

Market Risk Measurement for a Fixed Income Portfolio of the Colombian Market.

Medición del Riesgo de Mercado para un Portafolio de Renta Fija del Mercado Colombiano.

Autora: María Fernanda Ospina Arango

Asesora Técnica: Gloria Inés Macías Villalba

Abstract: When analyzing the negotiations of the Colombian stock exchange, it is identified that the stock market (equities) is presenting very high volatility ratios, compared to the fixed income market. As a consequence of this behavior, investors have chosen to bring their capital to the fixed income market. That is why the objective of this research is to structure a portfolio consisting of fixed rate bonds (TFI) of the Colombian market, and calculate market risk through the parametric, non-parametric and montecarlo-wiener methods; in order that investors have the possibility to make decisions regarding the administration of their capital.

Resumen: Al analizar las negociaciones de la bolsa de valores de Colombia, se identifica que el mercado de acciones (renta variable) está presentando ratios de volatilidad muy altos, en comparación al mercado de renta fija. Como consecuencia de este comportamiento, los inversionistas han optado por llevar su capital al mercado de renta fija. Es por ello que el objetivo de esta investigación es estructurar un portafolio conformado por bonos de tasa fija (TFI) del mercado colombiano, y calcular el riesgo de mercado a través de los métodos paramétrico, no paramétrico y montecarlo-wiener; con el fin de que los inversionistas tengan la posibilidad de tomar decisiones en cuanto a la administración de su capital.

Keywords/ Palabras Clave

Event/ Evento: Occurrence of a particular set of circumstances/Ocurrencia de un conjunto particular de circunstancias.

Probability/ Probabilidad: It measures the opportunity of occurrence of an event, it is expressed as a number between 0 and 1/Mide la oportunidad de ocurrencia de un evento, se expresa como un número entre 0 y 1.

Frequency/ Frecuencia: Measurement of the number of occurrences per unit of time/Medición del número de ocurrencias por unidad de tiempo.

Risk/ Riesgo: It is the probability of occurrence of an event that causes a negative impact on the objectives/Es la probabilidad de ocurrencia de un evento que causa un impacto negativo en los objetivos.

Impact/Impacto: They are the consequences they cause/Son las consecuencias que ocasionan.

Consequence/ Consecuencia: Result or impact of an event/Resultado o impacto de un evento.

Risk analysis/ Análisis del riesgo: Systematic process to understand the nature of risk and reduce the level of risk/Proceso sistemático para entender la naturaleza del riesgo y reducir el nivel del riesgo.

Market risk/ Riesgo de Mercado: Possibility of entities incurring losses associated with the decrease in the value of their portfolios/Posibilidad de que las entidades incurran en pérdidas asociadas a la disminución del valor de sus portafolios.

Fixed income securities/ Títulos de renta fija: These are titles that grant the holder the right to receive periodic interest payments (coupons), in addition to the payment of capital at the maturity of the investment/Son títulos que otorgan a su poseedor el derecho a recibir unos pagos periódicos de intereses (cupones), además del pago del capital al vencimiento de la inversión.

Issuer/ Emisor: It is the public or private entity that issues (generates) the debt, that is, issues and sells the securities/Es la entidad pública o privada que emite (genera) la deuda, es decir, emite y vende los títulos.

Coupon/ Cupón: Are the interests, which the issuer pays. It is expressed as a percentage of the principal/Son los intereses, los cuales paga el emisor. Se expresa como un porcentaje del principal.

Principal or nominal/ Principal o nominal: It is the initial investment, it is the amount of money borrowed by the issuer, corresponding to each title/ Es la inversión inicial, es la cantidad de dinero que pide prestado el emisor, correspondiente a cada título.

Expiration date/ Fecha de vencimiento: It is the moment at which the issuer must return the money and the loan is terminated/Es el momento en el que el emisor debe devolver el dinero y se termina el préstamo.

Valuation of Securities/ Valoración de Títulos: It is the calculation and disclosure to the market of the fair exchange price of a financial asset, determined from a negotiation date and particular conditions/Es el cálculo y revelación al mercado del precio justo de intercambio de un activo financiero, determinado a partir de una fecha de negociación y condiciones particulares.

