

# **Comparación de metodologías de Valor en Riesgo para portafolios con derivados de cobertura de monedas**

**Carolina Garcia Arango**

*Cgarcia\_7@msn.com*

**Sandra Susana Gutiérrez Guzmán**

*tutigutierrezg@hotmail.com*

## ***Resumen***

El propósito de este trabajo de grado de la Maestría en Administración Financiera de la Universidad EAFIT es calcular el valor en riesgo de portafolios compuestos por diferentes clases de activos con variaciones en los porcentajes de cobertura con el fin de dar recomendaciones aproximadas a los diferentes agentes de mercado, en especial a las Administradoras de Fondos de Pensiones, de la metodología que mejor se ajuste a las condiciones del mercado actual teniendo en cuenta las ventajas y desventajas evidenciadas en cada una de ellas.

## ***Palabras clave***

VaR histórico, VaR paramétrico, simulación Monte Carlo, Administradoras de Fondos de Pensiones (AFP).

## ***Abstract***

The purpose of this Master degree in Financial Management project of EAFIT University is to calculate the value at risk of portfolios which are composed by different asset classes and percentages of coverage in order to make advices to the different market players, especially to Pension Fund Administrators, about the best methodology which suited to current market conditions taking into account the advantages and disadvantages evidenced in each methodology.

## ***Key words***

Value at Risk Historical simulation, parametric Value at Risk, Monte Carlo simulation, pension funds administrators.

## **1 Introducción**

Como consecuencia de las diferentes crisis financieras vividas en los últimos años a nivel mundial, las entidades presentaron grandes pérdidas y en algunos casos se vieron obligadas al cierre total de sus operaciones. A raíz de esto, la economía se ha caracterizado por incertidumbre, afectando directamente la rentabilidad de las empresas y las inversiones realizadas en los mercados de capital. Por lo anterior, ha tomado relevancia la necesidad de identificar, medir y controlar los riesgos a los que se encuentran expuestas las entidades del sistema.

En el presente trabajo se hace énfasis en la medición del riesgo de mercado, el cual es definido por la Superintendencia Financiera de Colombia (SFC) como la posibilidad de que las entidades incurran en pérdidas relacionadas con la variación negativa en el valor de sus portafolios o la desvalorización de los fondos administrados como consecuencia de modificaciones en el precio de los instrumentos financieros en los que se tienen posiciones dentro o fuera del balance. En Colombia, la SFC en el marco de las disposiciones establecidas en el Comité de Basilea, incluyó en el Capítulo XXI de la Circular Básica Contable y Financiera (C.E 100 de 1.995) los lineamientos mínimos para que las entidades vigiladas implementen un Sistema de Administración de Riesgo de Mercado (SARM) que les facilite realizar una gestión adecuada y eficiente de dicho riesgo. Lo anterior con el fin de evitar que las entidades vean afectada sustancialmente su condición financiera ante la materialización de uno de los riesgos identificados.

En el caso de las AFPs, en el Anexo 2 del capítulo mencionado anteriormente, se establecen los métodos para el cálculo del valor en riesgo. La SFC exige la utilización un modelo estándar (VaR paramétrico) para este tipo de entidades, las cuales deben medir el riesgo de mercado proveniente de las posiciones propias en su libro de tesorería y de sus operaciones de contado. De igual forma, dicha medición se debe hacer extensiva a los fondos administrados por estas. Sin embargo, las demás instituciones financieras pueden adoptar modelos internos que cumplan una serie de características impuestas por el regulador. A partir de esto, surge la necesidad de evaluar si la metodología exigida a las AFP se ajusta a la coyuntura actual, o si por el contrario se requieren mediciones adicionales que permitan complementar la gestión de riesgo de mercado. El análisis se realizó desde enfoques

cualitativos y cuantitativos. En el primer caso, se tuvo en cuenta las ventajas y desventajas de las metodologías más utilizadas en la práctica como los son: VaR histórico, VaR paramétrico y simulación Monte Carlo. Para el segundo, se seleccionaron portafolios de inversión compuestos por títulos de renta fija y renta variable, local y del exterior, y por derivados de cobertura de moneda tales como forward y opciones. Es importante anotar que se considera este tipo de derivados dada la incertidumbre que se ha generado en los últimos meses por las variaciones del tipo de cambio, adicional a la conciencia creada en los agentes del mercado para reducir las fluctuaciones en sus flujos de caja y ganancias. Con el fin de corroborar los resultados obtenidos se realizó la prueba de desempeño backtesting.

Finalmente, se recomienda que las entidades apliquen varias metodologías con el fin de tener un análisis más robusto del riesgo de mercado, incluyendo necesariamente la simulación Montecarlo, ya que se evidenció que esta metodología es la menos subjetiva y es capaz de incluir el dinamismo del mercado y de tener en cuenta instrumentos de mayor complejidad como las opciones. Bajo este orden de ideas, aunque se evidenció que es un método conservador, se considera el más apropiado para la gestión del riesgo.

## **2 Marco conceptual**

La crisis financiera del año 2.008 es una de las más representativas en la historia por su gran impacto a nivel mundial. La caída de reconocidas instituciones financieras en los Estados Unidos produjo una gran incertidumbre y temores que se vieron reflejados en las fuertes pérdidas en el mercado internacional. Es así como este periodo estuvo caracterizado por récords alcanzados para numerosos indicadores de riesgo y niveles muy bajos en la confianza de los inversionistas y ahorradores (Machinea, J L, 2.009).

El eje central de la crisis económica enfrentada en la última década fue el mercado de capitales, sector en el que se encuentran invertidos los ahorros de los millones de afiliados a los fondos pensiones en todo el mundo. El impacto no solo se vio reflejado en las utilidades de las sociedades administradoras, sino también en la rentabilidad de los fondos administrados e incluso en el volumen de cotizaciones dadas las mayores tasas de desempleo. La debilidad financiera que caracterizó la mayoría de economías, incluyendo la Latinoamericana, provocó adicionalmente que los trabajadores dejaran de cotizar debido al temor asociado a la disminución considerable de sus aportes (Marcel y Tapia, 2.010).

De acuerdo con Marcel y Tapia (2.010) el total de los fondos de pensiones en América Latina disminuyeron en aproximadamente USD 52.000 millones durante el año 2.008. Específicamente, los fondos que registraron las caídas más grandes en términos nominales fueron Chile, Argentina, Uruguay y México, con desvalorizaciones entre 11% y 33% del valor total.

En Colombia, las Administradoras de Fondos de Pensiones (AFPs) que fueron creadas con el único fin de administrar los ahorros destinados para la vejez, invalidez, sobrevivencia, desempleo, educación o vivienda y ahorros voluntarios adicionales (Asofondos, 2.015), se vieron fuertemente afectadas por esta crisis. Los diferentes fondos administrados pasaron de tener rentabilidades del 17% a obtener pérdidas en un mes hasta del 5,5%, lo que generó resultados negativos hasta de 3 billones de pesos (Gómez, 2.008). De acuerdo al reporte de Asofondos, a mayo de 2015 las AFPs en Colombia tenían bajo su administración recursos por un total de \$182.85 Bn, provenientes de aportes de pensiones obligatorias, pensiones voluntarias y cesantías. El número de afiliados registrados para dicha fecha en aportes a pensiones obligatorias ascendía a 12.8 millones. Bajo este orden de ideas, ante una situación adversa en la coyuntura económica del país, como las registradas en años anteriores, podría afectar negativamente las rentabilidades de los portafolios administrados por estas entidades y por ende afectar el patrimonio previsional de aproximadamente el 26% de la población colombiana.

Es por eso que a raíz de las diferentes crisis se ha evidenciado aún más la necesidad de identificar los eventos o riesgos a los que están expuestas las diferentes entidades y que podrían causar deterioros en sus finanzas y atentar contra su estabilidad a largo plazo.

## 2.1 Administración de riesgos

Como se ha observado a través del tiempo, las actividades comerciales implican una gran cantidad de riesgos de diferente naturaleza. La coyuntura actual se encuentra enmarcada por la incertidumbre sobre los eventos futuros que podrían afectar la estabilidad de una entidad en alguna medida (Alonso y Semaán, 2.009).

