



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ECONOMÍA

*Medición de riesgo de mercado para un portafolio de activos
usando VaR por simulación Montecarlo y pruebas de Back
test*

TESIS

Que para obtener el título de
LICENCIADO EN ECONOMÍA

PRESENTA

Fernando Román Lorenzo

DIRECTOR DE TESIS

MOF Gabriel Rodríguez García



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

“La presente tesis va dirigida a Dios quien me brindo la fortuna de tener una familia, amigos y tutor quienes han aportado una parte en la formación de mi persona además de ser un pilar fundamental en el día a día de mi vida.”

ÍNDICE

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
DELIMITACIÓN	9
OBJETIVOS	10
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVOS PARTICULARES	10
JUSTIFICACIÓN	11
HIPÓTESIS	12
MARCO CONCEPTUAL	13
MARCO TEÓRICO	13
Capítulo 1 Taxonomía de los instrumentos de deuda.....	13
1.1 Introducción al capítulo.....	13
1.2 Mercado de Dinero.....	13
1.3 Características de los títulos de deuda.....	14
1.4 Deuda Corporativa.....	17
1.5 Mercado de deuda gubernamental.....	18
1.6 Estudio financiero de un bono.....	22
1.7 Valuación de Bonos.....	23
1.8 Measuring Yield.....	32
Duración y convexidad.....	44
Capítulo 2 Caracterización del riesgo de mercado.....	49
2.1 Introducción al capítulo.....	49
2.2 Conceptualización de riesgo mercado.....	49
2.3 Calificación de riesgo.....	54
2.4 Valor en Riesgo (VaR).....	55
2.5 Métodos para la medición del VaR.....	59
2.6 Requisitos para la cuantificación de un riesgo de mercado.....	60
2.7 Políticas de administración de riesgos.....	60
2.8 Proceso integral de medición de riesgos.....	61
2.9 Ejemplificación del VaR.....	66
2.10 Información necesaria.....	66

Capítulo 3	Optimización de portafolios de inversión	68
3.1	Introducción al capítulo	68
3.2	El proceso de inversión	69
3.2.1	Construcción de portafolios	71
3.3	Riesgos en los portafolios de inversión.....	71
Capítulo 4	Modelo Monte Carlo Estructurado y prueba de validación Back Test.....	73
4.1	Introducción al capítulo	73
4.2	Simulación Monte Carlo.....	73
4.2.1	Caminata Aleatoria	75
4.2.2	Ventajas e inconvenientes de la simulación Monte Carlo	77
4.3	Back test.....	78
Capítulo 5	VaR por simulación Montecarlo y prueba de validación Back test.....	83
5.1	Introducción al capítulo	83
5.2	Selección de la muestra	83
5.3	Estadísticos descriptivos	90
5.4	Calculo de la tasa yield.....	91
5.5	Cálculo de la duración y duración modificada	94
5.6	Estimación del rendimiento del portafolio	103
5.7	Medición del VaR.....	111
5.8	VaR por simulación histórica vs VaR por simulación Montecarlo	116
5.9	Aplicación de pruebas Back test.....	116
CONCLUSIONES	122
BIBLIOGRAFÍA	125

RESUMEN

El valor en riesgo VaR es un tema fundamental hoy en día dentro del área de riesgos financieros puesto que es utilizado en la explicación y cuantificación del riesgo de mercado.

El trabajo de investigación se concentra en la estructuración y definición de un proceso metodológico que permita, en primer lugar reconocer el comportamiento bursátil de ciertos instrumentos financieros y del mercado mismo; en segundo lugar, presente los pasos con los cuales se estructure un portafolio de inversión de bonos y que, sobre todo, ayude a distinguir las situaciones en las cuales se pueden generar pérdidas y ganancias para poder tomar decisiones concretas minimizando riesgos.

En esta investigación principalmente, se expone de forma teórica y práctica el desarrollo del cálculo del valor en riesgo (VaR) con la aplicación de los métodos de simulación histórica, Monte Carlo, así como una prueba retrospectiva Back Test.

De igual manera se presenta la metodología de construcción, conformación y análisis de un portafolio de renta fija, el cálculo de sus medidas de desempeño más relevantes, así como el procedimiento de cálculo de rendimiento en un portafolio de bonos.

Por medio de los resultados arrojados con el modelo optado se afirma que el estudio de temas y metodologías tan relevantes como está son cruciales y necesarias, ya que con esto se conforma una mayor regulación para evitar, en un futuro, condiciones garrafales dentro del orbe económico.

INTRODUCCIÓN

La fuerza y la dinámica de los mercados ha disminuido la brecha entre los individuos y las vastas inversiones disponibles que ofrece el mercado, claro está que la cantidad de capital invertida hoy no es la misma a la de hace 20, 30 o 40 años; la integración económica y la globalización se han encargado de eso, de manera que es necesario actualizarse, tocar temas y estudiar diferentes instrumentos financieros que permitan a los futuros inversionistas tener conocimiento, claridad, seguridad y confianza en el proceso de construcción, estimación y valoración de portafolios de inversión.

Poseer un portafolio de inversión en México vinculado ampliamente a contexto económico mundial, no es fácil, a diferencia de otros países que cuentan con una cultura de inversión distinta. Por lo anterior, es importante conocer las metodologías para la construcción de portafolios de inversión de diferentes clases de activos, pero, independientemente del contenido del portafolio, los elementos relevantes de cualquier inversión serán siempre su rentabilidad y riesgo, los cuales deberán de estimarse eficazmente para poder ver su comportamiento y con base en ello desarrollar escenarios de ajuste o calibración.

Lo antes mencionado revela la importancia de implementar medidas de riesgo que establezcan las posibilidades de materializar el rendimiento real esperado de cualquier inversión y diagnosticar en caso de un evento desafortunado cuáles serían los peores escenarios; así determinar un VaR permitirá la cuantificación de una posible pérdida máxima, por lo tanto este es el enfoque principal del presente trabajo.

El valor en riesgo (VaR) se ha generalizado dentro del campo de riesgos financieros, tanto así que el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea en sus estatutos estipula la realización del VaR sin objeción alguna, puesto que, para Basilea, un modelo cuantificable que esté expuesto al riesgo de mercado y no cuente con esa medida no será un modelo reconocido.

La estimación de un VaR por simulación Montecarlo se logra gracias a que al ser un método paramétrico se basa en que los rendimientos se comportan de manera normal.

La simulación Montecarlo es una de las vías más eficaces para determinar el VaR ya que calcula la probabilidad utilizando secuencias de números aleatorios, de manera que no solo se limitara a un esquema de rendimientos históricos sino que planteara diez mil escenarios para cuantificar el VaR.

Una de las ventajas más importantes dentro de la metodología Montecarlo es que permite identificar la sensibilidad de la estimación del VaR cuando se presentan cambios en la composición del portafolio.

De igual forma, considerar la renta fija como contenido dentro de un portafolio es saber que si bien los rendimientos pueden ser más pequeños, también el riesgo.

Se sabe con certeza que los bonos son conocidos por ser más seguros, puesto que manejan un interés predeterminado o fijo, es decir a vencimiento, el mercado de deuda contiene una alta liquidez además de que se encuentra la información oportuna, numerosos emisores y una alta liquidez en el mercado secundario.

Dentro de cualquier análisis de riesgo es importante probar con una validación que compruebe lo antes calculado, en este caso el VaR, es decir, verificar los supuestos del modelo mediante un proceso estadístico para contrarrestar los resultados pronosticados con los resultados reales, en este punto el Back test es una prueba que el propio Basilea recomienda para corroborar los resultados arrojados por el VaR.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La necesidad de potenciar los departamentos de riesgo se ha hecho patente como consecuencia de las pérdidas sufridas por bancos y corporaciones financieras y empresariales por lo tanto los analistas financieros, así como los intermediarios bursátiles deben comprender cómo surge el riesgo y aquellas herramientas necesarias y eficaces para combatirlo.

Los administradores o analistas financieros de portafolios de bonos realizan actividades en un mundo donde los rendimientos son inciertos, además pueden verse afectados al querer cambiar su horizonte de inversión respecto a ciertos factores como las tasas de interés y la inflación; es decir, el valor del dinero en el tiempo.

Cuando se quiere migrar a un mundo con más riesgo estos analistas financieros están comprando bonos corporativos, pero estos presentan características particulares en términos de sensibilidad y en términos de riesgo, por encima de los instrumentos de deuda tradicionales de gobierno; por tal razón, se quiere instrumentar un modelo que logre capturar el riesgo de mercado al que se enfrentan los inversionistas tradicionales con un perfil de riesgo de inversión en bonos, por lo tanto, utilizaremos un VaR con simulación Montecarlo para capturar el riesgo de mercado, porque este asume una especificación de un proceso estocástico para variables financieras así como los parámetros del proceso como el riesgo y las correlaciones, además de una simulación de trayectorias de precios aleatorios para todas las variables de interés.

Esta simulación consiste en la generación de números aleatorios usando una distribución empírica, ya que al añadirle un nuevo número aleatorio generara un nuevo valor al portafolio con la misma probabilidad de ocurrencia que los demás activos y así determinar la pérdida o ganancia en dicho portafolio. Se plantea la simulación Montecarlo como metodología principal del proyecto pero generando una histórica a la vez. Esto con la finalidad de tener más de una herramienta para tratar de mitigar riesgo de mercado.

Se realizará una medida retrospectiva back test, ya que es una prueba esencial para la evaluación y calibración de los modelos de medición de riesgos donde el objetivo es medir la eficiencia en el modelo contando las observaciones de pérdidas o ganancias respecto al VaR.

DELIMITACIÓN

El presente trabajo se llevó a cabo con valores que se cotizan en el mercado norteamericano; por valores se refiere a instrumentos de renta fija de gobierno y corporativos, preferentemente los más significativos en su categoría. Se decidió utilizar estos títulos por tratarse de información disponible sobre valores de un mercado altamente líquido y con alto nivel de operación.

Se observó el rendimiento histórico de cada uno de los instrumentos seleccionados, de modo que veamos el desenvolvimiento de los valores mencionados desde tres años atrás.