Introducción

En Colombia los títulos de tesorería (TES) son títulos de deuda pública emitidos por el gobierno nacional, y hacen parte del mercado de renta fija, porque su rentabilidad y condiciones son conocidas por el inversionista en el momento de la negociación. Los inversionistas estructuran portafolios óptimos con diferentes títulos de renta fija seleccionados de acuerdo con un perfil de riesgo (moderado-conservador-arriesgado), y su finalidad es encontrar un equilibrio entre la exposición al riesgo de mercado y la rentabilidad esperada.

Por otro lado, al analizar las negociaciones de la bolsa de valores de Colombia, se identifica que el mercado de acciones (renta variable) está presentando ratios de volatilidad muy altos, en comparación al mercado de renta fija. Como consecuencia de este comportamiento, los inversionistas han optado por llevar su capital al mercado de renta fija, aunque tengan que sacrificar los niveles de rentabilidad, a cambio de estabilidad y una baja exposición. Sin embargo, para quienes no mantienen el título hasta su vencimiento y lo negocian en el mercado secundario, se exponen a pérdidas a causa de la diferencia que se presenta en el precio de compra y el precio de venta del activo, lo cual se conoce como riesgo por tasas de interés. Cabe resaltar que existe una relación inversa entre las tasas y el precio de los activos.

Con el objetivo de ayudar a los inversionistas a tomar decisiones sobre la inversión de su capital, se ha estructurado un portafolio óptimo y se midió la posibilidad de incurrir en pérdidas por el valor de su cartera, para así informar cuánto dinero podría perder en un día y el porcentaje de exposición que tiene dicho portafolio.

Marco Teórico

1. Riesgo

El riesgo se asocia con lo inesperado y con lo no deseado, es cualquier variación en el resultado respecto a lo esperado, la definición más sencilla refiere que el riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un evento que tenga consecuencias financieras negativas, sin embargo, existen diferentes definiciones según el contexto o el autor, por ejemplo: Para Jorge Pérez en el libro finanzas internacionales, el riesgo se puede definir como la probabilidad de sufrir o exponerse a un daño o pérdida, concepto que incorpora dos elementos que se deben considerar: La probabilidad de ocurrencia, lo cual puede o no ser deseado y las consecuencias que surgirían si ocurre o no el acontecimiento. (Pérez Barbeito, 2014).

En conclusión, el riesgo es la posibilidad de ocurrencia de aquella situación (interna o externa), que puede afectar negativamente el logro del objetivo o la gestión de un proceso, y el riesgo financiero puede definirse como la exposición de las utilidades, flujos de caja, o valor de mercado a factores exógenos, como las tasas de interés, los tipos de cambio y el precio.

1.1. Clases de riesgos De acuerdo con (JP Morgan Chase & Co, 2019) y con lo

reportado por la página web Rankia (Stevens, 2017), los riesgos no son solamente de carácter económico, hay diferentes clases de riesgos y se dividen cuantificables y no cuantificables:

- **Riesgos cuantificables:** Son aquellos para los cuales es posible conformar bases estadísticas que permitan medir sus pérdidas potenciales.

- **Riesgos no cuantificables:** Son aquellos derivados de eventos imprevistos para los cuales no se puede conformar una base estadística que permita medir las pérdidas potenciales.



Ilustración 1 Clases de riesgo - elaboración propia

2. Gestión del riesgo

La gestión del riesgo (GR) es el proceso continuo basado en el conocimiento, evaluación y manejo de los riesgos que mejora la toma de decisiones organizacionales. (JP Morgan Chase & Co, 2019) define la gestión del riesgo como un proceso sistemático y continuo que permite poder identificar, alinear, gestionar, controlar y monitorear en base a los objetivos establecidos por la Gerencia de la Entidad, los riesgos que enfrenta la misma.

Los objetivos de la gestión de los riesgos consisten en aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos, y disminuir la probabilidad y el impacto de los eventos negativos en un proyecto (Global Standar, 2013), fomentar la gestión proactiva, ser consciente de la necesidad de identificar y tratar los riesgos en toda la organización, cumplir con los requisitos legales y reglamentarios pertinentes, establecer una base confiable para la toma de decisiones y la planificación, mejorar los controles, asignar y usar eficazmente los recursos para el tratamiento del riesgo, mejorar la prevención de pérdidas.

2.1. Normativa de los riesgos financieros

Existe regulación de carácter nacional e internacional, sin embargo la legislación internacional como Basilea se tiene en cuenta como una recomendación, no es de obligatorio cumplimiento porque la superintendencia financiera de Colombia es la entidad encargada de la regulación dentro del territorio nacional.