De acuerdo con De Lara (2.005), los riesgos se pueden categorizar de la siguiente forma:

- Riesgo de mercado: pérdida que podría enfrentar un inversionista debido a la variación de los precios de mercado o a la alteración de los factores de riesgo. De igual forma se puede definir como la “posibilidad de que el valor presente neto de un portafolio se mueva adversamente ante cambios en las variables macroeconómicas que determinan el precio de los instrumentos que componen una cartera de valores” (De Lara, 2.005, p.16).
- Riesgo de crédito: pérdida asociada al no pago de las obligaciones que fueron adquiridas por una contraparte.
- Riesgo de liquidez: hace referencia a la pérdida que puede evidenciar una entidad en el momento de necesitar más recursos para financiar sus activos a un mayor costo. Adicionalmente se puede definir como la imposibilidad relacionada a la venta de un activo dentro del mercado.
- Riesgo legal: se relaciona con la pérdida generada por debilidades en la interpretación jurídica o por falta de documentación que soporte una operación.
- Riesgo operativo: pérdidas ocasionadas por fallas en las herramientas de una entidad, procedimientos o en el personal que manejan dichas herramientas. Adicionalmente, se relaciona con el fraude o retiro de un funcionario clave.
- Riesgo reputacional: pérdida relacionada con el desprestigio de una institución.

Bajo este orden de ideas, las empresas deben realizar una adecuada gestión de los riesgos que se puedan materializar de acuerdo al core de su negocio. Para lo anterior, en el libro Gestión Integral de Riesgos, Bravo y Sanchez (2.007) proponen una serie de pasos para realizar una efectiva administración de los eventos que permitan minimizar las potenciales pérdidas o maximizar las oportunidades para generar ganancias. Entre las actividades recomendadas se encuentran: establecer el contexto, identificar los riesgos, analizarlos, cuantificarlos, definir si se aceptan y por ultimo tratarlos.

En cuanto a la medición del riesgo de mercado, De Lara (2.005) afirma que existen diversidad de conceptos como lo son: valor en riesgo, duración, convexidad, peor escenario, análisis de sensibilidad, beta, delta, entre otros. No obstante, la medida que se ha adoptado a nivel mundial, una vez concluidos los acuerdos de Basilea I y II, fue el valor en riesgo (Alonso y

Semaán, 2.009). Actualmente, la implementación del VaR se ha generalizado a nivel mundial debido a la facilidad relacionada con el entendimiento de la incertidumbre, adicional a las ventajas en cuanto a la sencillez de su cálculo. Por esta razón se ha considerado como “la nueva ciencia del manejo de riesgo” (Bravo y Sanchez, 2.007, p.340).

Adicional a las herramientas mencionadas anteriormente para la gestión del riesgo de mercado, las entidades han optado por incluir dentro de sus portafolios instrumentos financieros derivados que les permitan trasladar el riesgo al cual no desean tener exposición. Algunos de los derivados más utilizados han sido los contratos de futuros y las opciones (Jorion, 2.007). De esta manera, las empresas han conseguido gestionar de una forma más eficiente los riesgos a los cuales se encuentran expuestas por medio de una adecuada combinación entre el uso de metodologías de medición y estrategias de cobertura.

## 2.2 Valor en riesgo

Históricamente, el VaR tiene sus orígenes en la teoría de portafolios y en los requerimientos de capital. Con el aumento en la volatilidad de los mercados que se dio en la década de los 80s, las empresas vieron la necesidad de desarrollar medidas de VaR más evolucionadas. La masificación de los instrumentos derivados que se dio en la década de los 90s y las pérdidas que se generaron en el periodo, incentivaron la gestión de las áreas de riesgo financiero de las compañías. Para esta época, JP Morgan crea un modelo denominado RiskMetrics para atender las necesidades de la administración relacionadas con medición de los riesgos propios del negocio. Luego de que las medidas de VaR fueran reconocidas por el comité de Basilea, se exigió el uso de esta metodología en los bancos (Holton, 2003).

El concepto de VaR se introdujo con el fin de cuantificar el riesgo relacionado con una pérdida grave, a un nivel de confianza escogido por el agente de mercado, entre el 95% y 99% (Charnes, 2.007). Este método ofrece una cuantificación de la máxima variación que puede experimentar el valor de una cartera a lo largo de un periodo de tenencia determinado, con un nivel de fiabilidad estadística preestablecido” (Cabedo y Moya, 2000, p. 61).

Básicamente se trata de “un solo número que resume la incertidumbre en el valor futuro de un activo financiero. Es una extrapolación en el futuro basado en la suposición de que el

futuro se comportará estadísticamente similar que el pasado” (Tung, Lai y Wong, 2.010, p.143).

### 2.3 Metodologías para el cálculo del VaR

El VaR se puede calcular utilizando los siguientes métodos (De Lara, 2.005, p.19):

- Métodos paramétricos: se basa en el supuesto que las variaciones porcentuales del activo se distribuyen normalmente.
- Métodos no paramétricos: parte de la simulación o hipótesis de las variaciones porcentuales del activo, bajo el supuesto de que se ha mantenido la posición durante el horizonte de tiempo de la serie histórica.

#### 2.3.1 VaR Paramétrico

En el trabajo “Metodologías de medición del riesgo de mercado”, adelantado por Salinas (2.009), se establece que el VaR paramétrico parte del supuesto que los rendimientos de un determinado portafolio se comportan de acuerdo a una distribución normal de los datos (valor medio  $\mu$  y desviación estándar  $\delta$  tomada como medida de volatilidad). En este caso, la variable aleatoria hace referencia al rendimiento de un activo financiero.

Al realizar un histograma de la serie de los retornos históricos del portafolio, se evidencia la distribución de la densidad de los rendimientos y para cada uno de estos es posible establecer una probabilidad de observar un rendimiento menor.

Este método se aplica principalmente para la medición del VaR de posiciones lineales, ya que las modificaciones proporcionales en los factores de riesgo se distribuyen normalmente, al igual que las variaciones en el valor del portafolio.

Teniendo en cuenta lo anterior, el VaR se puede calcular de la siguiente forma:

$$VaR = V_0 * K(\alpha) * \delta\sqrt{t}$$

Donde,

$V_0$ : valor actual del portafolio

$K(\alpha)$ : es el factor que determina el nivel de confianza del calculo

$\delta\sqrt{t}$ : volatilidad de los rendimientos

Cuando un portafolio se encuentra compuesto por posiciones activas y pasivas, el VaR depende de la volatilidad de los factores, por lo que se hace necesario construir una matriz de varianza – covarianza o una matriz de correlaciones que refleje los riesgos conjuntos. En este punto toma relevancia el rol de las correlaciones debido a que permiten diversificar el riesgo. Una correlación de los instrumentos de los portafolios menor a 1 hace que el riesgo agregado del portafolio sea menor que la suma de los riesgos individuales. De igual forma, el uso de  $\sigma$  raíz (t) supone que los rendimientos se distribuyen idéntica e independientemente.

En este caso se utiliza la formulación de teoría clásica de carteras desarrollada por Markowitz:

$$R_p = \sum_{i=1}^n W_i * R_i$$

Donde,

$R_p$ : rendimiento del portafolio

$R_i$ : rendimiento del activo “i”

$W_i$ : proporción del portafolio, a valor de mercado, invertido en el activo “i”, el cual tiene una naturaleza dinámica, debido a las operaciones.

n: número de activos diferentes.

### 2.3.2 VaR Histórico

Este método corresponde a una simulación poco robusta, la cual no requiere de grandes supuestos acerca las distribuciones estadísticas de los factores de riesgo (Lamothe y Contreras, 2.008).

Continuando con Salinas (2.009), el VaR histórico se define bajo el supuesto que todo efecto ocurrido en el pasado puede presentarse nuevamente en el futuro. Por lo tanto, es posible utilizar la serie histórica de precios del portafolio para la construcción de una serie de tiempo de precio o rendimientos simulados. Una vez realizado este proceso, se procede a hallar un vector de pérdidas y ganancias simuladas para el portafolio actual. Con estos valores se determina el percentil asociado al intervalo de confianza y posteriormente se halla el VaR del conjunto de activos.

Para el cálculo del VaR, se debe emplear la siguiente ecuación:

$$L_t = \sum_{i=1}^k V_k R_{kt}$$

Donde, “ $L_t$  es la serie de cambios en el valor de un activo financiero ( $k_i$ ), los cuales se suman en cada momento del tiempo replicando la serie de rendimientos históricos  $R_t$  ordenados de menor a mayor” (Salinas, 2.009, p. 9).

### 2.3.3 Modelo Monte Carlo estructurado (MCE)

Según Jorion (2.004), este modelo se ha caracterizado por ser el método analítico más completo debido a que cubre un extenso rango de posibles valores en las variables financieras y considera completamente las correlaciones. Adicionalmente, permite cuantificar una gran variedad de riesgos entre los cuales se encuentran el riesgo de precio, volatilidad y crédito.

En esta metodología se “aproxima el comportamiento de los precios de activos financieros, utilizando simulaciones computarizadas para generar caminatas aleatorias de precios” (Jorion, 2.004, p. 253). Específicamente, se simula el valor que podría tener un portafolio en un espacio de tiempo específico y en diferentes escenarios. El VaR del portafolio se puede extraer, entonces, de la distribución de los valores del portafolio que fueron simulados.