Es inminente que el estudio se realizó acerca del mercado Norte Americano y que la investigación tomó un rumbo teórico y práctico, además se resaltarán conceptos, casos prácticos, definiciones, teorías y, herramientas para el análisis, en este caso simulaciones y pruebas de comprobación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estimar el valor en riesgo de mercado para un portafolio conformado por títulos de deuda (bonos) en distintas calificaciones de riesgos y con distintos vencimientos, mediante una simulación Montecarlo y con una prueba retrospectiva back test.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Seleccionar instrumentos de renta fija característicos de mercado norteamericano.
- Formar un portafolio de inversión con instrumentos de renta fija corporativos y gubernamentales.
- Optimizar el portafolio de inversión.
- Establecer una simulación Montecarlo para determinar el valor en riesgo.
- Generar una prueba de validación al portafolio de inversión, denominada Back Test.
- Estimar el VaR con simulación Montecarlo sobre el VaR histórico.
- Estimar el VaR asociado a instrumentos de tasas.
- Mejorar el desempeño financiero de dicho portafolio, porque así ayudamos al administrador a tener una herramienta analítica para probarlo.

JUSTIFICACIÓN

La trascendencia de centrarse en los títulos de deuda es que estos instrumentos financieros cobran cada vez mayor importancia en el mundo de la administración financiera, las actividades comerciales globales y de las organizaciones, además es necesario conocerlos ya que prácticamente son el sustento del financiamiento a largo plazo constituido por los bonos.

El análisis de riesgo de mercado se ha caracterizado por analizar el cálculo del VaR de un portafolio constituido por acciones, derivados, opciones, etc., y se ha dejado al margen el estudio de los instrumentos de deuda o se ha abordado de manera muy escasa, por tanto el análisis de este tipo de instrumentos resulta relevante.

Se plantea el mercado de bonos ya que es fundamental dentro del sector financiero, además de que es un mercado en donde el volumen de compra y venta de títulos de crédito es considerable, por lo tanto al ser instrumentos que se dicen libres de riesgo, se requiere desmitificar eso, es decir, se probó que existe riesgo, pero además se estimó el valor en riesgo para un portafolio configurado por distintas clases de bonos.

El VaR es una medida de la máxima pérdida posible, lo que vamos a probar con el Back test es un escenario en donde ocurra la pérdida en un momento determinado, haciendo una comparación sobre la pérdida máxima y el valor de pérdida efectivamente observado.

Un beneficio importante que tiene el VaR al medir el riesgo es que identifica, no sólo los cambios en la curva del rendimiento, sino también los de la pendiente. Además, los modelos del VaR pueden indicarnos la exposición a los movimientos de tasas de interés a corto y a largo plazo.

HIPÓTESIS

La simulación Montecarlo y la prueba retrospectiva Back test del VaR constituyen una herramienta indispensable para el analista financiero, debido a que permiten una adecuada estimación del riesgo en el mercado de bonos y mejoran el desempeño del analista financiero al darle certeza en que la pérdida máxima se encuentre por debajo de la realizada.

MARCO CONCEPTUAL

MARCO TEÓRICO

La conformación del portafolio, la optimización del mismo, la simulación Montecarlo para determinar el valor en riesgo, así como la determinación de la prueba de validación, no pueden entenderse sin que antes realizarse una descripción teórica y conceptual de cada una de las herramientas analíticas, es decir, sin antes explicar, ¿Dónde? ¿Quién? ¿Cómo? ¿Por qué? y ¿Cuándo? fueron propuestas cada una de las metodologías. Por lo tanto, se abordaran los conceptos y definiciones necesarias, así como la descripción de los componentes de cada concepto para que finalmente se describan los elementos y formas de cálculo.

Capítulo 1 Taxonomía de los instrumentos de deuda

1.1 Introducción al capítulo

La función más conocida y más importante dentro del mercado de valores es brindar a las corporaciones y al gobierno financiamiento a través la intermediación entre emisor e inversionista, si bien las formas y los instrumentos utilizables son variados dentro de estos se encenran los instrumentos de renta fija.

Si de invertir hablamos, conocer el mercado de títulos de deuda es fundamental ya que este representa la negociación de créditos a corto, mediano y largo plazo, a diferencia de las acciones, los bonos perciben una renta a lo largo del tiempo. Al adquirir acciones los agentes se convierten en socios de la empresa emisora participando en la generación de rendimientos y perdidas, pero al invertir en bonos los individuos logran ser acreedores de una deuda, donde se comprometen a pagar los interese periódicos (cupones), junto con el pago del bono al final del periodo pactado.

Las ventajas que representan los bonos a diferencia de los valores financieros dichos hasta ahora, es que reducen la volatilidad y diversifican el portafolio de inversión, esto refiriéndose a que se cubren diferentes grados de liquidez que logren alcanzar objetivos; además son flujos de efectivo pactados predecibles y representan otra vía para la obtención de ingresos.

1.2 Mercado de Dinero

La clasificación de los mercados nos permiten diferenciar entre decisiones, horizontes y alternativas de inversión, con el pasar de los días nos damos cuenta que el manejo y el acceso a estos son mucho más inciertos y debemos de estar preparados ante cualquier imprevisto; de forma tal que el administrador financiero

debe ser audaz en reconocer el tipo de cartera manejada y las características que se encuentran subyacentes y/o dentro del mercado en acceso.

Sabemos que dentro de la clasificación del mercado se encuentra aquellos que se distinguen por su vencimiento, es decir, los activos que se compran, distribuyen, y se valoran pueden durar “n” número de años. Por lo tanto, el mercado de dinero tiene activos que cuentan con una corta duración o con una fecha de vencimiento mínima, es decir, menor a 1 año.

En este mercado los inversionistas compran títulos de deuda y al hacerlo les ceden recursos a los emisores; los títulos de deuda en este mercado son anunciados por instituciones como gobiernos con el propósito de financiar su nómina, por ejemplo.¹

Otras instituciones generadoras de títulos de deuda son: Agencias Federales, Bancos, etc. Ahora bien, los inversionistas o aquellos que pueden hacerse de los servicios de estos instrumentos de deuda son los fondos de cobertura, compañías de seguros, gobiernos, personas morales y físicas.

De modo que el mercado de dinero es aquel en donde se negocian instrumentos financieros de gran liquidez y corto plazo.

1.3 Características de los títulos de deuda

La importancia de emitir deuda es esencial para cualquier tipo de corporación y para las instituciones públicas la deuda no es la excepción. Recordemos que las formas para que una empresa pueda ser beneficiada por financiamiento son dos; mercado de dinero y mercado de capitales (bonos y acciones).

Muchas empresas no podrían mantener sus flujos de efectivo si no tuvieran acceso al mercado de deuda, de ahí la importancia de este y la obtención de capital.

Dejando de lado la concepción, la importancia y el papel que juegan las acciones dentro del mercado en general, los bonos son títulos de deuda que se deben pagar su valor nominal al vencimiento, más una prima adicional generada por la tasa de interés, en consecuencia y, bajo el supuesto de que el editor del título no remita la emisión del bono junto con la preservación del bono hasta el vencimiento, se asegurara un patrón de flujo de efectivo.²

Teniendo en cuenta de antemano que un bono es una obligación contractual (emisor-inversionista) en donde la deuda establecida deberá ser pagada al vencimiento del instrumento; podemos analizar los componentes de estos mismos.

Estos títulos pueden presentarse de la siguiente manera:

¹ <http://www.banxico.org.mx/>

² Fabozzi, Frank. J. (2006). “Bond Markets, Analysis and Strategies”. 6th Edition Pearson, pp.1

Tabla 1.1 Modalidades de la tasa cupón respecto a la tasa “yield”.

A la par	Tasa cupón es igual a la tasa Yield.
Con prima	Tasa cupón es mayor a la tasa Yield.
A descuento	Tasa cupón es menor a la tasa Yield.

Fuente: elaboración propia.

Lo particular de los bonos es que todos comparten características básicas ya sean bonos tradicionales o “**securitizados**”, como se presentan a continuación:³

Figura 1.1 Características de un bono.



Fuente: elaboración propia.

Tipo de emisor: Recordemos que habíamos mencionado los distintos emisores (gobierno federal, agencias federales y corporaciones).

Amortización: Se refiere a la cantidad de dinero que se le devuelve al inversionista de forma ya sea mensual, trimestral, o según la pactada entre el deudor y el adquirente de la deuda.

Monto total de la obligación: Es la cifra de dinero que recibe el emisor del adquirente de la deuda.

³ Fabozzi, Frank. J. (2006). “Bond Markets, Analysis and Strategies”. 6th Edition Pearson, pp.3

Garantías: Es un respaldo que el emisor ofrece al inversionista por un evento inesperado que resulte en una postergación o incumplimiento del pago de cupones y puede dividirse en garantías personales y reales donde la primera se refiere a un aval, obligado solidario y fiadores donde su función es responder por el deudor respaldándolo en caso de impago.

Las garantías reales son aquellas conocidas como muebles e inmuebles que pueden ser automóviles, colaterales, casas, terrenos, fianzas, algunos otros activos financieros, etc.

Precio pactado de emisión: Es el dinero que el emisor utilizara para la colocación del bono en el mercado.

Fecha de emisión: Se refiere al comienzo de la obligación.

Periodo de gracia: Es un periodo pactado y determinado donde el cual el bono no genera intereses, es decir, no implica pago de cupones.

Términos de vencimiento: Se refiere al número de meses o años a los cuales está pactado el instrumento, es decir, nos mencionara la fecha en que el instrumento dejara de existir y en la cual el emisor pagara tanto el valor nominal más la prima.

Tabla 1.2 Plazos de vencimiento de un bono.

Vencimiento		
Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo
1-12 meses	1 -10 años	Más de 10 años

Fuente: elaboración propia.

La importancia del vencimiento radica en que mediante a este se nos indicara el periodo de tiempo sobre el cual el inversionista recibirá el pago de intereses, en este caso llamado el pago de cupones.

Principal: El valor del principal es aquella cantidad que el emisor está dispuesto a pagar al tenedor del bono hasta el día de vencimiento.

Tasa Cupón:

Es aquella tasa que el emisor esté dispuesto a pagar cada año. En donde la cantidad por pago de interés durante el tiempo de vida del bono es llamado cupón; esta tasa también se le considera como una tasa nominal y siempre estará en términos anuales donde el factor cambiante es la frecuencia.

Un dato importante es que algunos bonos cuentan con una tasa cero cupón, donde el emisor se remite al pago del principal solamente.

Frecuencia: El acuerdo realizado para la adquisición de deuda por ambas partes (emisor e inversionista) tiene como característica la frecuencia de pago de cupones, es decir, el periodo de capitalización bajo la cual se encuentra el título de deuda. La composición puede variar; la estructura de la tasa cupón puede ser capitalizable de manera semanal, quincenal, mensual, bimestral, trimestral, cuatrimestral, semestral o anual teniendo en claro que la tasa nunca dejara de tener composición anual.

