

El objetivo general de este trabajo: Desarrollar un sistema experto para el análisis de la inversión en portafolios de acciones bursátiles basado en matemáticas difusas triangulares.

Objetivo específico del trabajo: Partiendo del objetivo general, utilizaremos *Visual Basic for Applications* (VBA) en Excel como lenguaje de programación; dicho sistema tendrá una variable independiente, es decir la acción, y tendremos entradas dependientes como puede ser el comportamiento de acciones e indicadores; se realizará una selección de información mediante análisis de componentes principales.

Hipótesis: Los métodos de evaluación basados en la lógica difusa responden con mayor precisión que los métodos tradicionales en sistemas altamente no lineales.

Cabe mencionar que un sistema experto requiere de tiempo y retroalimentación para llegar a minimizar el error.

Actualmente es necesario que los administradores que toman decisiones bursátiles sepan usar estos sistemas expertos o saber en base a qué se toma la decisión; a su vez que las organizaciones necesarias de estos sistemas expertos para estar a la vanguardia. [2]

## II. CONCEPTOS BÁSICOS

En su más amplio sentido, la *inversión* es el sacrificio de cierto valor presente por un, posiblemente incierto, valor futuro. Intervienen dos atributos importantes, el tiempo y el riesgo. El sacrificio toma lugar en el presente y es cierto. El retorno viene después y su magnitud puede ser incierta. En algunos casos el elemento más importante es el tiempo (p.e. bonos gubernamentales); en otros el riesgo es el atributo dominante (p.e. una quiniela); y en otros, ambos elementos son importantes (p.e. acciones cotizadas en Bolsa). [3]

Dentro de la definición anterior, quedan comprendidas la especulación, consistente en asumir un riesgo en espera de una ganancia, especialmente comprar y vender esperando obtener rendimientos derivados de fluctuaciones en el mercado, e inclusive las apuestas.

El concepto de *riesgo* es un término con diversas definiciones, como pueden ser:

- (a) Del latín *riscicare*: atreverse o transitar por un sendero peligroso.
- (b) Un evento o condición incierta que, en caso de ocurrir, tiene un efecto positivo o negativo en los objetivos de un proyecto, portafolio o empresa. [4]

(c) Un término ambiguo que puede significar lo siguiente [5]:

- a. Incertidumbre total (amenazas y oportunidades); o
- b. Desventaja incierta (amenazas); o
- c. El impacto neto o efecto de la incertidumbre (amenazas –oportunidades).

(d) La volatilidad de los flujos financieros no esperados, generalmente derivada del valor de los activos o los pasivos. [6]

La *Volatilidad* es una medida de la frecuencia e intensidad de los cambios del precio de un activo o de un tipo definido como la desviación estándar de dicho cambio en un horizonte temporal específico.

*Beta* ( $\beta$ ), es un coeficiente que mide el grado de volatilidad o riesgo de una acción con respecto al mercado de acciones. Una Beta con valor uno significa que una acción tiene el mismo grado de riesgo que el mercado en su conjunto, o riesgo promedio; una Beta mayor a uno, significa que es más riesgosa la acción con respecto al mercado, caso complementario la Beta menor a 1 indicará que la acción es menos riesgosa que el mercado. Únicamente los Bonos Gubernamentales, como los *CETES*, poseen una Beta igual a cero, por lo que se consideran libre de riesgo.

La *Correlación* indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables, en otras palabras se considera que dos variables (A y B) están correlacionadas si al aumentar los valores de A lo hacen también los valores de B y viceversa.

La *Covarianza* es un valor que indica el grado de variación conjunta de dos variables aleatorias, es decir, el dato básico para determinar si existe una dependencia entre ambas variables.