Es necesario tener en cuenta que el MCE puede calcularse para casos en los que se requiera simulaciones con una sola variable aleatoria y simulaciones con varianzas múltiples.

- Simulaciones con una variable aleatoria

A continuación, se registran los pasos para el cálculo de simulaciones con una variable aleatoria, según Jorion (2.004):

- En primer lugar se elige un modelo estocástico específico para el comportamiento de los precios. Normalmente, se utiliza el movimiento geométrico browniano, en el cual se asume que cualquier modificación en el precio del activo no está correlacionada en el tiempo. El modelo se considera browniano ya que su varianza presenta un comportamiento decreciente con el intervalo del tiempo. Si el proceso estocástico elegido para el precio no es realista, tampoco lo será el VaR.

- El análisis numérico comienza con la generación de números aleatorios conforme a una distribución uniforme sobre el intervalo (0,1) del cual se derivan variables aleatorias con la cuales se obtienen precios.
- Se calcula el valor del activo bajo la secuencia particular de precios en el periodo de tiempo establecido.

Finalmente se requiere repetir los dos últimos pasos las veces necesarias con el fin de obtener una distribución de los valores del activo para los cuales puede ser hallado el valor en riesgo. Cabe aclarar que a medida que se incrementa el número de iteraciones, la estimación se aproxima al valor real.

- Simulaciones con varianzas múltiples

Continuando con Jorion (2.004), en el caso más general cuando se evidencian variables múltiples, se debe considerar una diversidad de fuentes de riesgo. No obstante, ante la ausencia de correlación entre las variables, la aleatorización se podría ejecutar de forma independiente. Por lo tanto, con el fin de hallar VaR se debe realizar lo siguiente:

- Factorización de Cholesky: “Una matriz simétrica tiene factorización de Cholesky si existe U triangular superior invertible tal que  $A = UTU$ . Si los elementos diagonales de U son positivos, la factorización es única. Por esto, se puede hablar de la factorización de Cholesky” (Mora, 2.011, p.2).

Lo anterior explica “cómo puede crearse un conjunto multivariado de variables aleatorias, a partir de componentes constitutivos simples consistentes en variables i-ésimas. Además proporciona un método para generar variables correlacionadas, este enfoque proporciona una valiosa profundización en el proceso de generación de números aleatorios” (Jorion, 2.004, p. 265).

- Número de factores independientes: para que la descomposición funcione, la matriz debe ser positiva definida. Por lo tanto, el número de observaciones debe tener por lo menos el mismo tamaño de las fuentes de riesgo. Además, la serie no puede estar linealmente correlacionada.

Por último, se deben llevar a cabo las simulaciones de la misma forma que se describió anteriormente en la sección “Simulaciones con una variable aleatoria” del presente documento, para así encontrar la distribución del valor del portafolio bajo un conjunto complejo de variables predeterminadas y proceder con el cálculo del VaR.

#### 2.4 Cobertura con derivados

De acuerdo con Hull (2.002), un contrato de futuros es un acuerdo realizado entre dos partes en el cual se pacta comprar o vender un activo en una fecha futura a un precio determinado, de igual manera un contrato forward es un contrato a plazo que cumple con las mismas características de los contratos de futuros, con la diferencia de que estos son transados en mercados over the counter (mercados no organizados).

Las opciones pueden ser de dos tipos, de compra (Call) y de venta (Put) y dependiendo de la posición que tome el titular tiene el derecho en una fecha futura, de comprar o vender un activo de acuerdo a las condiciones definidas desde el momento de la negociación.

Los contratos de futuros y opciones han tomado gran importancia en el mundo financiero, ya que les ha permitido a los diferentes inversionistas cubrir posiciones, especular y arbitrar.

Una estrategia de cobertura con contratos de futuros se da con el fin de cubrir un riesgo específico y para ello se pueden realizar coberturas corta o una posición corta en los contratos de futuros cuando a la fecha se tiene una posición en el activo a cubrir, o una posición larga en el contrato de futuros cuando no se tiene la posición en el activo pero se tiene la certeza de que se tendrá en el futuro.

#### 2.5 Modelos de validación

Si bien es cierto el VaR es considerado como una herramienta que permite predecir el riesgo de una forma coherente. Sin embargo, estos modelos deben ser validados con el fin de identificar si se encuentran bien calibrados con respecto a los parámetros utilizados. Para lo anterior se puede utilizar instrumentos como el Backtesting. A continuación, se introduce este concepto de acuerdo con Jorion (2.007).

### 2.5.1 Backtesting

La técnica del Backtesting consiste en validar si las pérdidas actuales son coherentes con las proyectadas. Para esto, se realiza una comparación de la predicción histórica del VaR con los retornos asociados a los portafolios, o las pérdidas que se están obteniendo. Si el modelo se encuentra bien elaborado, el número de observaciones que caen por fuera del VaR (excepciones) debe estar en línea con el nivel de confianza. De esta forma, si el cálculo del VaR se realizó con un nivel de confianza del 95%, será razonable que el 5% de las veces las pérdidas encontradas estén por fuera del VaR.

Es importante anotar que cuando se evidencian muchas excepciones, el modelo puede estar subestimando las pérdidas. De igual forma con muy pocas excepciones, se puede estar sobrestimando el VaR y conduciendo a la ineficiencia. Para solucionar lo anterior, se pueden realizar pruebas de contraste estadístico. Kupiec en el año 1.995 propuso un contraste de dos colas, para lo cual es utilizado el estadístico LR que se distribuye como Chi-cuadrado con un grado de libertad.

$$LR = -2 \ln((1 - p)^{n-m} (p)^m) + 2 \ln((1 - m/n)^{n-m} (m/n)^m)$$

Donde,

p: probabilidad de fracasar de acuerdo al nivel de confianza<sup>1</sup>

m: número de fallos

n: número de observaciones

m/n: tasa de fallos

De acuerdo a esta metodología, se tienen las siguientes hipótesis:

$$H_0: \text{tasa de fallos} = p$$

$$H_a: \text{tasa de fallos} \neq p$$

Las regiones de no rechazo (al 95% de confianza) para cada uno de los niveles de confianza del VaR, se muestran a continuación:

---

<sup>1</sup> n \* (1-nivel de confianza)

Regiones de no Rechazo (Nivel de confianza 95%)	
Nivel de Confianza VaR	n = 600
90%	46 < m < 75
95%	20 < m < 42
99%	1 < m < 12

Si la prueba cae en la región de no rechazo es porque no existen evidencias que permitan rechazar con certeza el modelo.

### 3 Método de solución

Con el fin de realizar una recomendación adecuada a la problemática establecida, se asistió al curso de verano “Gestión de Riesgos de Mercado” ofrecido por la Universidad EAFIT en junio de 2015. Dicho curso estuvo precedido por la Doctora Rosa Rodríguez quien a la fecha se desempeñaba como profesora titular de Economía Financiera y Contabilidad en la Universidad Carlos III de España. En este curso se obtuvieron los conocimientos iniciales para abordar desde la academia la aplicación de las diferentes metodologías para la medición del valor en riesgo.

Adicionalmente, se realizaron consultas de diferentes fuentes bibliográficas especializadas en cada una de las metodologías y estudios desarrollados en los que fueron utilizados los diferentes métodos para el cálculo del VaR. Paralelamente, se realizaron encuestas (ver Anexo 1. Formato de encuesta) a funcionarios con amplia experiencia en la temática abordada de la Administradora de Fondos de Pensiones y Cesantías Protección S.A, donde evidenció la utilidad y eficiencia del cálculo del VaR en el día a día del proceso de inversiones.

A partir de la información recopilada se construyó una tabla resumen de ventajas de desventajas de cada uno de los modelos de valor en riesgo estudiados. Una vez abordado el tema desde la academia, se procedió con el cálculo del VaR para portafolios con diferentes perfiles de riesgo y niveles de cobertura. Específicamente se construyeron tres portafolios con los mismos activos y se realizaron variaciones en los porcentajes de concentración de cada uno de ellos. De esta forma, se creó un portafolio con perfil de riesgo conservador, moderado y alto riesgo. Los porcentajes utilizados se establecieron de acuerdo a lo observado en los reportes “Portafolio de inversión – Fondos de pensiones obligatorias – Moderado”,

“Portafolio de inversión – Fondos de pensiones obligatorias – Conservador” y “Portafolio de inversión – Fondos de pensiones obligatorias – Mayor Riesgo”, publicados por la Superintendencia Financiera de Colombia en su página web<sup>2</sup>.