Denominación en la moneda: es un instrumento financiero primordial ya que la transacción puede presentar problemas de tipo operacional sin antes especificar la divisa en que el bono este pactado.

Tasa Yield:

La tasa Yield es la tasa interna de retorno de un bono⁴, es decir, aquella tasa de descuento que aplicada a los flujos recibidos e iguala el valor actual de los mismos con el precio de mercado del bono⁵. Es la tasa a la que descuento y es una tasa de rendimiento libre de riesgo.

1.4 Deuda Corporativa

El universo de instrumentos de deuda es bastante amplio y para comprenderlo mejor podemos desagregarlo de manera clara y concisa:

Bonos institucionales:

Bonos cupón cero:

Son bonos que se venden a descuento⁶, se comercializan por debajo de su valor nominal, no devengan intereses en el transcurso de su vida y liquidan su valor nominal. En la fecha de vencimiento⁷.

Bonos corporativos

Bonos con intereses acumulados:

Son bonos donde los pagos de cupón y valor nominal se pagan en la fecha de vencimiento.

⁴ Sundaresan Suresh. (2009). "Fixed Income Markets and their Derivatives", 3rd Edition, Academic Press Advanced Finance Series. Pp.31

⁵ <http://www.dwglobalinvestments.com/2016/02/entendiendo-la-logica-de-los-bonos/>

⁶ Fabozzi, Frank. J. (2006). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 6th Edition Pearson, pp.4

⁷ Mexder; 2019

Bonos de tasa cupón flotante: Son instrumentos de tasa variable o tasa flotante donde la tasa cupón se recalcula de manera periódica de acuerdo a una tasa de referencia. La tasa cupón es una tasa de referencia (LIBOR) más un margen⁸.

Bonos de tasa flotante inversos: Son bonos o instrumentos de tasa flotante cuya tasa cupón tiene una relación inversa a la tasa de referencia.

Bonos con pagos de cupones diferidos: Son aquellos instrumentos de deuda donde el pago de cupones es pospuesto por algunos años, es decir, por algún periodo de tiempo los pagos de cupones no se realizan. Dentro de estos bonos se encuentran: bonos con intereses diferidos, bonos con intereses incrementados y los bonos con pago en especie.

Bonos con tasa flotante ajustada: Son aquellos bonos de conversión flotante donde la tasa cupón se calcula como un porcentaje de la tasa de referencia más un margen.

Bonos de tasa flotante doblemente indexados: Son bonos donde la tasa cupón para estos es un porcentaje fijo más la diferencia entre 2 tasas de referencia.

Bono convertible: Es un bono que tiene el derecho de ser intercambiado por un número específico de acciones⁹.

Bonos intercambiables: Estos bonos permiten al tenedor del bono intercambiar la emisión por un número específico de acciones comunes de una corporación diferente de la cual fue emisora el bono¹⁰.

Caps: Dentro de los bonos con tasa flotante hay una restricción de tasa máxima a pagar y esta tasa máxima se le conoce como cap.

Floors: Estos bonos son todo lo contrario con los caps antes mencionados ya que estos son una tasa mínima especificada para un bono con tasa cupón flotante.

Collar: Son bonos de tasa flotante que tiene la combinación de un cap y de un floor.

Drop-lock-Bonds: Aquellos bonos de tasa flotante que pueden cambiar a una tasa fija.

1.5 Mercado de deuda gubernamental

Los instrumentos de deuda son considerados una forma de apalancamiento para las empresas y corporaciones de eso no hay duda, pero un sector que no se aleja

⁸ Fabozzi, Frank. J. (2006). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 6th Edition Pearson, pp.4

⁹ Fabozzi, Frank. J. (2006). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 6th Edition Pearson, pp.6

¹⁰ Fabozzi, Frank. J. (2006). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 6th Edition Pearson, pp.6

de este patrón es el gobierno ya que este también pasa por situaciones o por momentos de dificultad económica, lo que los lleva a la necesidad de emitir deuda para poder solventar su déficit.

Deuda gubernamental a corto plazo

CETES: Su nomenclatura oficial son certificados de la tesorería y son aquellos instrumentos de deuda gubernamental emitidos por la tesorería de la federación que están denominados en moneda nacional y cuyo objetivo es financiar tanto el gasto público y la regulación de flujos monetarios¹¹.

El plazo de estos instrumentos es de 28, 91, 182 y 360 días. Son bonos cupón cero y la Secretaria de Hacienda y Crédito Público los coloca semanalmente a través del Banco de México mediante subastas. Se liquidan a valor nominal de \$10.00

Las personas adquirientes son personas físicas y morales ya sean nacionales y/o extranjeras.

Deuda gubernamental de mediano plazo

BONDES D: Son instrumentos de deuda gubernamentales emitidos por la Secretaria de Hacienda y Crédito Público y surgen a partir de la reestructura de la deuda del Gobierno Federal. Su valor nominal es de \$100 cada título además que cada emisión tendrá su propio plazo, actualmente se colocan en plazos de 1,3 y 5 años. Devengan intereses cada 28 días¹².

Bonos IPAB: Se consideran instrumentos de protección al ahorro bancario, se consideran bonos emitidas a largo plazo en donde pagan cupones cada 28, 91 o 182 días. El plazo de estos bonos es de 3, 5 y 7 años. Este tipo de instrumentos se negocian mediante subastas semanales a través de Banxico en donde los inversionistas ofrecen el monto que desean y el precio a la que están dispuestos a pagar¹³.

Deuda gubernamental a largo plazo

Bonos de Desarrollo: Este es un instrumento de deuda gubernamental de largo plazo el cual está establecido en moneda nacional, paga cupones cada 182 días, su colocación varía de acuerdo al calendario de colocación trimestral de la Secretaria de Hacienda y Crédito Público, son emitidos de igual forma como los CETES por la Tesorería de la Federación donde su objetivo es financiar proyectos de mediano y largo plazo del Gobierno Federal.

¹¹ Recuperado el 6 oct. 16 <http://www.banxico.org.mx/>

¹² Recuperado el 6 oct. 16 <http://www.banxico.org.mx/>

¹³ Recuperado el 6 oct. 16 <http://www.banxico.org.mx/>

Otro objetivo es regular flujos monetarios además de promover el ahorro interno y proporcionar a las SIAFORES, instrumentos de inversión que les permiten proteger el poder adquisitivo del ahorro de los trabajadores¹⁴.

Bonos PIC FARAC:

Son "Pagares de indemnización carretero emitidos por Banobras mediante el Fideicomiso de Apoyo para el Rescate de Autopistas Concesionadas". Son instrumentos de deuda emitidos por un Fideicomiso de Banobras mediante el cual el Gobierno Federal indemnizara parte de las concesiones de las autopistas. El plazo son de 5,10 y 15 años y el pago de cupón es cada 182 días¹⁵.

Bonos M: Estos instrumentos de deuda tienen un vencimiento de 3, 5, 7, 10 y 20. Son emitidos por el Gobierno Federal donde el cupón a pagar es a 182 días. Con un valor nominal de \$100¹⁶.

Certificados Bursátiles:

Estos son considerados títulos de crédito que representan la participación de aquellas personas tenedoras de este valor. Son emitidos por los gobiernos municipales, gobiernos estatales, empresas estatales, etc. Tienen un valor nominal de \$100, los intereses a pagar son de manera mensual, trimestral o semestral.

Títulos de Deuda Bancarios

PRLV:

Son títulos de crédito a descuento emitidos por instituciones de crédito considerados como un pasivo, sus siglas significan Pagare con Rendimiento Liquidable al Vencimiento. Se liquidan al vencimiento del título, cuentan con un valor nominal de \$100.

Aceptaciones Bancarias:

Se les considera letras de cambio emitidas por empresas medianas, aceptadas por instituciones de crédito en donde estas emiten en la BMV aceptaciones bancarias en base a las letras de cambio. Los emiten personas morales, son colocados por oferta pública o privada donde son liquidables a un valor nominal de \$1.00.

¹⁴ Fabozzi, Frank. J. (2006). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 6th Edition Pearson, pp.6

¹⁵ Recuperado el 6 oct. 16 <http://www.banxico.org.mx/>

¹⁶ Recuperado el 6 oct. 16 <http://www.banxico.org.mx/>

Udibonos:

Se tratan de instrumentos de deuda o bonos de desarrollo emitidos por el Gobierno Federal expresados en unidades de inversión y paga cupones cada 182 días¹⁷.

CEDES:

Son instrumentos de crédito que guardan una obligación de transacción de capital más un interés periódico. Se venden a un valor nominal de \$100.00 en donde el objetivo es de financiamiento de corto plazo con pagos de cupón cada 28 días.

Pagare Bancario:

Estos se consideran títulos de crédito expedidos por las instituciones de crédito, en términos autorizados por el Banco de México, tienen un vencimiento entre un día y un año, se liquidan a valor nominal de \$1.00.

Bonos bancarios:

Estos instrumentos son obligaciones a mediano plazo y son emitidos por la banca de desarrollo y por la banca comercial, estos bonos tienen dos giros:

1.- Bonos Bancarios de Desarrollo

Son títulos de crédito emitidos por la Banca de desarrollo con la finalidad de captar recursos a largo plazo para poder financiar proyectos de inversión, ofrecen intereses pagaderos de manera trimestral, una cualidad dentro de estos bonos es que la retribución de las ganancias no son las mismas para las personas físicas y morales. Para las personas físicas las ganancias en compra-venta están exentas mediante un pago del 21% sobre los 12 primeros puntos de los intereses mientras que para las personas morales es acumulable.

2.- Bonos Bancarios para la Vivienda

Son instrumentos de crédito que indican el porcentaje de participación personal en un crédito colectivo perteneciente de una sociedad anónima (hipotecaria, quirografaria y convertible).

Obligaciones Subordinadas:

Títulos que representan la participación individual medida en porcentaje de un crédito colectivo, en caso de liquidación de la emisora; esta pagara poco después de haberse cubierto todas las deudas por parte de la institución.

¹⁷ <http://www.banxico.org.mx/>

Bonos internacionales

Estos instrumentos se diferencian de un bono nacional ya que estos se denominan en moneda extranjera. Las tres grandes cadenas de bonos internacionales son las siguientes:

Bonos extranjeros:

Son emitidos ya sea por el gobierno, empresas privadas y bancos en la moneda de origen. De esta forma todo mercado que no sea aquel en donde se emitió y colocó el bono representará un mercado extranjero, por ejemplo, los bonos emitidos por el gobierno ruso en rublos y negociados en Rusia, para cualquier inversionista que no sea Ruso ese bono representa un bono extranjero.