2.1.1. **Basilea:** El Comité de Basilea o Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (BCBS) es una entidad que brinda orientación a nivel mundial en materia de regulación financiera, está formado por los gobernadores de los bancos centrales del G-10 provenientes de los países con las economías más industrializadas y actualmente lo conforman 27 países. (Comité de supervisión bancaria de Basilea, 2016)

2.1.2. **Superintendencia Financiera:** En la circular básica contable y financiera (circular externa 100 de 1995) se encuentran 30 capítulos y 3 anexos que regulan el sistema financiero colombiano y lo que busca esta normativa es definir e informar el patrimonio técnico y las relaciones mínimas de solvencia que deben cumplir las entidades vigiladas por esta entidad.

La relación de solvencia total, se define como el valor del Patrimonio Técnico dividido por el valor de los activos ponderados por nivel de riesgo crediticio y de mercado. Esta relación no puede ser inferior a nueve por ciento (9%).

$$Solvencia Total = \frac{PT}{APNR + \frac{100}{9} VeR_{RM}} \geq 9\%$$

En donde:

PT: Es el patrimonio técnico calculado

APNR: Son los activos ponderados por nivel de riesgo crediticio

VeR_{RM} : Es el valor de la exposición por riesgo de mercado

3. Riesgo de mercado

En la circular básica contable y financiera (circular externa 100 de 1995) en el capítulo XXI, la superfinanciera (Superintendencia financiera de Colombia, 2007) define el riesgo de mercado (RM) como la posibilidad de que las entidades incurran en pérdidas asociadas a la disminución del valor de sus portafolios, las caídas del valor de las carteras colectivas o fondos que administran, por efecto de cambios en el precio de los instrumentos financieros en los cuales se mantienen posiciones dentro o fuera del balance. Los principales factores de riesgo de mercado son: la tasa de interés en moneda legal, en moneda extranjera o en operaciones pactadas en UVR, el tipo de cambio, los precios de las acciones y las inversiones realizadas en carteras colectivas.

4. Títulos de renta fija

El mercado de renta fija es el espacio que facilita la adquisición de inversiones y financiamiento, a través del encuentro entre ahorradores e inversionistas que efectúan operaciones con unas condiciones de liquidez, riesgo y rentabilidad, son uno de los vehículos de financiación más importantes a los que pueden acceder ciertas empresas y los Estados mismos, al permitirles captar dinero directamente del público inversionista. Se denomina títulos de renta fija porque desde el principio se conocen los intereses o la rentabilidad que va a pagar el instrumento financiero en cada momento, adicionalmente, el emisor garantiza la devolución del capital invertido. Sin embargo, el hecho de que los títulos estén garantizados por el emisor,

no quiere decir que no tenga riesgo, ya que existe una probabilidad de incumplimiento del acuerdo y teniendo en cuenta la relación inversa que existe entre la rentabilidad y el precio, los títulos de renta fija generan menos rendimientos que los títulos de renta variable (Universidad Eafit, 2018).

Por las diferentes definiciones, podemos concluir que los títulos de renta fija son emisiones de deuda en la cual el emisor está obligado a realizar pagos periódicos en una cantidad y con vencimientos previamente establecidos.

4.1. Títulos de Tesorería (TES): La (Superintendencia Financiera de Colombia, 2019), los define como títulos de tesorería creados en la ley 51 de 1990, actualmente solo existen los títulos clase B, los cuales se emiten para obtener recursos para apropiaciones presupuestales y efectuar operaciones temporales de la Tesorería del Gobierno Nacional.

4.1.1. TES clase B tasa fija. Son títulos con fecha de vencimiento mayor o igual a un año, los cupones que representan los intereses se le reconocen al inversionista cada año y el principal al vencimiento del título. No se permite la negociación del cupón ni del principal por separado. Los TES Clase B denominados en pesos son expedidos en múltiplos de 100.000 COP y el valor mínimo del principal es de 500.000 COP. Son títulos a la orden, no gozan de redención antes de su vencimiento, y son libremente negociables en el mercado secundario (Universidad Eafit, 2018).