Los datos para la creación de los portafolios fueron tomados de ©2015 Bloomberg L.P. y su composición está dada por los siguientes títulos:

- Standard & Poor's 500 Index - S&P 500: índice de 500 acciones elegidas por el tamaño del mercado, la liquidez y la industria, entre otros factores. El S&P 500 está diseñado para ser un indicador líder en renta variable de Estados Unidos que refleja el riesgo/retorno de las grandes empresas. El S&P 500 es un índice ponderado por valor de mercado, es decir, el peso de cada acción es proporcional a su valor de mercado (© 2015, Investopedia, LLC).
- Ishares core u.s. aggregate: realiza un seguimiento a los resultados de la inversión de Barclays U.S. Aggregate Bond Index (the “Underlying Index”), que mide el rendimiento del total del mercado de bonos de grado de inversión de EE.UU. El subyacente del índice incluye bonos del Tesoro EE.UU., bonos relacionados con el gobierno, bonos corporativos, títulos respaldados por hipotecas comerciales y por títulos ofrecidos públicamente en el mercado de Estados Unidos (©2015 BlackRock, Inc).
- TES 20: títulos de tesorería emitidos por el Gobierno colombiano en julio de 2005 que paga cupones anuales y que tiene fecha de maduración el 24 de julio de 2020.
- Acciones locales: se tomaron acciones de las siguientes 5 empresas listadas en la Bolsa de Valores de Colombia: Bancolombia Preferencial, Ecopetrol SA, Grupo de Inversiones Suramericana, Grupo Argos SA y Grupo Nutresa SA.
- Generic 1st 'CO' Future: hace referencia al precio del contrato de futuro activo más cercano del Brent.

Para el desarrollo del ejercicio se tuvo en cuenta 2 escenarios, con cobertura y sin cobertura de moneda. Los porcentajes de cobertura se establecieron según el perfil de riesgo del portafolio. Cabe resaltar que bajo el escenario con cobertura se utilizaron instrumentos financieros derivados forward y opciones de TRM, con fecha de vencimiento a un mes.

---

<sup>2</sup> [www.superfinanciera.gov.co](http://www.superfinanciera.gov.co)

Para cada uno de los portafolios se calculó el valor en riesgo usando VaR Histórico, VaR Paramétrico y Simulación Montecarlo. En los primeros dos casos se utilizó como herramienta tecnológica Microsoft Excel® 2013 y para el último se empleó Oracle's Crystal Ball®. Todas las metodologías fueron corridas bajo las licencias adquiridas por el Centro de Informática de la Universidad EAFIT.

Para corroborar los resultados obtenidos y ajustar el desempeño de las metodologías utilizadas, se llevó a cabo la prueba de backtesting, teniendo en cuenta 600 datos. Esta validación se realizó en Microsoft Excel® 2013. Los resultados fueron analizados principalmente teniendo en cuenta la perspectiva de riesgo. Adicionalmente, el análisis se complementó por medio de contratos estadísticos, utilizando específicamente la prueba Chi-Cuadrado a un 95% de confianza.

Finalmente, se analizó el conjunto de resultados y se validaron contra las ventajas y desventajas evidenciadas en la revisión teórica, permitiendo así proporcionar una recomendación final para los beneficiarios del tema.

#### 4 Presentación y análisis de resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos una vez realizada la investigación teórica y la puesta en práctica de cada una de las metodologías seleccionadas para medir el valor en riesgo del portafolio diseñado para efectos del presente estudio.

##### 4.1 Ventajas y desventajas

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los Modelos del VaR

VaR Histórico	
Ventajas	Desventajas
Ágil implementación debido a que se basa en datos históricos, los cuales pueden ser obtenidos fácilmente y reutilizados para futuros cálculos. Al haber sido observados, se consideran escenarios altamente probables.	El cálculo se encuentra altamente influenciado por el horizonte de tiempo considerado. Dependiendo del rango asumido, existe la posibilidad de incluir o excluir eventos extremos ocurridos en el pasado y que pueden ser modificadores del resultado obtenido. Al tener en cuenta un periodo corto de tiempo se le da más importancia al pasado reciente. Adicionalmente, este método asume el mismo peso para todas las observaciones.
No se requiere agregar volatilidades, basta con recoger los datos históricos para el horizonte de tiempo seleccionado.	Los volúmenes de datos de las series históricas pueden llegar a ser muy altos, por lo que se vuelve

	compleja la manipulación de los mismos en una cartera con muchos activos.
Para su cálculo se tienen en cuenta las pérdidas y ganancias de los activos financieros, por lo cual no es necesario calcular la matriz de varianzas y covarianzas.	Las pérdidas calculadas nunca serán superiores a las observadas, por lo que no se estiman cambios estructurales del mercado diferentes a los evidenciados.
No contiene supuestos paramétricos. No asume distribución normal para los retornos y es aplicable a instrumentos lineales.	Subjetividad del gestor en la elección del horizonte de tiempo. Se basa en el supuesto que el pasado explica acertadamente el futuro próximo.
No requiere aplicativos especializados para su desarrollo. Por lo tanto, no se incurre en altos costos para la adquisición de Software especializados.	Lentitud en el cálculo y sin posibilidad de modificar las volatilidades utilizadas. No se incorporan fácilmente las variaciones de los rendimientos diarios. Su cálculo puede ser complejo para portafolios diversificados y con un elevado número de activos.
Método robusto e intuitivo. No se tiene el problema de colas gruesas.	
No se hace necesaria la descomposición o simplificación de los instrumentos del portafolio.	

#### VaR Paramétrico

Ventajas	Desventajas
Ágil implementación ya que generalmente utiliza la distribución normal para los retornos.	Los activos financieros no siempre se distribuyen normalmente. Existen evidencias que permiten afirmar que éstos, en la mayoría de casos, presentan colas gruesas. De esta forma, el asumir normalidad puede llevar a subestimar los datos extremos que son relevantes para el cálculo del VaR.
No se requiere del desarrollo de modelos econométricos ni de conocimientos estadísticos avanzados. La fuente de información proviene de datos históricos.	No es recomendable para portafolios compuestos en mayor medida por posiciones no lineales (ejemplo opciones) debido a que no es eficaz en capturar los riesgos de este tipo. Supone que la matriz de varianzas y covarianzas no sufren modificaciones en el rango de tiempo asumido.
No es necesaria la utilización de aplicativos para su desarrollo. Por lo tanto, no se incurre en altos costos para la adquisición de Software especializados.	

#### Simulación Monte Carlo

Ventajas	Desventajas
Se considera el método más eficaz y de mayor flexibilidad para la estimación de riesgos debido a que se tienen fluctuaciones aleatorias del comportamiento del mercado y no se da por hecho una distribución particular de los rendimientos.	Requiere de un Software especializado para garantizar el cálculo adecuado en un tiempo razonable, además de un personal altamente calificado, lo que podría implicar altos costos.

Poca subjetividad ya que este método se basa en escenarios aleatorios.	Alta subjetividad por parte del gestor en la elección de la distribución de probabilidad de los factores de mercado y del modelo que describe el comportamiento de los precios. Se puede incurrir en una mala decisión.
Puede simular múltiples cambios estructurales del mercado por lo que la estimación de la pérdida potencial puede ser más precisa.	
Es aplicable a instrumentos lineales y no lineales, incluidos activos altamente complejos como las opciones exóticas. Tiene en cuenta el riesgo no lineal, riesgo de volatilidad y riesgo de modelo.	
No se tiene el problema de colas gruesas. Es posible incluir variaciones en la volatilidad y eventos extremos.	
Permite la recomposición del portafolio y modificaciones en los parámetros utilizados en la simulación.	
No se hace necesaria la descomposición o simplificación de los instrumentos del portafolio.	

Fuente: Elaboración Propia

## 4.2 Resultados del modelo

### 4.2.1 Supuestos

Con el fin de construir los portafolios y desarrollar cada una de las metodologías se tuvo en cuenta los siguientes supuestos:

- Valor del portafolio: COP 100.000 millones
- Historia de precios: 01/01/2008 - 01/09/2015
- Porcentajes de concentración por perfil de riesgo:

Tabla 2. Conformación del Portafolio

Portafolio				
Activo	Instrumento	Conservador	Moderado	Alto Riesgo
Renta Variable Local	BANCOLOMBIA SA-PREF ECOPETROL SA GRUPO DE INV SURAMERICANA GRUPO ARGOS SA GRUPO NUTRESA SA	5%	20%	20%

Renta Variable Internacional	SPDR S&P 500 ETF TRUST	8%	30%	55%
Renta Fija Local	TES 20	80%	45%	20%
Renta Fija Internacional	ISHARES CORE U.S. AGGREGATE	5%	3%	3%
Commodities	Generic 1st 'CO' Future	2%	2%	2%
Total		100%	100%	100%

Fuente: Elaboración Propia

- Escenarios de cobertura:

La cobertura se realizó con forward y opciones, para lo cual se utilizó el método de valoración de no arbitraje<sup>3</sup> y black-scholes<sup>4</sup>, respectivamente. En la valoración de los instrumentos derivados mencionados anteriormente, se utilizó como tasa de descuento el diferencial entre la tasa local (IBR) y la tasa del exterior (LIBOR).