Bonos externos o internacionales simples:

Son los bonos que se denominan en la moneda local del país que se coloca, donde el emisor es extranjero, como ejemplo, de un bono de esta categoría serían los bonos que emite el gobierno ruso denominados en dólares y colocados en Estados Unidos.

Eurobonos:

Estos bonos se denominan en moneda extranjera para el país donde se coloca: el emisor puede ser nacional o extranjero respecto al país donde se coloca. Por ejemplo, un bono emitido por el gobierno de Rusia denominado en pesos y colocado en Estados Unidos.

Los bonos emitidos por el gobierno de Estados Unidos son los bonos más seguros dentro de todo el orbe ya que cuentan con la garantía del gobierno de Norteamérica.

El segundo mercado más importante dentro de los mercados internacionales, es el mercado de Reino Unido.

El tercer mercado internacional de gran importancia es el francés donde los instrumentos públicos son los más importantes.

En cuarto lugar se encuentran los bonos emitidos por el mercado alemán donde los bonos tanto del estado federal y los de sus agencias representan el principal eje de la deuda pública.

1.6 Estudio financiero de un bono

Identificar las características que tiene un bono, así como el explicar el motivo de por qué son importantes, son objeto de estudio de un análisis preliminar de estos instrumentos. Si se desea conocer una estructuración más específica se tendrá que realizar un análisis financiero del bono.

Una vez mencionado tanto las características de los instrumentos de renta fija así como el mercado donde estos se negocian, es fundamental entrar en un análisis mucho más amplio. Dentro de un análisis financiero se desarrollan conceptos clave y de suma importancia y que de entender frenar cualquier metodología a realizar.

De tal manera un análisis financiero generará un esquema detallado del papel que toma el bono dentro del mercado.

Figura 1.2 Análisis financiero de un bono.



Fuente: elaboración propia.

1.7 Valuación de Bonos

Para comenzar esta sección debemos tener claro que el dinero a lo largo del tiempo tiene cambios, es decir, el valor del dinero en el tiempo es un punto que siempre

debe estar presente en la mente de una persona ligada a las finanzas, el valor del dinero nunca será igual en todo momento, es decir, el dinero de hoy no valdrá lo mismo a mi dinero de mañana y mucho menos a “n” años.

El entendimiento del comportamiento del valor del dinero es clave, ya que en el mercado de deuda, adquirir un bono significa generar una fuente de ingresos a aquella persona que emitió el bono, en pocas palabras, estás concediendo un préstamo para el emisor con la condición y promesa de que a lo largo del tiempo acordado por el emisor y el inversionista se pagara una serie de intereses periódicos al prestamista, además del valor del principal.

La tasa de interés toma importancia a partir de este momento ya que representa el precio para el que solicita el préstamo o fondo.

Esta concepción es bastante clara, cuando nosotros no somos poseedores de un bien en específico pero necesitamos de él, debemos de pagar una renta por el uso de “x” bien y/o servicio; por ejemplo rentar una casa, un automóvil, etc. Y el dinero no es la excepción.

Sabemos bien que el dinero se puede comprar, se puede vender y de igual forma se puede prestar, pero el pago por el uso de dinero ajeno conlleva un rédito¹⁸ o como comúnmente lo conocemos una renta y se mide a través de la tasa de interés que establezca el prestamista.

La tasa de interés es un gran determinante dentro de la actividad económica, día con día, puesto que a medida en que varíe podemos decidir entre ahorrar nuestro dinero o en contratar un financiamiento para la obtención de cualquier bien, en consecuencia este agregado juega un papel fundamental en las decisiones de los inversionistas.

El conocimiento de la tasa de interés para calcular un bono o de cualquier instrumento financiero es primordial, puesto que se le considera una variable de tiempo, debido a que el estudio de la tasa de interés y la inversión involucra evaluaciones de transacciones de flujo de efectivo presentes y futuras.

En esa medida es relevante mencionar y explicar las formas de medición y calculación de los bonos mediante montos y anualidades.

El cálculo del precio de un bono dentro de las fórmulas de monto y anualidades gira en torno de la búsqueda tanto de un valor actual y un valor futuro.

El valor actual de un monto se puede definir como el dinero que se invierte hoy con un número específico de periodos para obtener un valor futuro, descontada a una

¹⁸ Vidaurri, Hector M. (2012) “Matemáticas financieras”. 5ª edición, CENGAGE Learning pp. 128

tasa de interés,¹⁹ mientras que un valor futuro es el valor de una cantidad de dinero invertida hoy a una tasa de interés específica en un número específico de periodos²⁰.

Para determinar un valor actual podemos usar la siguiente formula:

Ecuación 1.1 Valor actual de un bono

Concepto	Fórmula
Valor actual	$VA = \frac{VF}{(1+i)^t}$

Fuente: elaboración propia

Para determinar un valor futuro podemos usar la siguiente formula:

Ecuación 1.2 Valor futuro de un bono.

Concepto	Fórmula
Valor futuro	$VF = VA(1 + i)^t$

Fuente: elaboración propia

Cuando el inversionista ya no solamente invierte un monto de dinero, sino una serie de pagos que ocurren generalmente en el mismo periodo de tiempo a una tasa de interés dada, se le conoce como anualidad; de igual manera un bono se puede calcular y/o determinara mediante la obtención del valor actual y del valor futuro de una anualidad.

Hoy en día existe una variedad de anualidades, pero correspondientemente al estudio de los instrumentos de deuda (bonos) solo tomaremos dos tipos de clasificaciones para el cálculo del precio y de sus determinantes: anualidades anticipadas y anualidades vencidas u ordinarias.

Las anualidades anticipadas son aquellas en donde se realizara el primer pago de dinero por adelantado, es decir se iniciara el periodo de manera anticipada.

¹⁹ Fabozzi, Frank. J. (2006). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 6th Edition Pearson, pp. 17

²⁰ Sundaresan Suresh. (2009). "Fixed Income Markets and their Derivatives", 3rd Edition, Academic Press Advanced Finance Series. Pp.25

Mientras que las anualidades vencidas son aquellas en donde el primer pago se efectúa a partir del próximo periodo, es decir, no se comienza de manera inmediata sino se espera un periodo y se realiza el primer pago correspondiente²¹.

Para determinar un valor actual para una anualidad vencida podemos usar la siguiente formula:

Ecuación 1.3 Valor actual de una anualidad vencida.

Concepto	Fórmula
Valor actual de una anualidad vencida	$VA = A \left[\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \right]$

Fuente: elaboración propia.

Para determinar un valor futuro para una anualidad vencida podemos usar la siguiente formula:

Ecuación 1.4 Valor futuro de una anualidad vencida.

Concepto	Fórmula
Valor futuro de una anualidad vencida	$VF = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$

Fuente: elaboración propia.

Para determinar un valor actual para una anualidad anticipada podemos usar la siguiente formula:

Ecuación 1.5 Valor actual de una anualidad anticipada.

Concepto	Fórmula
Valor actual de una anualidad anticipada	$VA = A (1+i) \left[\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \right]$

Fuente: elaboración propia.

Para determinar un valor futuro para una anualidad anticipada podemos usar la siguiente formula:

²¹ https://moodle2.unid.edu.mx/dts_cursos_md1/ejec/AE/MF/S05/MF05_Lectura.pdf

Ecuación 1.6 Valor futuro de una anualidad anticipada.

Concepto	Fórmula
Valor futuro para una anualidad anticipada	$VF = A (1+i) \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$

Fuente: elaboración propia.

Dónde:

VA= valor actual.

VF= valor futuro.

i= tasa de interés.

n= número de periodos al que se invierte el dinero.

A= pago periódicos iguales.

El precio de un bono es el valor presente de los flujos de efectivo que este mismo otorgara en el tiempo²². Los bonos no se calculan de la misma manera puesto que no tienen las mismas características y los mismos determinantes, los bonos a cupón cero o los bonos a descuento son calculados como un monto, mientras que los bonos cupón son calculados como una anualidad. Para determinar el precio de un bono es necesario tomar en cuenta los determinantes antes mencionados; los flujos de efectivo los pagos periódicos con tasa cupón y la madurez del bono, es decir, el vencimiento del instrumento²³

Un punto importante a considerar es que la tasa Yield requerida para un bono es expresada de forma anual, de tal manera cuando un bono nos especifica que su composición y el pago de cupones son de forma semestral, como es generalmente, la tasa Yield debe de adoptar una conversión de anual a semestral o la composición especificada. Una vez conocidos los elementos claves de un bono (flujos de efectivo y tasa Yield) se podrá saber el precio del instrumento mediante dos cálculos. Un bono cupón se estima mediante la suma del valor actual del pago de cupones y del valor presente del principal a la fecha de vencimiento²⁴. De esta manera el cálculo del precio de un bono se dará por la siguiente formula:

²² Fabozzi, Frank. J. (2006). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 6th Edition Pearson, pp.20

²³ Fabozzi, Frank. J. (2006). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 6th Edition Pearson, pp.21

²⁴ Fabozzi, Frank. J. (2006). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 6th Edition Pearson, pp.22

Ecuación 1.7 Precio de un bono.

Concepto
Precio de un bono
Fórmula
$P = \frac{C}{1+i} + \frac{C}{(1+i)^2} + \frac{C}{(1+i)^3} + \dots + \frac{C}{(1+i)^n} + \frac{M}{(1+i)^n}$

Fuente: elaboración propia.

Abreviadamente la formula quedaría:

Ecuación 1.8 Precio de un bono (formula simplificada).

Concepto	Fórmula
Precio de un bono	$P = \sum_{t=1}^n \frac{C}{(1+i)^t} + \frac{Vn}{(1+i)^n}$

Fuente: elaboración propia.

Dónde:

n= número de periodos periódicos.

P= precio del bono.

C= pago de cupón.

Vn= principal.

t= periodo de tiempo establecido para recibir el pago.

i= tasa de interés periódica (tasa Yield).

Un bono cupón se calcula como una anualidad, por la composición de sus pagos de cupón ya que estos son equivalentes al valor de una anualidad ordinaria, con lo cual el monto actual de una anualidad ordinaria determinara el valor presente de los pagos de cupón²⁵; la fórmula es la siguiente:

²⁵ Fabozzi, Frank. J. (2006). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 6th Edition Pearson, pp.21

Ecuación 1.9 Bono cupón.