5. Valoración de títulos de renta fija

De acuerdo con (Betzuen Álvarez & Betzuen Zalvidegoitia, 2016), autores que definen la valoración de títulos de renta fija, como el cálculo y revelación al mercado del precio justo de intercambio de un activo financiero, determinado a partir de una

fecha de negociación y condiciones particulares, donde el precio justo es simplemente el valor presente de un activo, que es la suma de los flujos que el poseedor espera recibir durante la vida del activo, estos pagos dependen del rendimiento que el mercado expresa en su tasa de descuento, que influye sobre el precio del activo siendo inversamente proporcionales.

$$VA = \frac{Cupón}{(1+r)^1} + \frac{Cupón}{(1+r)^2} + \frac{Cupón}{(1+r)^3} + \frac{Cupón}{(1+r)^n} \dots \dots + \frac{VN}{(1+r)^N}$$

Dónde:

r = Tasa de interés por periodo o TIR

VN= Valor nominal del bono (precio)

Cupón= Tasa cupón por valor nominal

N=Tiempo hasta la fecha de vencimiento

n= Tiempo para cada flujo de efectivo

VA= Valor actual del bono.

5.1. Medidas de sensibilidad de los títulos de renta fija

La sensibilidad de los títulos de renta fija, se puede definir como la reacción ante la variación del precio del activo, ante un cambio en los tipos de interés del mercado, medidos por la TIR a vencimiento.

5.1.1. **Duración de Macaulay.** -También llamada únicamente “duración”-, (Chen, 2018), mide el número promedio ponderado de años que un inversionista debe mantener una posición en el bono hasta que el valor presente de los flujos de efectivo del activo sea igual al monto pagado.

Los factores que afectan la duración son: El precio, el plazo, el cupón y el rendimiento al vencimiento del bono; es la sumatoria del valor presente de los flujos de caja por el tiempo que va a transcurrir, y se divide en el precio de bono (precio sucio) y generalmente se expresa en años.

$$Dur = \frac{\sum Vp Fi * ti}{P}$$

La duración de Macaulay necesita de un ajuste, el cual es realizado por la duración de Hicks, creada por John Hicks en 1939 y conocida como duración modificada, la diferencia es que la primera se mide en años y la segunda es un porcentaje.

5.1.2. Duración de Hicks. –Conocida como Duración modificada-, representa el factor de cambio del porcentaje de variación en el precio del bono, por cada 100 puntos básicos de movimiento de la tasa de interés. Mide la sensibilidad del precio ante las tasas de interés.

$$Dur Mod = \frac{Dur}{(1 + tasa de interés)}$$

Adicional a la duración de Macaulay y de Hicks, existe otra medida de ajuste, porque cuando la variación es superior a un 1% (100 puntos básicos), se entiende que la duración deja de ser una buena medida de la sensibilidad y se recurre a la convexidad, por lo que se estima el valor del bono con una parábola (Wikipedia, 2019).

5.1.3. Convexidad. Medida que hace un ajuste en el porcentaje de cambio que hace la duración modificada -siempre será positiva-. Es la segunda derivada del precio respecto a la tasa de interés. Mide el cambio en la duración del bono como resultado de un cambio en la rentabilidad.

$$CV = \frac{\sum Vp Fi * (ti+1) * ti}{P (1+tasa)^2}$$

$$\% \text{ variación } CV = \frac{1}{2} * Cv * (\Delta tasa)^2$$

Es el porcentaje de variación del precio del bono (BBVA, 2017), cuando la variación en TIR o tipos de interés es muy grande, la Duración y la Duración Modificada no son buenos indicadores del nuevo precio del bono y esto se debe a que el precio del bono no varía linealmente con la evolución de ambas variables sino de forma cuadrática (en curva).

6. Medición del riesgo

Actualmente, la medida de riesgo más popular es el VaR (Value at Risk), teoría que revolucionó el mercado financiero, pero tiene algunas fallas debido a que no puede ser asumido como una medida adecuada para el riesgo en todos los casos porque supone una distribución normal para todos los fenómenos, lo que quiere decir que el VaR es válido únicamente en condiciones normales de mercado (Claro E. , Contador A. , & Quiroga P. , 2006).

(JP Morgan Chase & Co, 2019) define el VaR como una medida estadística de riesgo de mercado que estima la pérdida máxima que podría registrar un portafolio en un intervalo de tiempo y con cierto nivel de confianza. El nivel de significancia elegido para el VaR depende de la actitud hacia el riesgo del usuario: cuando más adverso al riesgo, más bajo es el nivel de significación elegido. El horizonte de tiempo es el periodo sobre el cual se mide la pérdida potencial. Riesgos diferentes se evalúan sobre periodos de tiempo diferentes de acuerdo con su liquidez (a mayor liquidez, menor será el periodo de tiempo sobre el que se calcula el VaR).