Se utilizaron los siguientes porcentajes de cobertura de acuerdo al perfil de riesgo:

Tabla 3. Cobertura de acuerdo al perfil de riesgo

Cobertura	Conservador	Moderado	Alto Riesgo
	80%	60%	50%

Fuente: Elaboración Propia

- Volatilidad:

En la simulación Montecarlo se realizó el cálculo de la volatilidad bajo el modelo EWMA. Si bien es cierto, la limitación de la volatilidad simple utilizada en el VaR histórico, radica en que todos los retornos tienen el mismo peso. Lo anterior, es solucionado por las medias móviles ponderadas exponencialmente (EWMA por sus cifras en inglés), en donde los retornos más recientes tienen un peso más alto. En el modelo EWMA se utiliza el parámetro de suavización lambda, el cual debe estar entre cero y uno (© 2015, Investopedia, LLC). En este caso, se utilizó el valor de 0.94 (94%) para este parámetro, de acuerdo a las recomendaciones realizadas en el documento técnico de RiskMetricsTM realizado

3 Determina el precio justo a partir del diferencial de tasas de interés de las monedas en que se está negociando el instrumento.

4 Es el método más comúnmente utilizado para la valoración de opciones donde el inversionista mantiene una cartera protegida y libre de riesgo, la cual está compuesta por una opción y una posición teórica equivalente de títulos subyacentes, de manera que la rentabilidad del portafolio sea igual al tipo de interés libre de riesgo (Fernández, 1.996)

inicialmente por J.P Morgan. De esta forma, peso se puede expresar de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Peso = (1 - \lambda)\lambda^t$$

Donde,

$$\lambda = 0.94 \text{ (94\%)}$$

t= periodo de tiempo que inicia en cero (dato más reciente) y va creciendo exponencialmente hasta llegar al último dato (dato más antiguo).

Para el cálculo del VaR histórico y VaR paramétrico, la volatilidad fue hallada como la desviación de los rendimientos históricos.

- Cálculo VaR paramétrico

La Superintendencia Financiera de Colombia publica mensualmente en su página Web<sup>5</sup>, la “Matriz para el Reporte Oficial de Riesgos de Mercado” (ver Anexo 2. Matriz Correlaciones Ordenada), en la cual se pre-establecen las correlaciones por grupo de activos. Las AFPs deben utilizar dicha matriz para su cálculo del VaR a reportar, para lo cual deben clasificar los activos de cada uno de sus portafolios en los grupos prediseñados por el ente regulador. Una vez calculada la pérdida máxima, se suman linealmente dos riesgos adicionales denominados “Vega”<sup>6</sup> y “Gamma”<sup>7</sup> con el fin de suplir la limitante de esta metodología cuando se incluyen activos asimétricos como las opciones.

Para efectos del presente estudio, el cálculo del VaR paramétrico se realizó calculando la matriz de correlaciones entre todos los activos de cada uno de los portafolios. Por lo tanto, no se utilizó la matriz predefinida por la Superintendencia.

---

<sup>5</sup> <https://www.superfinanciera.gov.co>, sección interés del vigilado, reportes.

<sup>6</sup> Riesgo que existe de que varíe el valor de la cartera debido a cambios de la volatilidad del activo subyacente. Su cálculo permite obtener en términos monetarios la apreciación (depreciación) de una cartera por cada punto porcentual de variación de la volatilidad (Gomez y Lopez, 2.002).

<sup>7</sup> Riesgo de variación del Delta respecto a variaciones del activo subyacente (sensibilidad del Delta). Surge cuando la relación entre el precio del subyacente y el valor de la cartera no es lineal e indica la velocidad de los ajustes para posiciones del Delta Neutral. Por su parte la Delta, mide el impacto en el valor de la cartera como consecuencia de movimientos del precio del activo subyacente en una u otra dirección (Gomez y Lopez, 2.002).

## 4.2.2 Resultados

- VaR histórico

Tabla 4. VaR Histórico para cada Portafolio

VaR Histórico Portafolio Conservador						
Nivel de Confianza	VaR %			VaR en COP		
	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	-0,27%	-0,30%	-0,28%	(271.898.993)	(301.572.237)	(281.589.393)
95%	-0,49%	-0,53%	-0,51%	(487.177.016)	(527.899.233)	(505.479.494)
99%	-1,13%	-1,21%	-1,14%	(1.134.792.922)	(1.208.730.641)	(1.135.836.623)
VaR Histórico Portafolio Moderado						
Nivel de Confianza	VaR %			VaR en COP		
	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	-0,41%	-0,43%	-0,42%	(413.491.119)	(432.191.396)	(424.870.904)
95%	-0,67%	-0,69%	-0,68%	(668.680.312)	(691.465.710)	(683.080.332)
99%	-1,42%	-1,50%	-1,43%	(1.422.727.844)	(1.495.743.589)	(1.429.683.095)
VaR Histórico Portafolio Alto Riesgo						
Nivel de Confianza	VaR %			VaR en COP		
	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	-0,56%	-0,55%	-0,57%	(561.174.249)	(554.616.175)	(572.447.662)
95%	-0,86%	-0,91%	-0,89%	(861.320.826)	(911.341.870)	(885.736.167)
99%	-1,79%	-2,02%	-1,84%	(1.786.218.036)	(2.018.028.000)	(1.840.344.413)

Fuente: Elaboración Propia

- VaR paramétrico

Tabla 5. VaR Paramétrico para cada Portafolio

VaR Paramétrico Portafolio Conservador						
Nivel de Confianza	VaR %			VaR en COP		
	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	-0,44%	-0,47%	-0,47%	(435.601.321)	(466.657.939)	(466.657.939)
95%	-0,56%	-0,60%	-0,60%	(559.088.242)	(598.948.981)	(598.948.981)
99%	-0,79%	-0,85%	-0,85%	(790.729.171)	(847.104.974)	(847.104.974)
VaR Paramétrico Portafolio Moderado						
Nivel de Confianza	VaR %			VaR en COP		
	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	-0,65%	-0,62%	-0,62%	(652.050.734)	(624.373.830)	(624.373.830)
95%	-0,84%	-0,80%	-0,80%	(836.898.056)	(801.375.135)	(801.375.135)
99%	-1,18%	-1,13%	-1,13%	(1.183.640.892)	(1.133.400.147)	(1.133.400.147)
VaR Paramétrico Portafolio Alto Riesgo						

Nivel de Confianza	VaR %			VaR en COP		
	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	-0,96%	-0,87%	-0,87%	(962.838.426)	(869.865.316)	(869.865.316)
95%	-1,24%	-1,12%	-1,12%	(1.235.789.740)	(1.116.460.047)	(1.116.460.047)
99%	-1,75%	-1,58%	-1,58%	(1.747.801.013)	(1.579.030.750)	(1.579.030.750)

Fuente: Elaboración Propia

- Simulación Monte Carlo

Tabla 6. VaR Simulación Monte Carlo para cada Portafolio

VaR MC Portafolio Conservador						
Nivel de Confianza	VaR %			VaR en COP		
	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	-0,40%	-0,47%	-0,39%	(400.000.000)	(470.000.000)	(390.000.000)
95%	-0,47%	-0,57%	-0,47%	(470.000.000)	(570.000.000)	(470.000.000)
99%	-0,62%	-0,76%	-0,62%	(620.000.000)	(760.000.000)	(620.000.000)
VaR MC Portafolio Moderado						
Nivel de Confianza	VaR %			VaR en COP		
	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	-1,03%	-1,06%	-0,96%	(1.030.000.000)	(1.060.000.000)	(960.000.000)
95%	-1,22%	-1,28%	-1,15%	(1.220.000.000)	(1.280.000.000)	(1.150.000.000)
99%	-1,59%	-1,62%	-1,51%	(1.590.000.000)	(1.620.000.000)	(1.510.000.000)
VaR MC Portafolio Alto Riesgo						
Nivel de Confianza	VaR %			VaR en COP		
	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones	Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	-1,59%	-1,51%	-1,45%	(1.590.000.000)	(1.510.000.000)	(1.450.000.000)
95%	-1,89%	-1,79%	-1,73%	(1.890.000.000)	(1.790.000.000)	(1.730.000.000)
99%	-2,50%	-2,45%	-2,26%	(2.500.000.000)	(2.450.000.000)	(2.260.000.000)

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3 Principales Hallazgos

- VaR histórico: este modelo parte del hecho que todos los datos tienen el mismo peso, es por eso que en muchos casos se observa un menor valor del VaR. Para el ejercicio propuesto se tomó un horizonte de tiempo desde el año 2.008 hasta septiembre de 2.015, si bien se incluyó la época de crisis financiera, el efecto de la misma se vio mitigado por el amplio rango de datos incluidos dentro del ejercicio. Sin embargo, para el caso del portafolio de Alto Riesgo, se observa un mayor valor del VaR para el 95% y 99% de confianza con respecto al modelo paramétrico, ya que aunque se

evidencia una correlación positiva entre los activos de renta variable internacional y renta variable local, dicha correlación es cercana a cero. Adicionalmente se observa una correlación negativa entre los activos de renta variable internacional y renta fija local, por lo que la composición del portafolio en este caso ayuda a disminuir en cierta medida la pérdida máxima de la cartera.