Concepto	Fórmula
Calculo de un bono cupón	$= C \left[\frac{1 - \frac{1}{(1+i)^n}}{i} \right] \quad \text{ó} \quad = C \left[\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \right]$

Fuente: elaboración propia.

Ambas son lo mismo y la nomenclatura sigue siendo la misma.

Para tener un entendimiento de lo antes mencionado a continuación se presentara como ejemplo el cálculo del precio de un bono cupón con un valor nominal de \$100.00 MX, la tasa cupón es de 5% con composición semestral, el bono se pactó a 10 años con una tasa Yield del 6%. Si el precio de un bono cupón es la suma del valor actual del pago de cupones y del valor presente del principal a la fecha de vencimiento²⁶ se tiene que:

Ecuación 1.10 Ejemplo de un valor actual del pago de cupones.

Concepto	Datos	Operaciones
Valor actual del pago de cupones	Vn = 100	$= 2.5 * \left[\frac{1 - (1+0.03)^{-20}}{0.03} \right]$
	i = 6%	$= 2.5 * \left[\frac{1 - (1.03)^{-20}}{0.03} \right]$
	c = 5%	$= 2.5 * \left[\frac{1 - 0.553675754}{0.03} \right]$
	n = 10	$= 2.5 * \left[\frac{0.446324246}{0.03} \right]$
	C = (5/2) = 2.5	$= 2.5 * [14.87747486]$
	n = (10) (2) = 20	\$ 37.19368715
	i = (0.06/2) = 0.03	

Fuente: elaboración propia.

El valor actual del principal a la fecha de vencimiento será:

²⁶ Fabozzi, Frank. J. (2006). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 6th Edition Pearson, pp.21

Ecuación 1.11 Ejemplo de un valor actual del principal.

Concepto	Datos	Operaciones
Valor actual del principal	$V_n = 100$ $i = 6\%$ $n = 10$	$V_n = 100$ $n = (10) (2) = 20$ $i = (0.06/2) = 0.03$ $= \frac{100}{(1 + 0.03)^{20}}$ $= \frac{100}{(1.03)^{20}}$ $= \frac{100}{1.806111235}$ $\$ 55.36757542$

Fuente: elaboración propia.

De tal manera que el precio del bono es la suma de los dos valores actuales²⁷:

Ecuación 1.12 Ejemplo del precio final de un bono.

Concepto	Operaciones
Precio del bono	$P = \$ 55.36757542 + \$ 37.19368715$ $P = \$ 92.56126257$

Fuente: elaboración propia.

La evaluación de un bono cupón cero se realiza de la siguiente forma: calcular el precio de un bono cero cupón con un vencimiento a 10 años a partir de hoy con un principal de \$100.00 MX con una tasa Yield requerida de 6% con un periodo de capitalización anual.

²⁷ Fabozzi, Frank. J. (2006). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 6th Edition Pearson, pp.22

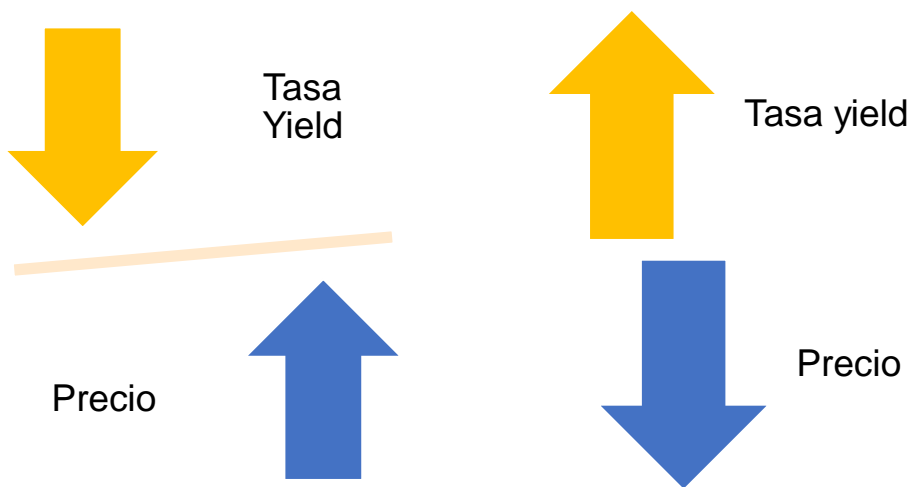
Ecuación 1.13 Ejemplo de un bono cupón cero.

Concepto	Datos	Operaciones
Evaluación de un bono cupón cero	$V_n = 100$ $I = 6\%$ $N = 10$	$P = \frac{100}{(1+0.06)^{10}}$
		$P = \frac{100}{(1.06)^{10}}$
		$P = \frac{100}{(1.06)^{10}}$
		$P = \frac{100}{1.790847697}$
		$P = \$ 55.83947769$

Fuente: elaboración propia.

Una vez ya comprobando los cálculos mencionados con las formulas, se debe mencionar que una característica fundamental de los bonos es el cambio en su precio debido a la variación de sus determinantes; la determinante más importante para los bonos es la tasa Yield ya que el precio del instrumento cambia en dirección opuesta a la variación de la tasa libre de riesgo²⁸ (tasa Yield). De esta manera a un aumento de 100 puntos base sobre la tasa Yield requerida el precio del bono tendera a disminuir; por el contrario; si la tasa Yield requerida disminuye 100 puntos base el precio del instrumento se elevara.

Figura 1.3 Comportamiento del precio de un bono ante cambios en la tasa.



Fuente: elaboración propia.

²⁸ Fabozzi, Frank. J. (2006). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 6th Edition Pearson, pp.24

Con esto tenemos claro que la relación convexa²⁹ entre el rendimiento y el precio de un instrumento de deuda es importante, tanto que de no ser así la comprensión no estaría clara cuando las tasas cambiaran su comportamiento en el mercado.

Los bonos cupón son aquellos que generan un pago periódico de interés, estos bonos tienen una clasificación respecto a la tasa Yield vs tasa cupón.

- Bonos Cupón a descuento: son aquellos bonos con una tasa cupón menor a la tasa Yield requerida, es así que el precio será menor a su valor nominal (principal).
- Bonos a la par: son bonos a los cuales la tasa cupón es igual a la tasa Yield requerida, por tal razón el precio será igual al principal.
- Bonos con prima: son los bonos que cuentan con una tasa cupón mayor a la tasa Yield requerida, de esta manera el precio será mayor a su valor nominal.

1.8 Measuring Yield

En este apartado se analizara varias medidas y formas que adopta la tasa Yield requerida y su relevancia para la evaluación del precio de un bono.

Tasa Interna de Retorno:

El objetivo es encontrar aquella tasa que iguala el precio de un bono con el valor actual de los flujos de efectivo de la inversión. Matemáticamente la tasa Yield sobre cualquier inversión es la tasa de interés que satisface³⁰:

Ecuación 1.14 Precio de un bono tomando en cuenta una TIR.

Concepto
Precio de un bono
Fórmula
$0 = -P + \frac{C}{(1+TIR)^1} + \frac{C}{(1+TIR)^2} + \frac{C}{(1+TIR)^3} + \dots + \frac{C}{(1+TIR)^N}$ $P = \sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1+i)^t}$

Fuente: elaboración propia.

²⁹ Sundaresan Suresh. (2009). "Fixed Income Markets and their Derivatives", 3rd Edition, Academic Press Advanced Finance Series. Pp.42

³⁰ Fabozzi, Frank.J. (2010). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 7th Edition, Pearson. Pp 35

Dónde:

TIR= tasa interna de retorno.

C= cupones.

FE= flujos de efectivo respecto al tiempo establecido (t).

i= tasa Yield requerida.

n= número de años.

La tasa de interés calculada desde este planteamiento se le conoce como Tasa Interna de Retorno (TIR) y es aquella que expresa la rentabilidad en términos porcentuales de una inversión, en pocas palabras es la tasa que hace equivalente el valor actual del precio de un instrumento de deuda con el valor actual de los flujos de efectivo generados por la inversión.

Para calcular esta tasa se deberá incurrir a un método llamado interpolación lineal³¹ y este método se basa en calcular la TIR con un proceso de prueba y error, en donde se jugara con diferentes tasas de interés hasta el momento en que el valor actual de los flujos de efectivo sea igual al precio dado.

Dentro de este proceso tendremos el cálculo de dos TIR tentativas, donde nos calcularan el Valor Actual Neto (VAN) uno positivo, mayor a cero, y un VAN negativo, menor a cero.

Con la obtención de dos VAN se calculara la TIR definitiva; con el método de interpolación lineal, la formula a desarrollar será la siguiente:

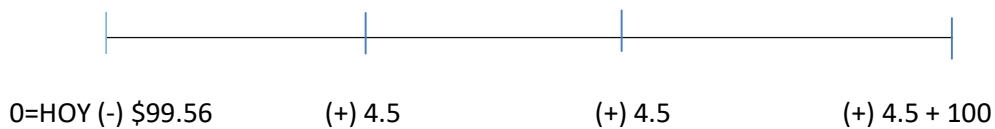
Ecuación 1.15 Tasa interna de retorno.

Concepto	Fórmula
Tasa interna de retorno	$TIR = \frac{(i_2 - i_1)(0 - VAN_1)}{(VAN_2 - VAN_1)} + i_1$

Fuente: elaboración propia.

Como ejemplo, se tiene un bono con cupones anuales, a una tasa cupón de 4.5%, el bono vence en tres años con un pago inicial de \$ 99.56 y con un valor nominal de \$100.00 MX.

³¹ Vidaurri, Hector M. (2012) "Matemáticas financieras". 5ª edición, CENGAGE Learning pp



La ecuación se plantea de esta forma:

Ecuación 1.16 Ejemplo del cálculo de la TIR.

Concepto		
Tasa interna de retorno		
Datos		
Tasa cupón: 4.5%	pago inicial: \$99.56	valor nominal: \$100.00mx
Operaciones		
$99.56 = \frac{4.5}{(1+TIR)^1} + \frac{4.5}{(1+TIR)^2} + \frac{4.5}{(1+TIR)^3} + \frac{100}{(1+TIR)^3}$ $0 = -99.56 + \frac{4.5}{(1+TIR)^1} + \frac{4.5}{(1+TIR)^2} + \frac{104.5}{(1+TIR)^3}$		

Fuente: elaboración propia.

Puesto que el precio del bono es \$99.56 < 100; como vemos el precio del bono es menor que el principal, por esa razón, nos encontramos con un bono cupón a descuento; en este caso la TIR a calcular; debe ser mayor a la tasa cupón; (TIR buscada > tasa cupón). Para comenzar tenemos que buscar los VAN positivo y negativo, de este modo la TIR debe de tener un valor por encima de la tasa cupón dado (4.5%).