Las *Matemáticas difusas o lógica difusa* comúnmente conocida en el mundo científico como *Fuzzy Logic* ha resuelto un sin número de aplicaciones que parecían imposibles de desarrollar. La lógica difusa parte de un hecho muy sencillo, es actuar como nuestro cerebro lo puede resolver, tratando información imprecisa, como estatura mediana, temperatura baja, mucha fuerza, entre otros; existe la diferencia que nuestro cerebro no está acostumbrado a resolver más de tres entradas (variables) al mismo tiempo, mientras que un sistema experto basado en lógica difusa lo podría resolver sin ningún problema. La lógica difusa puede realizar un pronóstico de manera diferente a lo que estamos acostumbrados pero sin lugar a duda con excelente grado de certeza, es una de las mejores herramientas para manejar sistemas inestables, como podría ser el mercado de acciones.

Por otro lado el *Valor en Riesgo* (VaR, por sus siglas en inglés) se ha convertido en uno de los métodos más usados por bancos y empresas financieras líderes a nivel mundial para calcular y controlar el riesgo de mercado. El VaR utiliza técnicas estadísticas estándar que se usan de manera rutinaria en otros campos técnicos. En términos formales, el VaR mide la peor pérdida esperada en un intervalo de tiempo determinado bajo condiciones normales del mercado ante un nivel de confianza dado. [6] Por ejemplo, si un portafolio de acciones dice que tiene un VaR de diario de \$15 millones con un nivel de confianza de 99 por ciento está diciendo que sólo hay una posibilidad en 100, bajo condiciones normales de

mercado, de que ocurra una pérdida mayor a \$15 millones. Esta cifra sola resume la exposición del inversor al riesgo de mercado, así como la probabilidad de un movimiento adverso. Cabe mencionar que la medición del riesgo utiliza las mismas unidades que la línea de resultados de la inversión: la unidad monetaria en cuestión, pesos, dólares, entre otros. De esta manera el accionista y/o administrador puede entonces decidir si se siente cómodo con este nivel de riesgo. Caso complementario, al ser la respuesta negativa, el proceso que condujo a obtener el VaR puede utilizarse para decidir dónde reducir el riesgo.

### III. METODOLOGÍA PROPUESTA

#### Teoría Moderna del Portafolio

La Teoría Moderna del Portafolio sostiene que existe una relación predecible entre el riesgo y el rendimiento de una inversión. Adicionalmente permite construir portafolios adecuados a las preferencias de riesgo y rendimiento de un inversionista dado.

Es un hecho que la mayoría de los inversionistas son contrarios al riesgo. Esto es ampliamente explicado por la *Teoría de la Utilidad y Aversión al Riesgo*.

Sostiene, dicha teoría, que existen tres tipos de posturas ante el riesgo: (a) Deseo de riesgo, (b) Aversión al riesgo, e (c) Indiferencia al riesgo.

Un buscador de riesgo es aquel que lo prefiere; si tuviese que decidir entre inversiones más o menos riesgosas, con rendimientos esperados iguales, optaría por la más riesgosa. Ante la misma situación, el evitador de riesgo optaría por la inversión menos arriesgada, y, el indiferente al riesgo, no se preocuparía por qué inversión recibe.

Los principales pilares que sostienen esta teoría son la *Hipótesis del Mercado Eficiente* y el *Modelo de Valuación de Activos Financieros*.

La Hipótesis del Mercado Eficiente sostiene que, un mercado de capitales eficiente es una arena en la que muchos participantes, con objetivos de inversión similares, y acceso a la misma información, compiten activamente. [7]

Un mercado de capitales eficiente es un mercado que es eficiente al procesar información. Los precios de los valores observados en cualquier tiempo están basados en una correcta evaluación de toda la información disponible en ese tiempo. En un mercado eficiente, los precios *reflejan completamente la información disponible*. [8]

La hipótesis del mercado eficiente afirma que sería imposible lograr consistentemente resultados mejores que el promedio del mercado, en un ambiente caracterizado por muchos inversionistas competidores, cada uno con objetivos similares e igual acceso a la misma información; eficiente, en este contexto, quiere decir que el mercado es capaz de digerir rápidamente nueva información sobre la economía, la industria o el valor de una empresa y que puede reflejar esta información en forma precisa en los precios de los valores.