- VaR paramétrico: debido a que las opciones no son simétricas en su liquidación, el VaR paramétrico presenta un limitante evidenciado en la similitud de los datos con respecto a la cobertura con Forward resultado de la dificultad del modelo cuando se incluyen posiciones no lineales. En una cobertura con opciones, cuando se compra una opción put, por ejemplo, se tienen limitadas las pérdidas ante una subida en el precio spot, por lo que lo máximo que se pierde es la prima que se pagó. Si bien es cierto, el VaR paramétrico supone normalidad, sin embargo, la distribución del PyG de las opciones no siguen dicha distribución normal sino que se encuentra en función de unas pérdidas limitadas y de una utilidad. De esta forma, en el caso que el precio del subyacente caiga significativamente, se tiene derecho de venderlo más caro, ganándose así un diferencial (PyG). Lo anterior, en una distribución de probabilidad, tendría entonces unas pérdidas limitadas y una cola más ancha a la derecha, lo cual es diferente a la normal. Por lo tanto, esta metodología no es capaz de recoger la característica asimétrica de los derivados no lineales, como las opciones.
- Simulación Montecarlo: dada la composición de los portafolios Moderado y Alto Riesgo, donde el activo de renta fija local pierde protagonismo y se evidencia un incremento en la participación de activos con mayor volatilidad como los incluidos en renta variable local e internacional, se observa un mayor valor del VaR calculado en la mayoría de escenarios por medio de la simulación Montecarlo con respecto a las otras metodologías. Esto es explicado principalmente por la medición de la volatilidad bajo el modelo EWMA, donde se asignan diferentes pesos al pasado dándole mayor relevancia al pasado más reciente, momento caracterizado por altas volatilidades en los activos de renta variable local, especialmente en la acción de Ecopetrol la cual ha sido castigada por los inversionistas por la caída en el precio internacional del petróleo. Aunque no se desconoce que la mayor volatilidad en el

periodo objeto de estudio se presentó en la época de crisis del 2.008, es necesario resaltar que la volatilidad EWMA suavizó exponencialmente la serie dando un menor peso a dicha historia.

- Diversificación: para todos los portafolios se evidencian correlaciones positivas entre la mayoría de activos, a excepción del activo de renta fija internacional el cual presenta correlación negativa con todos los de presencia local y commodities. Si bien es cierto, una menor correlación entre las rentabilidades supone mayor diversificación del riesgo. Por lo tanto, para el caso de estudio, aunque los activos diversifican el portafolio, no lo hacen en gran medida, por lo que la correlación positiva incrementa el riesgo y por ende el VaR. De esta forma, se observa una mayor pérdida esperada bajo las metodologías que se calculan teniendo en cuenta la matriz de correlaciones, como lo son el VaR paramétrico y simulación Montecarlo.
- Cobertura: como se puede observar en las tablas anteriores, el cálculo del VaR para los portafolios conservador y moderado bajo las tres metodologías, es menor cuando se encuentran expuestos a moneda extranjera (sin cobertura). Por el contrario, en el perfil de alto riesgo, al tener un menor porcentaje de cobertura, el VaR se disminuye cuando el portafolio se cubre con forward y opciones, calculado por las metodologías histórico (al 90% de confianza con cobertura forward) y paramétrico y Montecarlo (en todos los niveles de confianza).

Bajo este orden de ideas, en general el nivel de pérdida máxima esperada se incrementa en los casos en que el portafolio se cubre con derivados de moneda. Si el portafolio estuviera compuesto únicamente por activos en moneda extranjera, el efecto de la cobertura sería positivo ya que disminuiría el VaR. Para este caso de estudio, al tener un portafolio compuesto por diferentes clases de activos, el dólar podría tener un efecto diversificador, explicado por la correlación negativa entre éste y los demás activos (ver Anexo 3. Correlaciones de activos del portafolio), sin embargo, teniendo en cuenta la coyuntura actual especialmente la relacionada con la disminución en el precio del petróleo, se ha evidenciado en los últimos meses una alta revaluación en el dólar (ver Anexo 4. Volatilidad de la TRM) por lo que la cobertura tanto con forward como con opciones, actúa desfavorablemente en el desempeño del

portafolio, ya que en este sentido el estar expuesto a moneda extranjera generaría un mayor retorno. Adicionalmente, el tener cobertura de derivados de moneda amplía el riesgo total del portafolio.

#### 4.3 Pruebas de contraste

Dado el objetivo principal del estudio enfocado en determinar cuál de las metodologías seleccionadas se ajusta más a la realidad actual del mercado colombiano, se tomó el rango de las últimas 600 observaciones en la prueba backtesting. Las áreas sombreadas de las tablas a continuación hacen referencia al número de observaciones que cayeron en área de no rechazo de acuerdo al contraste estadístico realizado.

##### 4.3.1 Backtesting

- Backtesting para el modelo de VaR Histórico

Tabla 7. Backtesting VaR Histórico para cada Portafolio

<b>VaR Histórico Portafolio Conservador</b>				
<b>Nivel de confianza</b>	<b>Número de fracasos esperado</b>	<b>Número de fallos</b>		
		<b>Sin Cobertura</b>	<b>CC Forward</b>	<b>CC Opciones</b>
90%	60	28	31	27
95%	30	11	11	7
99%	6	-	1	-
<b>Portafolio Moderado</b>				
<b>Nivel de confianza</b>	<b>Número de fracasos esperado</b>	<b>Número de fallos</b>		
		<b>Sin Cobertura</b>	<b>CC Forward</b>	<b>CC Opciones</b>
90%	60	51	55	52
95%	30	22	16	17
99%	6	-	2	-
<b>Portafolio Alto Riesgo</b>				
<b>Nivel de confianza</b>	<b>Número de fracasos esperado</b>	<b>Número de fallos</b>		
		<b>Sin Cobertura</b>	<b>CC Forward</b>	<b>CC Opciones</b>
90%	60	50	47	50
95%	30	21	17	20
99%	6	-	1	-

Fuente: Elaboración Propia

- Backtesting para el modelo de VaR Paramétrico

Tabla 8. Backtesting VaR Paramétrico para cada Portafolio

Portafolio Conservador				
Nivel de confianza	Número de fracasos esperado	Número de fallos		
		Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	60	11	13	13
95%	30	4	8	8
99%	6	1	2	2
Portafolio Moderado				
Nivel de confianza	Número de fracasos esperado	Número de fallos		
		Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	60	23	24	24
95%	30	10	10	10
99%	6	2	6	6
Portafolio Alto Riesgo				
Nivel de confianza	Número de fracasos esperado	Número de fallos		
		Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	60	17	21	21
95%	30	9	11	11
99%	6	-	3	3

Fuente: Elaboración Propia

- Backtesting para el modelo Simulación Monte Carlo

Tabla 9. Backtesting VaR Simulación Monte Carlo para cada Portafolio

VaR MC Portafolio Conservador				
Nivel de confianza	Número de fracasos esperado	Número de fallos		
		Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	60	14	13	15
95%	30	11	9	12
99%	6	3	3	3
VaR MC Portafolio Moderado				
Nivel de confianza	Número de fracasos esperado	Número de fallos		
		Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	60	5	7	6
95%	30	-	4	3
99%	6	-	1	-
VaR MC Portafolio Alto Riesgo				
Nivel de confianza	Número de fracasos esperado	Número de fallos		
		Sin Cobertura	CC Forward	CC Opciones
90%	60	-	4	4
95%	30	-	2	-
99%	6	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.2 Principales hallazgos del backtesting

De acuerdo con el test de frecuencia, se puede considerar que un modelo ha fallado cuando las pérdidas obtenidas superan el VaR calculado a un determinado nivel de confianza (fracasos). Para la gestión de cartera, el nivel de VaR debe ser tal que no sobrestime ni subestime en gran medida las pérdidas. Números muy altos de fracasos supone una subestimación de la probabilidad de grandes pérdidas, mientras que un número muy inferior implica un modelo demasiado conservador. Para la gestión de riesgos, lo más importante es que no se subestimen las pérdidas, por lo que entre más conservador sea el modelo, podría recoger de mejor forma los eventos adversos inesperados.