De acuerdo con (Franco Arbeláez & Franco Ceballos, 2005), para que el VaR sea considerado una medida coherente del riesgo, debe satisfacer las siguientes propiedades:

- **Monotononicidad:** A mayor rentabilidad debe corresponder mayor riesgo.
- **Homogeneidad positiva:** El riesgo escala con el tamaño de la posición.
- **Subaditividad:** El riesgo global de un portafolio formado por dos o más activos es menor o igual que la suma de los riesgos individuales.
- **Invarianza traslacional:** Significa que si se invierte una cantidad adicional en el portafolio, y se invierte prudentemente, entonces su riesgo se debe reducir en esa cantidad proporcional.

6.1. Método paramétrico. De acuerdo con (Haro, 2008), los métodos paramétricos tienen como característica el supuesto de que los rendimientos del activo en cuestión se distribuyen de acuerdo con una curva gaussiana o una curva de densidad de probabilidad normal, sin embargo, en la práctica se ha observado que la mayoría de los activos no siguen un comportamiento estrictamente normal, sino que son aproximados a la curva normal y, por tanto, los resultados que se obtienen al medir el riesgo son una aproximación.

A continuación se describen las características del método no paramétrico...

6.2. Método no paramétrico o de simulación histórica. De acuerdo con (Haro, 2008) este método consiste en utilizar una serie histórica de precios de la posición de riesgo, para construir una serie de tiempo de precios y/o rendimientos simulados o hipotéticos, con el supuesto de que se ha conservado el portafolio durante el periodo de tiempo de la serie histórica. Se recomienda

reunir los datos de los precios diarios históricos considerando un periodo que oscila entre 250 y 500 datos. Existen tres tipos de simulación histórica: crecimientos absolutos, crecimientos logarítmicos y crecimientos relativos, los cuales dependen del método empleado para calcular la variación.

Por último se describe el método de simulación de Montecarlo,

6.3. Métodos de simulación Montecarlo. Puede interpretarse como una mezcla entre el paramétrico y la simulación histórica, de acuerdo con (Haro, 2008) este método fue propuesto por Boyle y consiste en la generación de números aleatorios que sirven para generar un nuevo valor del portafolio, con igual probabilidad de ocurrencia que los demás y determinar las pérdidas o ganancias, generando escenarios.

El método Montecarlo puede desarrollarse de dos formas: a) Método de Wiener b) distribución de mejor ajuste

***Método de Wiener:** Este método emplea para ello simulaciones por ordenador generando recorridos aleatorios de la rentabilidad de la cartera basados en determinados supuestos iniciales sobre las volatilidades y correlaciones de los factores de riesgo. Puede ser especialmente útil para modelizar el comportamiento de activos de los cuales se carece de información histórica o para los que siguen distribuciones muy distintas a la normal.

***Distribución de mejor ajuste:** Con este método es necesario especificar un proceso estocástico, a través de modelizar rentabilidades esperadas y se asume que siguen distribuciones específicas con unos parámetros determinados, que determinan la evolución de los factores de riesgo. Es una

técnica de simulación estadística, que permite generar diversos resultados de una variable aleatoria. Requiere de la definición de la distribución de probabilidad de los rendimientos del activo (normal, logística, Laplace, entre otras.) para aplicar sobre la variable aleatoria (como lo es el caso de las oscilaciones de precios).

7. Pruebas de validación o Backtesting

Miden la estabilidad de los modelos mediante la comparación que se establece entre el VaR obtenido y los rendimientos reales, asumiendo que se traten de utilidades o en dado caso pérdidas, los modelos que cumplan con los niveles de significancia preestablecidos por el analista se identifican para posteriormente ser interpretados en el estudio. Estas pruebas de validación sugieren la recopilación de al menos 250 datos para el estudio. Su metodología está dada en un primer principio en el cálculo de la variación de la curva de rendimiento utilizando las tasas del mercado y a partir de ello, se ajusta el VaR a un día y se compara con los datos reales, posteriormente se calcula el número de veces donde las pérdidas superan el VaR y luego se divide el número de excepciones sobre el total de observaciones para el cálculo de la eficiencia.