Si el Mercado de Valores digiere eficientemente toda la información disponible, existe poca justificación para tratar de obtener ganancias extraordinarias de la inversión. Más bien se debería buscar una tasa de retorno consistente con el nivel de riesgo aceptado.

Uno de los modelos más importantes en la Teoría Moderna del Portafolio es el de Valuación de Activos Financieros, mejor conocido como CAPM, *Capital Asset Pricing Model*; entendiéndose por valuación el proceso mediante el cual se determina el precio de un valor negociable en el mercado.

Puesto que el CAPM busca explicar las relaciones existentes entre diversas variables en un estado de equilibrio, hace para ello, una serie de suposiciones que en términos generales y simplificándolos son:

- Los inversionistas son adversos al riesgo y se comportan racionalmente.
- Los inversionistas pueden obtener u otorgar créditos a la tasa libre de riesgo.
- Todos los inversionistas asignan al rendimiento de cada acción la misma distribución de probabilidad.
- Todos los inversionistas tienen el mismo horizonte económico.
- No existen impuestos sobre las operaciones.
- Todos los inversionistas aceptan de manera homogénea las fluctuaciones de las tasas de interés.

El CAPM señala que los precios de los activos financieros de un mercado de capitales estarán en equilibrio cuando la tasa esperada de retorno de un valor sea igual a la tasa libre de riesgo más una prima proporcional al riesgo de mercado, medido por Beta.

En términos matemáticos se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$E(R_j) = R_f + \beta(R_m - R_f) \quad (1)$$

Donde,

$E(R_j)$  = Tasa de rendimiento deseada

$R_f$  = Tasa libre de riesgo

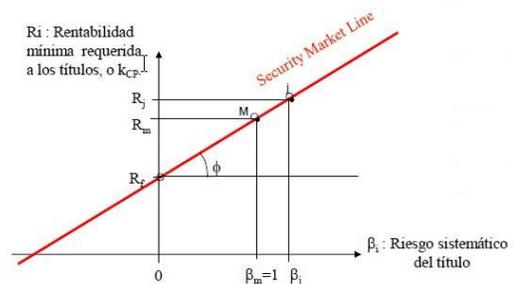
$\beta$  = Beta

$R_m$  = Tasa de rendimiento del mercado

La línea de mercado de valores, *SML Security Market Line*, representa las relaciones que existen entre las tasas de rendimiento deseadas sobre los diversos activos y el riesgo conforme es medido por Beta. Esta recta, Figura 1, tiene pendiente positiva, lo cual significa que los inversionistas habrán de exigir tasas de rendimiento más elevadas a medida que aumenta el riesgo.

Figura 1.

#### LÍNEA DEL MERCADO DE VALORES



Beta se puede expresar por la siguiente ecuación matemática:

$$\beta = \frac{\sigma_a \times \text{Correl}(a,m)}{\sigma_m} \quad (2)$$

Donde,

- $\sigma_a$  = Volatilidad de la acción
- $\sigma_m$  = Volatilidad del mercado
- Correl ( $a, m$ ) = Correlación entre la acción y el mercado

#### Valor en Riesgo

Entendiendo el cálculo de la Beta, se puede desagregar en elementos que permitirán diversificar un portafolio con el fin de reducir el riesgo del mismo y posteriormente calcular su VaR. El primero de ellos es la correlación que tiene la acción respecto al mercado y las demás acciones, entre menor correlación tenga el portafolio menor será el riesgo ya que al variar el precio de una acción por las fluctuaciones del mercado las demás no cambiarán en la misma proporción, mitigando así las ganancias o pérdidas totales por la inversión.

El segundo elemento es la volatilidad, calculada a través de la desviación estándar de los rendimientos históricos de los precios de las acciones que componen el portafolio.

Para cuantificar el VaR de un portafolio utilizaremos el llamado VaR paramétrico; en este método es necesario suponer que la distribución es normal. La distribución normal es particularmente fácil de manejar, debido a que representa adecuadamente muchas distribuciones empíricas.