Ecuación 1.17 Ejemplo del cálculo del VAN.

Concepto			
Tasa interna de retorno			
Datos			
TIR_1 : 4.55%	TIR_2 : 5%	pago inicial: \$99.56	valor nominal: \$100.00mx
Operaciones			
TIR = 4.55%			

$$0 = -99.56 + \frac{4.5}{(1+0.0455)^1} + \frac{4.5}{(1+0.0455)^2} + \frac{104.5}{(1+0.0455)^3}$$

$$\text{VAN (+)} = 0.30268128$$

$$\text{TIR} = 5\%$$

$$0 = -99.56 + \frac{4.5}{(1+0.05)^1} + \frac{4.5}{(1+0.05)^2} + \frac{104.5}{(1+0.05)^3}$$

$$\text{VAN (-)} = -0.921624015$$

Fuente: elaboración propia.

Efectuando la interpolación lineal se tiene lo siguiente:

Ecuación 1.18 Ejemplo de interpolación lineal.

Concepto	
Tasa interna de retorno	
Datos	
TIR_1 : 4.55% TIR_2 : 5% VAN (+) = 0.30268128 VAN (-) = -0.921624015	
Operaciones	
$\frac{i - 4.55\%}{5\% - 4.55\%} = \frac{0 - 0.30268128}{-0.921624015 - 0.30268128}$	
$i - 4\% = (5\% - 4\%) \left(\frac{0 - 0.30268128}{-0.921624015 - 0.30268128} \right)$	
$i = \frac{(5\% - 4\%)(0 - 0.30268128)}{-0.921624015 - 0.30268128} + 4\%$	
$i = 0.046612521$	
i = 4.6612%	

Fuente: elaboración propia.

Current Yield:

Es aquella tasa la cual muestra el rendimiento anual del interés pagado³², respecto a la inversión necesaria en la adquisición de un bono. Esta tasa se calcula dividiendo el pago de cupones anuales sobre el precio del bono y solo considera la fuente de

³² Fabozzi, Frank.J. (2010). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 7th Edition, Pearson.pp. 38

ingresos que es resultado del pago de cupones pero sin tomar en cuenta los periodos de tiempo.

Esta tasa no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo y solo toma en cuenta los pagos de cupón del bono, ignorando las ganancias de capital y la reinversión del bono³³.

La Current Yield se calcula mediante:

Ecuación 1.19 Current Yield.

Concepto	Fórmula
Current Yield	$CY = \frac{CUPON\ ANUAL}{PRECIO\ DEL\ BONO}$

Fuente: elaboración propia.

Ejemplo:

Calcule la Current Yield de un bono que actualmente tiene un precio de \$105.82 MX. Y paga un cupón de \$1.89 de forma trimestral.

Ecuación 1.20 Ejemplo de una current yield.

Concepto	Datos	Operaciones
Current Yield	Precio: \$105.82 Cupón: \$1.89	$CY = \frac{(1.89)(4)}{105.82}$ $CY = 0.071442071$ $CY = 7.1442\%$

Fuente: elaboración propia.

Yield to Maturity:

Es la TIR de la inversión de un bono puesto que igual el precio de la inversión con el valor actual de los flujos de efectivo³⁴.

³³ Fabozzi, Frank.J. (2010). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 7th Edition, Pearson.pp. 38

³⁴ Fabozzi, Frank.J. (2010). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 7th Edition, Pearson.pp. 41

Se intuye que el instrumento de deuda se conservara hasta el día de su vencimiento y que los flujos de efectivo generados por la inversión serán reinvertidos a la misma TIR.

A diferencia de la current Yield esta tasa toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo además de las ganancias o pérdidas de capital que el tenedor del bono puede hacer por el mantenimiento del bono hasta su fecha de vencimiento³⁵.

El cálculo es el mismo al de una TIR por lo tanto la fórmula y la nomenclatura son las mismas:

Ecuación 1.21 Yield to maturity

Concepto
Yield to Maturity
Fórmula
$0 = -P + \frac{C}{(1+i)^1} + \frac{C}{(1+i)^2} + \frac{C}{(1+i)^3} + \dots + \frac{C}{(1+i)^N}$

Fuente: elaboración propia.

Bond equivalent:

La Yield to maturity anual es calculada bajo las condiciones del consenso del mercado de bonos, el método es muy simple y consiste en multiplicar la tasa Yield periódica por el número de veces que capitaliza tal tasa.

Ejemplo: Una tasa Yield periódica de manera semestral del 4.54%, su “bond equivalent” sería:

Ecuación 1.22 Ejemplo de un bond equivalent

Concepto	Datos	Operaciones
Bond equivalent	Tasa yield periódica de 4.54%	$0.0908 = (0.0454) (2)$ = 9.08% anual

Fuente: elaboración propia.

Tasa Yield Efectiva Anual:

³⁵ Fabozzi, Frank.J. (2010). “Bond Markets, Analysis and Strategies”. 7th Edition, Pearson.pp. 42

La tasa efectiva anual es aquella tasa que refleja el mismo rendimiento que una tasa periódica con “n” periodos de capitalización.

Esta tasa a diferencia de la bond equivalent no solo se multiplica por el número de veces que capitaliza al año, sino conlleva un proceso metodológico más riguroso ya que la fórmula es la siguiente:

Ecuación 1.23 Yield efectiva anual.

Concepto	Fórmula
Yield efectiva anual	$= (1 + \text{yield periodica})^m - 1$

Fuente: elaboración propia.

Ejemplo: convertir a una tasa Yield efectiva anual un tasa periódica del 4.83% con una frecuencia de pagos de manera trimestral.

Ecuación 1.24 Ejemplo de una yield efectiva

Concepto	Datos	Operaciones
Yield efectiva anual	-Tasa periódica: 4.83% -Pagos trimestrales	Yield efectiva anual = $(1 + 0.0483)^4 - 1$ Yield efectiva anual = 0.207653497 Yield efectiva anual = 20.7653%

Fuente: elaboración propia.

Yield to Call:

Esta es una medida para bonos que lo que hace es calcular el rendimiento de un bono que puede ser liberado por el emisor de forma anticipada.

El cálculo de la Yield to call es el mismo que la Yield to maturity, solo que el valor nominal se sustituye por el precio al que se libera el bono de forma anticipada³⁶.

Dentro de este tema es necesario resaltar que se observan dos tasas que acompañan a esta medida sobre la Yield; *Yield to first call*; *Yield to worst*, el punto de partida dentro de este tema es que, por ejemplo:

El punto de este cálculo es observar de las tres tasas, cuál es la menos conveniente tomar (Yield to worst).

³⁶ Fabozzi, Frank.J. (2010). “Bond Markets, Analysis and Strategies”. 7th Edition, Pearson.pp. 41

Yield to put:

La tasa put le otorga una ventaja al tenedor del bono de vender el bono, pero además de recomprar el instrumento al precio pactado.³⁷ Su cálculo es el mismo a una Yield to maturity, solo que en lugar de poner el valor del bono, se pone el precio put pactado.

Intereses sobre intereses del Dollar Return:

Este indicador representa la porción sustancial del retorno potencial de un bono, la determinación de los intereses sobre intereses son calculados a través de la fórmula de una anualidad³⁸.

Nuestro paso número uno será calcular los cupones más los intereses sobre intereses mediante la siguiente formula:

Ecuación 1.25 Cupones más intereses sobre intereses.

Concepto	Fórmula
Cupones más intereses sobre intereses	$(\$) = C \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$

Fuente: elaboración propia.

En donde la ecuación representa el valor futuro de cupones para un cierto tiempo de horizonte de inversión. Mediante un ejemplo numérico se tiene un bono con tasa cupón del 6%, con un vencimiento a 10 años, con una tasa Yield to maturity del 8% y un principal de \$1000.00 MX.

Ecuación 1.26 Ejemplo de cupones más intereses sobre interese.

Concepto	Datos	Operaciones
Cupones más intereses sobre intereses	<ul style="list-style-type: none"> -Tasa cupón: 6% -Vencimiento de 10 años -Tasa yield: 8% -Principal de \$1000.00mx 	$\$30 \left[\frac{(1+0.04)^{20} - 1}{0.04} \right]$ $= \$893.3423573$

Fuente: elaboración propia.

³⁷ Fabozzi, Frank.J. (2010). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 7th Edition, Pearson.pp. 42

³⁸ Fabozzi, Frank.J. (2010). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 7th Edition, Pearson.pp. 4

Posteriormente se evalúan los cupones totales con la siguiente formula:

Ecuación 1.27 Cupones totales.

Concepto	Fórmula
Cupones totales	$n * C$

Fuente: elaboración propia.

Con el ejemplo numérico se tiene que:

Ecuación 1.28 Ejemplo de cupones totales.

Concepto	Datos	Operaciones
Cupones totales	-Cupones \$30 -Periodo en el tiempo: 20	$20 * \$30 = \600

Fuente: elaboración propia.

Los intereses sobre intereses ya calculados se realizan a través de la siguiente formula que no es más que la unión de las operaciones ya realizadas.

Ecuación 1.29 Intereses sobre intereses.

Concepto	Fórmula
Intereses sobre intereses	$C \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] - (n * C)$

Fuente: elaboración propia.

Con el ejemplo tenemos que:

Ecuación 1.30 Ejemplo de Interese sobre interese.

Concepto	Datos	Operaciones
Intereses sobre intereses	-Cupones \$30 -Periodo en el tiempo: 20 -Tasa yield: 8%	$\begin{aligned} & \$30 \left[\frac{(1+0.04)^{20} - 1}{0.04} \right] - (20 * 30) \\ & = \$893.3423573 - \$600 \\ & = \$293.3423573 \end{aligned}$

Fuente: elaboración propia.

Por ultimo tenemos la comprobacion de las ganancias o pérdidas de capital medido a través de términos porcentuales y a partir de la siguiente formula:

Ecuación 1.31 Ganancias de capital.

Concepto	Fórmula
Ganancias o pérdidas de capital	$= \frac{(P_{t+1} - P_t)}{P_t}$

Fuente: elaboración propia.

Total Return de un bono:

Se considera como la suma de todos los flujos de efectivo que otorga un bono, pero incluyendo las expectativas del inversionista sobre las tasas de interés futuras³⁹ durante el tiempo que tenga el instrumento en su poder.