7.1. Prueba de Kupiec y calibración del modelo. De acuerdo con (Betancur

Rodriguez & Cuervo Paloma, 2011) la prueba de proporción de fallas de Kupiec, POF por sus siglas en inglés, evalúa la hipótesis nula que la probabilidad de falla sea igual a $1-\alpha$. Es decir, si se calcula el VaR con un nivel de confianza del 95%, entonces H_0 es $p=5\%$. Este hipótesis nula es contrastada a través de una prueba de razón de verosimilitud, y emplea la siguiente fórmula:

$$LR = -2\ln \left(\frac{p^x (1-p)^{n-x}}{\hat{p}^x (1-\hat{p})^{n-x}} \right)$$

Donde x es el número de excepciones, es decir, el número de veces que el P&G toca el VaR negativo, n es el número de observaciones incluidas en el Backtesting o dicho de otra forma, es la cantidad de datos que se tienen para comparar el VaR real con el calculado, $\hat{p} = \frac{x}{n}$, $p = 1 - \text{nivel de confianza}$.

Metodología

El desarrollo de la investigación se lleva a cabo mediante 4 etapas:

- 1. Creación del enfoque teórico:** En esta etapa se describen los principales conceptos que se recomienda tener presentes para entender el proceso y poder realizar un análisis de los resultados.
- 2. Estructuración del portafolio óptimo:** Se recurrió a la información de la Bolsa de Valores de Colombia para descargar los datos de negociación de cada uno de los TES vigentes que fueron tenidos en cuenta en el estudio, se realizó un análisis de dominancia, se generó la frontera eficiente y se escogió un portafolio óptimo para un perfil de riesgo.
- 3. Medición del riesgo de mercado:** A través del valor en riesgo (VaR) por medio de los métodos paramétrico, no paramétrico o simulación histórica y el método de montecarlo-Wiener se calculó la exposición diaria de la cartera en porcentaje y en dinero.
- 4. Evaluación de desempeño de los modelos:** A través de pruebas de backtesting y kupiec se evalúan los métodos empleados para el cálculo del VaR.

Resultados

Por su ubicación dominante, fueron seleccionados los TES: TFIT08261125, TFIT10040522, TFIT15240720, TFIT16240724, TFIT16280428, los cuales se conformaron la matriz de correlación y fueron utilizados para calcular 15 portafolios para diferentes perfiles de riesgo.

En este caso, para un perfil de riesgo conservador fue elegido el portafolio número 5, el cual ofrece una rentabilidad de 2.024%, un riesgo del 1.909% y está conformado por los TES: TFIT15240720 y TFIT16280428.

Después de seleccionar el portafolio apropiado para el perfil de riesgo, se distribuye la inversión de acuerdo al peso correspondiente a cada uno de los TES, quedando de la siguiente forma:

	% Participación	Valor Nominal de Inversión	Valor Actual
Portafolio	100%	\$ 156.729.321	\$ 174.605.178
TFIT15240720	67%	\$ 100.000.000	\$ 117.053.502
TFIT16280428	33%	\$ 56.729.321	\$ 57.551.675

Tabla 1 Distribución inversión del portafolio - elaboración propia

Fueron invertidos \$156.729.321 COP, distribuyendo \$100.000.000 COP en el TES TFIT15240720 y \$56.729.321 COP en el TES TFIT16280428.

En la validación de los modelos, se encontró que el valor de Kupiec de menor al valor crítico, por lo tanto no se rechaza la hipótesis H_0 para un nivel de confianza del 95% y se obtiene que el modelo se encuentra ajustado.

Conclusiones

Cuando el inversionista opta por llevar su capital al mercado de renta fija y no lo hace a través del mercado de renta variable, está sacrificando la rentabilidad esperada, a cambio de estabilidad y una baja exposición al riesgo de mercado. Sin embargo, si el inversionista lo negocia en el mercado secundario y no lo mantiene hasta el vencimiento, se expone al riesgo de tasa de interés, porque al subir las tasas los precios disminuyen y si por el contrario, las tasas bajan los precios aumentan, causando diferencia entre: el precio de compra y venta del activo.

El método de optimización de Markowitz es útil para la selección de títulos basados en la relación de rentabilidad y volatilidad. A través de la frontera eficiente se muestran las mejores alternativas para que el inversionista realice su elección, a partir de su aversión al riesgo y su deseo de rentabilidad.