El problema de encontrar el valor en riesgo es equivalente a encontrar la desviación a tal que el área a su izquierda sea igual a  $1 - c$ . Utilizando las tablas de la función de distribución acumulativa normal estandar, es posible obtener el valor del área bajo la curva ( $\alpha$ ).

La ecuación del VaR se define,

$$VaR = I_0 \alpha \sigma \sqrt{\Delta t} \quad (3)$$

En otras palabras, el VaR es simplemente un múltiplo de la desviación estándar de la distribución, multiplicado por un factor de ajuste que está directamente relacionado con el nivel de confianza, la inversión inicial ( $I_0$ ) y el intervalo de tiempo ( $\sqrt{\Delta t}$ ).

Esto se aplica especialmente para portafolios grandes y bien diversificados, pero no es válido para portafolios con pesados componentes de opciones y exposición a un pequeño número de riesgos financieros. [6]

#### Valor Presente Neto y la lógica difusa triangular

Uno de los métodos más tradicionales para la evaluación de proyectos de inversión es el del *Valor Presente Neto* (VPN), que se obtiene de sumar los distintos flujos de fondos futuros, actualizados por una tasa.

Para calcular el VPN se utiliza tradicionalmente la fórmula (4) que dice,

$$VPN = -I_0 + \frac{Flujo 1}{(1+i)} + \frac{Flujo 2}{(1+i)^2} + \frac{Flujo n}{(1+i)^n} \quad (4)$$

Siendo  $I_0$  la inversión inicial e,  $i$  la tasa de descuento aplicada.

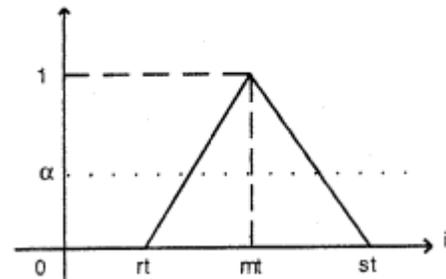
Como regla general del método se rechazan aquellos proyectos en los que la inversión inicial supere el valor del flujo de fondo actualizado, es decir, cuando el VPN sea negativo.

Cuando los flujos de fondo y las tasas no son suficientemente conocidos o confiables se ignoran las probabilidades de los mismos, creando así una mayor incertidumbre en el inversor.

Sin embargo gracias a los números difusos podemos parametrizar la tasa  $i$  para cada uno de los periodos  $t$ , ésta parametrización le permite a la tasa tomar tres valores: (a) el más bajo será  $r$ , (b) el más posible será  $m$ , (c) y, por último el más alto será  $s$ .

Suponemos para simplificación que este número difuso será triangular; se simboliza por:  $i_t = (R_t, M_t, S_t)$ ; y su representación gráfica es:

Figura 2.  
MODELO TRIANGULAR



Si designamos por  $[R_t, S_t]$  el intervalo de confianza del número difuso a un nivel  $\alpha$ ,  $\forall \alpha \in [0,1]$

La expresión (4) queda reformulada a continuación:

$$VPN = -I_0 + \frac{Flujo 1}{[(1+Rt1), (1+St1)]} + \frac{Flujo 2}{[(1+Rt1)*(1+Rt2), (1+St1)*(1+St2)]} + \frac{Flujo n}{[(1+Rt1)*(1+Rtn), (1+St1)*(1+Stn)]} \quad (5)$$

Esta última expresión nos permitirá calcular los resultados posibles entre los cuales, para cada nivel de confianza, se confía encontrar el resultado real.

#### IV. DESARROLLO Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El diseño de un controlador basado en lógica difusa supone establecer un compromiso entre diversos criterios de diseño: velocidad, precisión y flexibilidad, principalmente. [9]

La flexibilidad de este sistema permite al experto y el inversor definir las variables que requieren en el ejercicio, tales como:

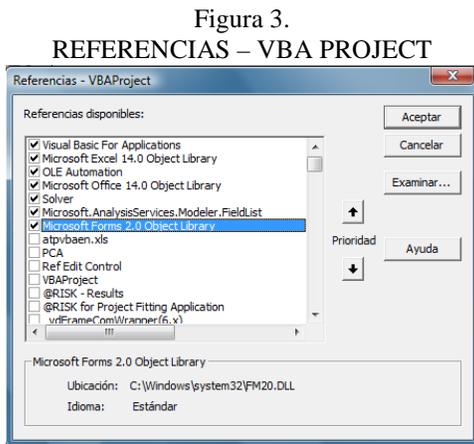
- (a) Actualización de los precios históricos de las acciones.
- (b) Fechas de inicio y fin de la base de datos.
- (c) Número de acciones dentro del portafolio.
- (d) Monto de inversión.
- (e) Puntos de afectación para las tasas de rendimiento aleatorios, dados por el experto.
- (f) Perfil de riesgo.

La base de datos se generó en MS Access por su fácil interacción con MS Excel, donde se realizan todos los cálculos del sistema; para su llenado o actualización, el usuario accede a cualquier fuente de información pública de los datos de la Bolsa Mexicana de Valores, aunque el

sistema permite utilizar otros mercados, y descargar los precios históricos de las acciones y el Índice de Precios y Cotizaciones, un ejemplo al alcance de todos es: Yahoo Finanzas.

Para la utilización del sistema se debe tomar en cuenta los siguientes detalles:

- (a) Generar la tabla de consulta en el archivo de MS Access "BaseHistóricos.accdb".
- (b) Conectar este sistema a la tabla de consulta en Datos.
- (c) Asegurarse tener activo los complementos *Solver.xlam* y *MATRIZDECORR-MATRIZDECOVAR.xlam*, así como la opción de cálculo automático del libro.
- (d) Asegurarse tener activa las referencias *VBA Project* mostradas en la Figura 3, mostrada a continuación:



- (e) Dar clic en el botón *Inicio*.
- (f) Ingresar datos solicitados en el flujo del sistema: (a) Numero de acciones en entero; (b) Restricción superior se refiere al % de volumen máximo a invertir en una sola acción, en enteros; (c) Restricción inferior se refiere al % de volumen mínimo a invertir en una sola acción, en enteros; (d) A invertir, presupuesto de inversión sin símbolos;

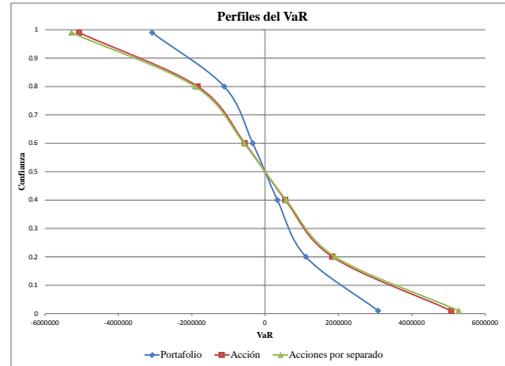
La diversificación del portafolio se realiza a través de la eliminación de las acciones que tienen mayor correlación a fin de disminuir el riesgo en el portafolio.

Para la distribución de la inversión se utiliza la herramienta de MS Excel: *Solver*, maximizando el rendimiento de la cartera sujeto a restricciones brindadas por el usuario.

### V. RESULTADOS OBTENIDOS

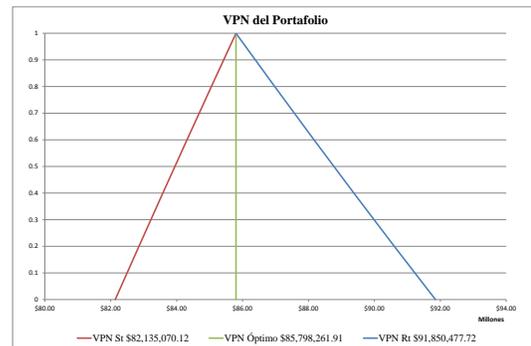
El sistema realiza un Perfil gráfico del VaR, Figura 4, comparando el portafolio contra la acción más volátil del mismo. En él, se puede apreciar que el valor en riesgo de un portafolio diversificado y maximizando su rendimiento tiene un perfil tranquilo a comparación del valor en riesgo que puede llegar a tener, bajo las mismas condiciones de mercado y nivel de confianza, si se invirtiera la misma cantidad pero únicamente en una acción o cada acción por separado.