El total return es la tasa de interés que se expresa como una medición de la tasa Yield que rompe con el supuesto de que todos los flujos recibidos por cupones se reinvierten a la misma tasa Yield to Maturity.

Es decir, hace una clara determinación sobre la tasa de inversión basándose en expectativas para un horizonte de inversión dado.

El primer punto a considerar es el cálculo de los pagos de cupón más los intereses sobre intereses, mediante la fórmula de una anualidad, pero sin tomar en cuenta la tasa Yield to maturity, sino una Yield requerida mediante su capitalización.

Ecuación 1.32 Pago de cupón más intereses.

Concepto	Fórmula
Pagos de cupón más los intereses	$= C * \left[\frac{(1+Yr)^n - 1}{Yr} \right]$

Fuente: elaboración propia.

Supongamos que un inversor con un horizonte de inversión de 3 años está considerando la compra de un bono a 20 años de madures, con un cupón del 8% a un precio de \$828.40, la tasa Yield to maturity es de 10%, el inversor espera reinvertir los cupones pagados a una tasa de interés anual del 6% y hasta el final

³⁹ Fabozzi, Frank.J. (2010). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 7th Edition, Pearson.pp. 49

del horizonte de inversión, planeado para los 17 años de vida del bono, serán vendidos para ofrecer una tasa Yield to maturity del 9%.

Tomando como ejemplo un cupón total que paga una tasa anual de reinversión del 8% y una tasa semestral del 4%. El cupón pagado es de \$50.00 MX cada seis meses por tres años. Sustituyendo, se tiene:

Ecuación 1.33 Ejemplo de Pago de cupón más intereses.

Concepto	Datos	Operaciones
Pagos de cupón más los intereses	-Cupón total c/tasa anual de reinversión del 8% -Tasa semestral del 4% -Periodo total de 3 años	$= \$40 * \left[\frac{(1+0.04)^6 - 1}{0.04} \right]$ $= \$ 265.3190185$

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se determinara el precio de venta del bono al final del horizonte de inversión checando los cupones restantes mediante la siguiente formula:

Ecuación 1.34 Precio de venta del bono.

Concepto	Fórmula
Precio de venta del bono al final del horizonte de inversión	$= C \left[\frac{1-(1+i)^{-n}}{i} \right] + \frac{Vn}{(1+i)^n}$

Fuente: elaboración propia.

Sustituyendo tenemos:

Ecuación 1.35 Ejemplo de precio de venta del bono.

Concepto	Datos	Operaciones
Precio de venta del bono al final del horizonte de inversión	-Cupón total c/tasa anual de reinversión del 8% -Horizonte de inversión de 17 años -Tasa yield to maturity de 9%	$= \$40 * \left[\frac{1-(1+0.045)^{-34}}{0.045} \right] + \frac{1000}{(1+0.045)^{34}}$ $= \$689.8703185 + \223.8958917 $= \$ 913.7662102$

Fuente: elaboración propia.

Una vez conseguido el precio de venta del bono y los pagos de cupón, deberán sumarse para el valor futuro total.

Ecuación 1.36 Ejemplo del valor total de un bono.

Concepto	Datos	Operaciones
Valor futuro total	-Precio de venta del bono al final del horizonte de inversión de \$913.7662102 - Pagos de cupón más los intereses de \$ 265.3190185	= \$ 913.7662102 + \$ 265.3190185 = \$ 1179.085229

Fuente: elaboración propia.

Por último se calcula el Total return como una tasa de rendimiento, siempre ajustada en forma periódica.

Ecuación 1.37 Total return.

Concepto	Fórmula
Total Return (%)	$= \left[\frac{VFT}{PRECIO\ PAGADO} \right]^{1/n} - 1$

Fuente: elaboración propia.

Sustituyendo, tenemos que:

Ecuación 1.38 Ejemplo de un Total return de un bono.

Concepto	Datos	Operaciones
Total return (%)	-Valor futuro total de \$ 1179.085229 -Precio del bono de \$828.40	Total return (%) = $\left[\frac{1179.085229}{828.40} \right]^{1/6} - 1$ Total return (%) = 0.060598116 = 6.0598%.

Fuente: elaboración propia.

Duración y convexidad

Como vimos anteriormente, una de las propiedades de los bonos es que el precio de uno cambia en dirección contraria a las tasas Yield, este principio solo sigue la propiedad o el hecho de que el precio del bono es el valor presente de los flujos de efectivo esperados⁴⁰.

Así que podemos referenciar como regla general que ya sea un aumento o una disminución en la tasa yield, el precio del bono ira en dirección contraía, de tal manera la relación no es lineal, sino convexa.

Desde este punto de vista se desarrolla toda una metodología de cálculos en el valor presente de los bonos teniendo en cuenta una volatilidad de precios.

Dentro de este punto encontramos dos características para un bono (option-free) que determinan su volatilidad en el precio.

- a) Tasa cupón
- b) Vencimiento

Es importante mencionar que para un vencimiento y una tasa yield, dados la volatilidad en el precio de un bono, es mayor mientras más baja sea la tasa cupón.

En otro escenario, para una tasa yield y una tasa cupón dadas, mientras el precio sea mayor para el vencimiento del bono, mayor será su volatilidad en el precio.

Dentro de este horizonte (mediciones en el medio financiero) se desglosan algunas medidas para la determinación de la volatilidad de precios de un bono, de esta manera se implementan estrategias de cobertura y trading:

DV01:

Este se refiere al cambio en el precio del bono si la tasa yield requerida cambia en un punto base en cualquier dirección (cambio monetario en dinero).

Una de las propiedades o características del "Dollar Value" es que entre más baja la tasa cupón, la volatilidad será más alta, además, entre más baja sea la tasa cupón, será menos el cupón recibido, ya que se obtendrán menos flujos y, por lo tanto, llevará más tiempo recuperar la inversión inicial.

Duración: Gracias a la variabilidad de las tasas de interés se modifica el valor de un instrumento de deuda, por ejemplo, cuando se incrementan los intereses los inversionistas que tienen bonos en su poder sufren de pérdidas.

⁴⁰ Fabozzi, Frank.J. (2010). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 7th Edition, Pearson.pp. 59.

La duración sirve para estimar las variaciones en los valores de los portafolios de bonos, ya que se considera una gran herramienta en la administración del riesgo de tasas de interés. La duración sirve como un indicador de riesgo⁴¹.

De esta manera la duración es el cambio en el valor de un bono, cuando se registra una variación en las tasas de interés del mercado y, matemáticamente, es la derivada del precio del bono con respecto a la tasa de interés.

La duración de un portafolio es el promedio ponderado de cada bono, dentro de esta perspectiva podemos visualizar tres tipos:

- a) La duración indica el grado de sensibilidad del valor de un portafolio de instrumentos de deuda ante cambios en la tasa de interés.

Ecuación 1.39 Duración de un bono.

Concepto
Duración
Fórmula
$P = \frac{C}{(1+y)} + \frac{C}{(1+y)^2} + \dots + \frac{C}{(1+y)^n} + \frac{VN}{(1+y)^n}$

Fuente: elaboración propia.

- b) La duración Macaulay indica el tiempo promedio en el que el inversionista recibe el pago del principal.

Para determinar el cambio aproximado en el precio y los cambios en la yield, se calcula la primera derivada de la ecuación del precio de un bono con respecto a la tasa yield.

Ecuación 1.40 Ecuación de la duración Macaulay.

Concepto
Duración Macaulay
Fórmula
$\frac{dP}{dy} = \frac{(-1)C}{(1+y)^2} + \frac{(-2)C}{(1+y)^3} + \dots + \frac{(-n)C}{(1+y)^{n+1}} + \frac{(-n)VC}{(1+y)^{n+1}}$
$\frac{dP}{dy} = -\frac{1}{1+y} \left[\frac{(1)C}{(1+y)} + \frac{(2)C}{(1+y)^2} + \dots + \frac{(n)C}{(1+y)^n} + \frac{(n)VC}{(1+y)^n} \right]$

Fuente: elaboración propia.

⁴¹ De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores. Pp. 82

Debemos tener claro que el valor que se encuentra dentro de los corchetes es el promedio ponderado de los flujos de efectivo del bono. Dividiendo entre el precio:

Ecuación 1.41 Desglose de la duración Macaulay.

Concepto
Duración Macaulay
Fórmula
$\frac{dP}{dy} \frac{1}{P} = - \frac{1}{1+y} \left[\frac{(1)C}{(1+y)} + \frac{(2)C}{(1+y)^2} + \dots + \frac{(n)C}{(1+y)^n} + \frac{(n)VC}{(1+y)^n} \right] \frac{1}{P}$ $\text{Duración Macaulay} = \frac{\left[\frac{(1)C}{(1+y)} + \frac{(2)C}{(1+y)^2} + \dots + \frac{(n)C}{(1+y)^n} + \frac{(n)VC}{(1+y)^n} \right]}{P}$ $\frac{dP}{dy} \frac{1}{P} = - \frac{1}{1+y} * \text{Duración Macaulay}$

Fuente: elaboración propia.

La duración modificada es el ratio de la duración Macaulay entre $(1 + y)$ o descontada un periodo, además, mide el cambio porcentual en el precio de un bono ante cambios en la yield⁴².

Se representa:

Ecuación 1.42 Duración modificada.

Concepto	Fórmula
Duración modificada	$= - \frac{\text{Duración Macaulay}}{1 + y}$

Fuente: elaboración propia.

El signo negativo denota la relación inversa entre la duración modificada y el cambio porcentual en el precio de un bono, para un dado cambio en la yield.

La duración es menor o igual que el plazo al vencimiento del bono, la igualdad se presenta cuando se trata de un strip (aquellos títulos de deuda en los que se separan los cupones del principal y ambas partes cotizan por separado) cuando es la duración Macaulay.

⁴² De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores. Pp. 83.

A mayor tiempo de vencimiento mayor duración. A menor cupón se tiene mayor duración. Y a mayor tasa de mercado menor duración.

Convexidad:

La convexidad es una propiedad de los instrumentos de deuda en donde los cambios en las tasas de interés son muy pronunciados (variación de tasas muy grande), por lo cual el cálculo de la duración del bono es limitado para cuantificar la pérdida potencial.⁴³

Matemáticamente, la convexidad es la segunda derivada del precio, por lo que aproxima las variaciones de la duración ante cambios en las tasas de interés.

El uso del cálculo de la convexidad requiere de los dos términos de la expansión de Taylor para aproximar el cambio en el precio del bono ante modificaciones en la yield.

De tal manera que la convexidad es el incremento o disminución porcentual en el precio, basado en la duración modificada.