En el caso de estudio ningún modelo supera el número esperado de fallos para todos los niveles de confianza, por lo que desde la perspectiva de gestión de riesgos, todos los modelos se pueden considerar propicios para la cuantificación del riesgo de mercado. Sin embargo, se observan valores muy por debajo del número esperado de fallos, suponiendo así ineficiencias en la gestión de la cartera ya que para las entidades implica designar un mayor número de provisiones sin ser necesario, generando un alto costo de oportunidad.

Si se considera el contraste estadístico introducido por Kupiec, el modelo histórico no es rechazado en su totalidad para los portafolios moderado y alto riesgo; para el portafolio conservador, éste no se considera rechazado únicamente al 90% de confianza. En cuanto al modelo paramétrico, el contraste estadístico admite no rechazar en su totalidad el portafolio moderado; el portafolio alto de riesgo no es rechazado para los niveles de confianza al 95% y 99%; y el portafolio conservador no es rechazado al 99% de confianza. Por último, el VaR calculado por medio de Simulación Montecarlo, no es rechazado para el portafolio conservador y moderado (con cobertura forward) al 99% de confianza.

Bajo este orden de ideas,

## **5 Conclusiones**

Como resultado de las crisis financieras, las diferentes autoridades han introducido modificaciones en el marco regulatorio y propuesto técnicas de medición riesgos entre las que se incluye el VaR para la cuantificación del riesgo de mercado.

Una vez analizadas las diferentes metodologías propuestas en este trabajo, desde la teoría y práctica, incluida la establecida por la Superintendencia Financiera de Colombia para las AFPs, se encontraron las siguientes consideraciones:

- Es necesario seleccionar adecuadamente los activos del portafolio garantizando la mayor eficiencia en las correlaciones con el fin de que se cumpla con el efecto diversificador deseado y así disminuir la pérdida esperada.
- La cobertura con derivados de moneda puede contribuir a la disminución del riesgo de mercado al que se encuentra expuesta una determinada entidad. Sin embargo, es necesario analizar con profundidad la coyuntura actual de la economía, especialmente el comportamiento de la moneda y su efecto sobre el portafolio, ya que en algunos casos es mejor estar descubierto para no aumentar el riesgo de cartera (dado la correlación positiva entre los activos) y por el contrario incrementar el beneficio vía retorno.
- El método paramétrico propuesto por el ente regulador a las AFPs impone supuestos generales para todas las entidades con el objetivo de estandarizar la información utilizada para el cálculo del VaR. Sin embargo, se evidencian limitantes en dicho modelo en el momento en que se incluyen instrumentos asimétricos como las opciones. Para suplir lo anterior, la Superintendencia Financiera establece la adición del riesgo Gamma y Vega. Sin embargo, esto no se considera apropiado en la práctica ya que no refleja el riesgo total de la cartera. Adicionalmente, el modelo queda limitado al suponer distribución normal debido a que no todos los activos se comportan de dicha manera.

Por lo tanto, para la gestión de riesgo se recomienda a las entidades expuestas a volatilidades en sus activos, que dado el comportamiento del mercado se realicen mediciones complementarias por más de una metodología incluyendo la de VaR histórico, que es la recomendada por el backtesting, y la Simulación Montecarlo la cual se considera que recoge de mejor forma las características de instrumentos lineales y no lineales y es capaz de incluir el dinamismo del mercado a través de la estimación de la volatilidad por método EWMA. Adicionalmente, Montecarlo se considera una de las metodologías más objetivas al basarse en simulaciones de múltiples escenarios, por lo que los datos utilizados no dependen de la

discreción de quien construya el modelo y por ende la pérdida máxima no será la mayor del rango seleccionado como se evidencia en el VaR histórico. Si bien el backtesting supone que la simulación Montecarlo corresponde a un método más conservador, existen evidencias para afirmar que para la administración del riesgo se considera el modelo más apropiado ya que el número de pérdidas en los activos por encima del VaR observado fue inferior a lo esperado, por lo que se puede concluir que el modelo es capaz de incluir momentos adversos incluso como los evidenciados en el año 2.008.

## 6 Referencias

©2015. Asofondos. Sistema Privado de Pensiones. En: <http://asofondos.org.co/sistema-privado-de-pensiones>. Visitado en agosto de 2015

© 2015, Investopedia, LLC. Exploring The Exponentially Weighted Moving Average. En: <http://www.investopedia.com/articles/07/ewma.asp>. Visitado en septiembre de 2015.

Alonso, J C y Semaán, P (2.009). Cálculo del Valor en Riesgo y Pérdida Esperada mediante R: empleando modelos con volatilidad constante. *Apuntes de Economía*, 000(021), 3-15. En: [http://www.icesi.edu.co/departamentos/economia/apuntes\\_de\\_economia.php](http://www.icesi.edu.co/departamentos/economia/apuntes_de_economia.php)

Bravo, O y Sanchez, M (2.007). Gestión integral de riesgos. Bogotá: Bravo & Sanchez.

Cabedo, J y Moya, I (2000). *Valor en Riesgo y recursos propios en las entidades bancarias*. Castellón de la Plana: Publicaciones de la Universidad Jaume I.

Charnes, J (2.007). Financial modeling with Crystal Ball and Excel. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

De Lara, A (2.005). Medición y control de riesgos financieros. Balderas: Limusa –Noriega Editores.

Fernández, M (1.996). *Gestión de riesgos con activos derivados*. Castellón de la plana: Publicacions de la Universitat Jaume I.

Gomez, D y Lopez, J (2.002). Riesgos financieros y operaciones internacionales. Madrid: ESIC Editorial.

Holton, G A. (2003). *Value-at-Risk: Theory and Practice*. San Diego: Academic Press.

- Hull, J (2002). *Introducción a los mercados de futuros y opciones*. Madrid: Prentice Hall.
- Jorion, P (2.004). *Valor en riesgo: El nuevo paradigma para el control de riesgo con derivados*. Balderas: Limusa –Noriega Editores.
- Jorion, P (2.007). *Value at Risk: The new benchmark for controlling market risk*. New York: McGraw-Hill.
- Lamothe, P y Contreras, E. Metodologías basadas en VaR para el análisis de riesgo en proyectos de embalses. *Revista Ingeniería de Sistemas*. XXII, 82-104.
- Machinea, J L (2009). *La crisis financiera internacional: su naturaleza y los desafíos de política económica*. Revista Cepal, 000(97), 33-56
- Marcel, M y Tapia W (2010). *Efectos de la crisis financiera sobre las Pensiones en América Latina*. Banco Interamericano de Desarrollo. En: <http://www10.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2011/07613.pdf>
- Pineda, A y Botero, A. Implementación de metodologías de cálculo de valor en riesgo (VaR) para un portafolio típico colombiano. *Fragua*, 002(0003), 63-75.
- Salinas, J (2.009). Metodologías de medición del riesgo de mercado. *Innovar*, 19(34), 187-199.
- Tung, H, Lai, D y Wong, M (2.010). *Professional Financial Computing Using Excel and VBA*. Singapore: John Wiley&Sons (Asia) Pte. Ltd.

## **Anexos**

Anexo 1. Formato de encuesta

## **ENCUESTA**

### **MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA**

Nombre Completo:
Profesión:
Cargo Actual:
Tiempo en Cargo Actual:
Empresa donde laboral Actualmente:
Experiencia en Riesgo de Mercado:

1. ¿Qué metodologías utiliza usted para la medición del Valor en Riesgo?
2. ¿Cuál es la principal crítica y la principal virtud que usted ha evidenciado en la práctica al VaR histórico?
3. ¿Cuál es la principal crítica y la principal virtud que usted ha evidenciado en la práctica al VaR paramétrico?
4. ¿Cuál es la principal crítica y la principal virtud que usted ha evidenciado en la práctica a la Simulación Monte Carlo?
5. ¿Qué horizonte de tiempo considera usted que debe ser tenido en cuenta para no subestimar o sobrestimar la exposición de una cartera?
6. ¿Cree usted que las variables de mercado siguen en la mayoría de casos una distribución normal de variables? Desde su experiencia en el área, ¿Considera que el asumir normalidad puede llegar a distorsionar las pérdidas estimadas en un portafolio? ¿En qué medida?