Figura 4. PERFILES DEL VAR



Genera también, un perfil del Valor Presente Neto del portafolio a través de matemáticas difusas con un modelo triangular, Figura 5.

Figura 5. MODELO TRIANGULAR DIFUSO DE VPN



Sin embargo este perfil no es estático, como se dijo antes, las tasas de descuento son afectadas aleatoriamente por parámetros brindados por el experto, lo cual permite una simulación al instante de diferentes perfiles, logrando apreciar cuanto puede llegar a moverse los límites máximo y mínimo, así como la desviación del VPN más posible.

### VI. CONCLUSIONES

Es cierto que resulta más simple trabajar con números precisos, pero, lamentablemente, el mundo real nos plantea muchas situaciones imprecisas, las cuales no pueden ser tratadas adecuadamente mediante la lógica bivalente del tercero excluido.

Frente a un contexto de constante cambio, la información que brinda una estimación en términos de certeza (Matemática tradicional) resultará más inexacta que una estimación en términos difusos, ya que ambas son realizadas en el campo de la incertidumbre.

No podemos asegurar que el VPN de un análisis puntual con una única tasa de descuento, permitirá al inversor o administrador financiero tomar decisiones acertadas y con un nivel bajo de incertidumbre, cuando el mercado es tan fluctuante.

En cambio, sí podemos asegurar que se encontrará entre el valor mínimo y el máximo del modelo difuso triangular

obtenido. Por supuesto, cada flujo de fondo neto deberá ser fijado por un experto en la materia, y no en forma arbitraria.

La flexibilidad del sistema permite que el usuario experto, administrador financiero o inversionista determinen las variables de entrada las cuales pueden cambiar cuantas veces quieran y tener diferentes escenarios con sus respectivos resultados, que les ayudará en la toma de decisiones.

Como se puede apreciar, el modelo de evaluación con matemáticas difusas, nos ayuda a resolver este problema en particular, aunque con la misma base se puede aplicar a evaluación del VPN en proyectos de inversión en cualquier industria; por poner un ejemplo, la construcción actualmente maneja, cada vez más, contratos de inversión, desarrollo y concesión operaria de obras de infraestructura con veinticinco años de vida del proyecto.

MS Excel por su lado, es una herramienta tecnológica líder en el mercado al alcance de cualquier inversionista, lo cual facilita que el sistema sea altamente distribuible.

El alcance de este trabajo es la base de una investigación más amplia dentro de una tesis de grado de maestría. Para mayor información sobre el tema se puede consultar en <http://modelosderiesgo.blogspot.mx/>

## VII. REFERENCIAS

- [1] Cleary Lavenbach, *The Professional Forecast*. U.S.A.: Lifetime Learning Publication, 1982.
- [2] Rich Knight, *Artificial Inteligence*, Segunda ed. U.S.A.: Mc Graw Hill, 1995.
- [3] William F. Sharpe, *Investments*, 2nd ed. New Jersey, U.S.A.: Prentice-Hall, Inc., 1981.
- [4] Project Management Institute, *PMBOK GUIDE*, Quinta ed. Newtown Square, Pennsylvania, U.S.A., 2013.
- [5] *AACE International Recommended Practice No. 10S-90*.
- [6] Philippe Jorion, *Valor en Riesgo*, Primera ed., Grupo Noriega Editores, Ed. México, D.F.: Editorial Limusa, S.A. de C.V., 2003.
- [7] Robert Hagin, *Modern Porfolio Theory*. Illinois, U.S.A.: Dow Jones-Irvin, 1979.
- [8] Eugene F. Fama, *Foundations of Finance*. New York, U.S.A.: Basic Books, Inc. Publishers., 1976.
- [9] Bonifacio Martín del Brío and Alfredo Sanz Molina, *Redes Neuronales y Sistemas Borrosos*, Tercera ed. México: Alfaomega, 2007.