Un logro fue haber encontrado dentro del conjunto de títulos analizados, un portafolio óptimo para el inversionista con un perfil de riesgo. En consecuencia, se evidencia que esta combinación de TES ofrece menores niveles de pérdida esperada, es decir, menor valor en riesgo VaR y al mismo tiempo una mayor rentabilidad, frente a las posibilidades de inversión que ofrece cada título por separado, e inclusive, ante las posibilidades que brinda cualquier otra combinación entre estos instrumentos.

Con base en la evidencia, para la fecha de valoración del 28 de junio 2019, el portafolio que ofrece la máxima rentabilidad es el número 15, conformado por el TES TFIT16280428, con un rendimiento del 4.427% y un riesgo del 5.440%. Su opuesto, es el portafolio número 1, conformado por el TES TFIT15240720, que ofrece una

rentabilidad del 0.843% y un riesgo del 0.497%. Sin embargo, en busca de un equilibrio, se determina que el portafolio óptimo es el número 5, conformado en un 67% por el TES TFIT15240720 y un 33% por el TES TFIT16280428, con una rentabilidad del 2.024% y un riesgo del 1.909%.

El método de cálculo del VaR del portafolio que proyecta menor variación al cambio de tasas y menor exposición diaria de la cartera es Montecarlo-Wiener. Paralelamente, se observa que las mediciones del VaR obtenidas para el portafolio, a partir de los tres métodos: VaR por Simulación Montecarlo, VaR simulación histórica y Montecarlo-Wiener, cumplen la condición de estabilidad y subaditividad, respecto al nivel de confianza que se estableció previamente para la interpretación de sus resultados.

Las pruebas de validación de backtesting y kupiec efectuadas para el periodo del 01 de julio hasta el 27 de septiembre 2019, permiten concluir que la eficiencia de los mismos en la cuantificación de las posibles pérdidas es adecuada y por lo tanto sus resultados son confiables, bajo los límites establecidos (nivel de confianza del 95%). Lo anterior, está basado en que en la evaluación de desempeño de la metodología a través del backtesting del TES TFIT15240720, se encontró que de las 45 observaciones del rango de estudio solo una superó el VaR negativo calculado y las demás obtuvieron un valor cercano al VaR y en el TES TFIT16280428, las 62 observaciones estuvieron dentro del rango calculado y ninguna superó el VaR negativo. En consecuencia, se recomienda la utilización de estos modelos.

Por último, se logró el objetivo de ofrecer al inversionista un portafolio con participación de títulos de renta fija de mediano y largo plazo del mercado colombiano con un nivel de riesgo de mercado moderado y que se ajusta a su perfil de riesgo.

Referencias

- Banco de la República de Colombia. (03 de 2019). *Banco de la República de Colombia*.
Recuperado el 25 de 08 de 2019, de <http://www.banrep.gov.co/es/eventos/seminario-semanal-economia-bogota-549>
- Betzuen Álvarez, A. J., & Betzuen Zalbidegoitia, A. (2016). *Técnicas de medición, control y cobertura de los riesgos de mercados financieros*. Universidad del País Vasco.
Recuperado el 04 de 2019, de
https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/13918/mod_resource/content/1/tema1%20ocw2016.pdf
- Haro, A. d. (2008). *Medición y control de riesgos financieros* (3a ed.). México: Limusa.
Recuperado el 09 de 2019
- ISO. (2018). *Organisation internationale de normalisation*. Recuperado el 02 de 09 de 2019, de
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>
- JP Morgan Chase & Co. (2019). *JP Morgan*. Obtenido de
<https://www.jpmorgan.com/jpmpdf/1320744970377.pdf>
- La república. (17 de 07 de 2018). *La república*. Recuperado el 25 de 08 de 2019, de
<https://www.larepublica.co/analisis/sergio-clavijo-500041/regulacion-financiera-y-transito-a-basilea-iv-2750020>
- Lasso, C. E. (2015). *Modelo de optimizacion de un portafolio de bonos de tasa fija*. Pereira.
- Superintendencia financiera de Colombia. (2007). *Superintendencia financiera de Colombia*.
Recuperado el 25 de 08 de 2019, de <https://www.superfinanciera.gov.co/inicio/circular-basica-contable-y-financiera-circular-externa--de---15466>