Anexo 2. Matriz Correlaciones ordenada

Factores		FILA	Cero Cupón Pesos			Cero Cupón UVR			Cero Cupón Tesoros			Tasas de interés variables			Tasa de Cambio		Acciones		Carteras Colectivas
			CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	DTF CP	DTF LP	IPC	TRM	COP/EUR	IGBC	Mundo desarrolla	
Cero Cupón Pesos	CP1	1	1	0.155804	-0.109064	0.164182	0.021553	0.221459	-0.075863	-0.125192	-0.000237	-0.225066	-0.167569	0.082564	0.129651	0.132147	-0.329457	-0.015468	-0.176918
	CP2	2	0.155804	1	0.194673	-0.529914	-0.228257	0.320498	-0.134363	-0.063150	-0.036159	-0.025869	0.133512	0.159991	0.315533	0.242632	0.029465	-0.124288	-0.063224
	CP3	3	-0.109064	0.194673	1	-0.086880	-0.077187	0.065927	0.269884	0.139221	-0.049619	-0.061190	-0.033048	-0.301116	-0.152699	0.333636	-0.162206	-0.219083	-0.171465
Cero Cupón UVR	CP1	4	0.164182	-0.529914	-0.086880	1	0.056508	-0.506839	0.021503	0.039328	0.168535	0.061938	-0.283531	0.004031	-0.269912	-0.132062	-0.090718	-0.137540	-0.179570
	CP2	5	0.021553	-0.228257	-0.077187	0.056508	1	-0.412997	0.165748	0.133925	0.326171	0.030902	-0.018529	0.018226	-0.194437	-0.057935	-0.177687	0.032065	-0.036804
	CP3	6	0.221459	0.320498	0.065927	-0.506839	-0.412997	1	-0.014474	-0.153587	-0.222567	-0.315208	0.013128	-0.060457	0.343307	0.181018	-0.014604	0.074020	0.079701
Cero Cupón Tesoros	CP1	7	-0.075863	-0.134363	0.269884	0.021503	0.165748	-0.014474	1	0.191330	0.269776	-0.018882	-0.001559	-0.111878	0.062856	0.200913	0.019878	-0.125681	-0.008550
	CP2	8	-0.125192	-0.063150	0.139221	0.039328	0.133925	-0.153587	0.191330	1	-0.125934	-0.131740	-0.043733	-0.068499	-0.224599	-0.049075	-0.042552	-0.002353	-0.455162
	CP3	9	-0.000237	-0.036159	-0.049619	0.168535	0.326171	-0.222567	0.269776	-0.125934	1	0.041487	-0.111036	-0.178464	0.044301	0.022854	-0.038975	0.161408	0.174830
Tasas de interés variables	DTF CP	10	-0.225066	-0.025869	-0.061190	0.061938	0.030902	-0.315208	-0.018882	-0.131740	0.041487	1	0.190482	0.106112	-0.206041	0.072732	0.118441	-0.071046	0.216429
	DTF LP	11	-0.167569	0.133512	-0.033048	-0.283531	-0.018529	0.013128	-0.001559	-0.043733	-0.111036	0.190482	1	0.163942	0.161799	-0.028848	0.262246	0.284491	-0.025424
	IPC	12	0.082564	0.159991	-0.301116	0.004031	0.018226	-0.060457	-0.111878	-0.068499	-0.178464	0.106112	0.163942	1	0.001812	-0.142083	0.121195	-0.081963	0.092287
Tasa de Cambio	TRM	13	0.129651	0.315533	-0.152699	-0.269912	-0.194437	0.343307	0.062856	-0.224599	0.044301	-0.206041	0.161799	0.001812	1	0.192927	-0.030120	-0.207470	0.304204
	COP/EUR	14	0.132147	0.242632	0.333636	-0.132062	-0.057935	0.181018	0.200913	-0.049075	0.022854	0.072732	-0.028848	-0.142083	0.192927	1	-0.473898	-0.463957	0.165647
Acciones	IGBC	15	-0.329457	0.029465	-0.162206	-0.090718	-0.177687	-0.014604	0.019878	-0.042552	-0.038975	0.118441	0.262246	0.121195	-0.030120	-0.473898	1	0.396140	0.075678
	Mundo desarrolla	16	-0.015468	-0.124288	-0.219083	-0.137540	0.032065	0.074020	-0.125681	-0.002353	0.161408	-0.071046	0.284491	-0.081963	-0.207470	-0.463957	0.396140	1	-0.067734
Carteras Colectivas		17	-0.176918	-0.063224	-0.171465	-0.179570	-0.036804	0.079701	-0.008550	-0.455162	0.174830	0.216429	-0.025424	0.092287	0.304204	0.165647	0.075678	-0.067734	1
	Columna		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

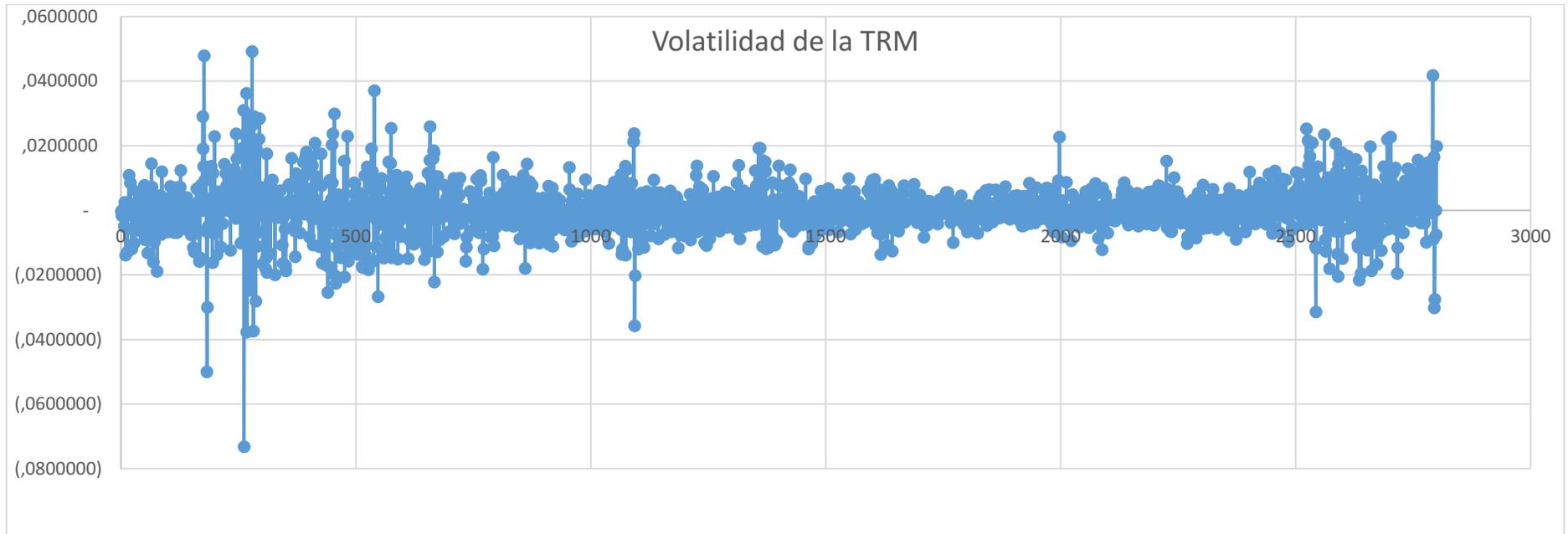
Fuente: Superintendencia Financiera de Colombia

Anexo 3. Correlaciones de activos del portafolio

	spy us equity	AGG US Equity	CO1 Comdty	PFBCOLO CB Equity	ECOPETL CB Equity	GRUPOSUR CB Equity	GRUPOARG CB Equity	NUTRESA CB Equity	TES 20
spy us equity	1.0000	0.4279	0.1129	0.2126	-0.0729	0.0022	0.0620	0.0543	-0.0618
AGG US Equity	0.4279	1.0000	-0.0645	-0.0230	-0.3310	-0.1942	-0.1847	-0.2291	-0.1988
CO1 Comdty	0.1129	-0.0645	1.0000	0.1521	0.2784	0.1677	0.1389	0.1288	0.0055
PFBCOLO CB Equity	0.2126	-0.0230	0.1521	1.0000	0.2094	0.3145	0.2918	0.2187	0.0735
ECOPETL CB Equity	-0.0729	-0.3310	0.2784	0.2094	1.0000	0.3503	0.3668	0.3436	0.1843
GRUPOSUR CB Equity	0.0022	-0.1942	0.1677	0.3145	0.3503	1.0000	0.4652	0.3229	0.1465
GRUPOARG CB Equity	0.0620	-0.1847	0.1389	0.2918	0.3668	0.4652	1.0000	0.3408	0.0953
NUTRESA CB Equity	0.0543	-0.2291	0.1288	0.2187	0.3436	0.3229	0.3408	1.0000	0.0891
TES 20	-0.0618	-0.1988	0.0055	0.0735	0.1843	0.1465	0.0953	0.0891	1.0000

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 4. Volatilidad de la TRM



Fuente: Elaboración Propia