Ecuación 1.43 Segunda derivada respecto al precio.

Concepto	Fórmula
Medida de convexidad	$= \frac{d^2P}{dy^2} \frac{1}{p}$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 1.44 Convexidad.

Concepto	Fórmula
Convexidad	$= \frac{\left[2C(1+Y)^2 \left((1+Y)^n - \frac{1+y+yn}{1+y} \right) + [n(n+1)y^2(y-C)] \right]}{y^2 (1+y)^2 [C((1+Y)^n - 1) + y]}$

Fuente: elaboración propia.

La convexidad varía de forma inversa a la tasa de mercado, esto quiere decir que si las tasas se incrementan la convexidad disminuye y si las tasas disminuyen la convexidad aumenta.

⁴³ De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores. Pp. 84

La convexidad aumenta cuando disminuye el cupón pero manteniendo fija la tasa de mercado y el plazo.

Por último, se tiene que dadas las tasas de mercado y duración modificada, a menor tasa cupón menor resultara la convexidad.

Capítulo 2 Caracterización del riesgo de mercado

2.1 Introducción al capítulo

El fomento del estudio de los riesgos en general se ha incrementado por múltiples factores, ya sea por el crecimiento estructural de problemas financieros que generan quiebras, por el surgimiento de instituciones financieras que propician escenarios más competitivos: por una movilidad internacional más activa y también por la diversificación de instrumentos financieros.

La gestión del riesgo dentro del mercado financiero está implícitamente en cada una de las actividades antes mencionadas y para su estudio se les clasifica y divide en: riesgos de mercado, de solvencia, de índole crediticia y operacional. De esta manera las instituciones financieras cuentan con departamentos especializados en el análisis y administración de riesgos desarrollando métodos, infraestructura y políticas estratégicas para el estudio, la medición y mejora de dichos instrumentos.

Un adecuado control de riesgos es fundamental para una dirección productiva, puesto que los indicadores para el control de riesgos se traducen en una grata relación de la empresa con sus compradores (clientes) y con sus proveedores, además de una sana y prospera relación con los inversionistas minoritarios. Además estos indicadores de control de riesgos llegan a ser utilizados para una regulación aplicable a operaciones con valores y derivados.

Los métodos que se encargan en la medición de los distintos tipos de riesgos incorporan métodos contables, para estimar el retorno de la inversión, así como el capital corregido por riesgos.

El problema que ha tenido la gestión de riesgos ha sido su medición ya que la complejidad de los portafolios hoy en día se queda enfrascada con los métodos insuficientes, tradicionales, por la ausencia de un método estándar, de tal manera la medida “valor en riesgo” nos indica la mínima pérdida esperada para un horizonte de inversión y un nivel de confianza determinado.

De forma particular el riesgo de mercado se asocia a un cambio en las posiciones de riesgo ya sea activa o pasiva debido al cambio en el precio de factores como la tasa de interés, tipo de cambio, etc. Que puede ocasionar situaciones difíciles para aquellas instituciones que operan dentro del mercado.

2.2 Conceptualización de riesgo mercado

En la vida de todo individuo el riesgo está presente y representa la posibilidad de que se produzca un evento no esperado o también llamado un contratiempo, causando daño. En pocas palabras un riesgo es la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre.

Hablando en materia financiera el riesgo engloba aquella posibilidad de pérdida, es decir, todo aquello que puede influir o alterar mi portafolio.

La palabra riesgo está sumamente relacionada con la posibilidad de que ocurra un evento inesperado que se traduzca en pérdidas para los participantes en los mercados financieros, como pueden ser inversionistas, administradores o analistas financieros⁴⁴.

El riesgo es producto de la incertidumbre que existe sobre el valor de los activos financieros, ante movimientos que determinan su precio.

Un riesgo también puede ser definido como una variación a un marco de referencia establecido por una entidad⁴⁵.

En pocas palabras el riesgo es aquella posibilidad de una desviación en la consecución de un rendimiento establecido tiempo atrás⁴⁶, dicha variabilidad puede materializarse en pérdidas o ganancias.

Un riesgo financiero puede entenderse como la posibilidad de que el rendimiento esperado de una inversión no se realice o no se lleve a cabo, puede haber distintas razones para que esto llegue a suceder:

- a) Operaciones no realizadas de la manera correcta.
- b) Factores imprevistos que alteran el mecanismo establecido del mercado.
- c) Fluctuaciones en los precios.

Los riesgos financieros llevados a una perspectiva empresarial son aquellos que la empresa está dispuesta a tomar para agregar valor a los accionistas.

Saber el fundamento y la importancia de riesgo podrá establecer planes para una mejor anticipación de posibles resultados adversos⁴⁷ y de sus consecuencias, en ese sentido, nos ayudará a estar mejor preparados en la incertidumbre y observar atentamente las variables que puedan afectar los activos dentro de un portafolio.

La administración de un riesgo puede llevarse a cabo a partir de estos pasos:

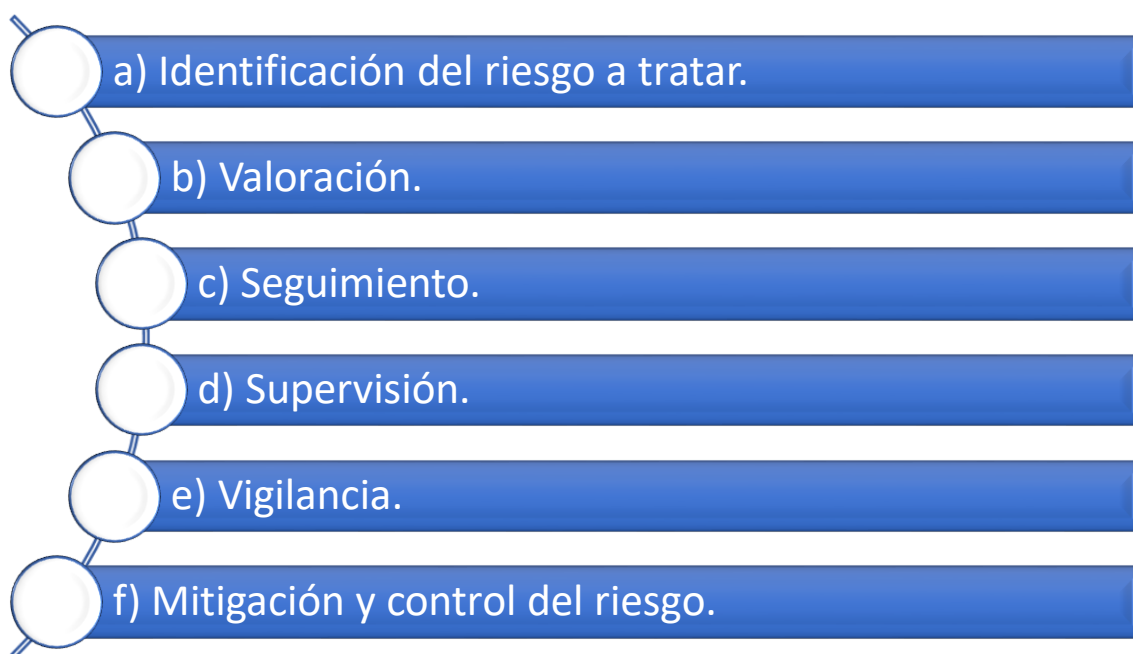
⁴⁴ <http://www.banxico.org.mx/>

⁴⁵ Morales J.

⁴⁶ Feria J. (2005). El riesgo de mercado, su medición y control. México: Delta publicaciones. Pp 2.

⁴⁷ Jorion P. (2010). Valor en riesgo. México: Limusa. pp 24.

Figura 2.1 Administración de riesgos.



Fuente: elaboración propia.

En este trabajo nos interesa específicamente el riesgo de mercado, debido a que es considerado como un riesgo cuantificable, es decir, aquel para el cual es posible conformar bases estadísticas que permitan medir sus pérdidas potenciales.

Además de esta clasificación también se considera un riesgo discrecional como resultante de la toma de una posición al comprar y administrar activos en el mercado.

Así, un riesgo de mercado se define como la pérdida potencial ante cambios en los factores que repercuten en la valuación de los resultados esperados en los activos que conforman un portafolio⁴⁸. Estos factores de riesgo son la tasa de interés, los movimientos en los precios, el tipo de cambio, los índices de precios, las materias primas,⁴⁹entre otros.

Un factor de riesgo es la variación o fluctuación de cualquier variable que pueda repercutir en el valor de mercado inicial.

Dentro del estudio de riesgo de mercado se encuentran una infinidad de variables que puedan afectar las posiciones de mercado (factores de riesgo) de tal manera que lo mencionaremos y clasificaremos a continuación:

⁴⁸ <http://www.banxico.org.mx/>

⁴⁹ Knop R. (2014). Medición de riesgos de mercado y crédito. México: Delta publicaciones. Pp 62.

El factor de riesgo de tipo cambio, es una variable sumamente delicada ya que el tipo de cambio está considerada como la variable económica más compleja; se considera un factor de riesgo ya que el precio de una unidad de moneda extranjera expresada en moneda nacional puede tener una modificación en la paridad, ocasionando un riesgo de cambio ya sea por el manejo de derivados o por plazos. Se genera un riesgo de transacción y traslación en donde en el primero hay un cambio en la cuenta de ingresos dentro de operaciones corrientes; el segundo trata de aquellos cambios dentro de las cuentas de balance (activos y pasivos) realizadas con distintos países.

El factor de riesgo-precio, se refiere a un cambio en los precios de los valores o activos financieros (en este caso bonos), esto no hace más que una subvaloración del portafolio conformado.

El factor de riesgo de tasa de interés, se refiere a que el valor concebido por los activos dentro del portafolio puede oscilar por los movimientos adversos de la tasa de interés, en este caso el riesgo de tasa de interés de mercado es aquel que afecta el valor de mercado de los instrumentos financieros donde se negocia tipo de interés como los instrumentos de renta fija.

El factor de riesgo de inflación es aquel en donde una variación en los precios aumentará o disminuirá el poder adquisitivo del valor de compra de los instrumentos financieros dentro de un portafolio.

Podemos observar que los factores de riesgo son complejos y que el valor de nuestro portafolio está expuesto a grandes peligros, por tal motivo una consideración y descripción de las amenazas es fundamental en un análisis y en la medición de riesgo de mercado.

El riesgo de mercado es la pérdida que puede sufrir un inversionista gracias a las oscilaciones o cambios de precios dentro del mercado además de movimientos en las tasas de interés, expectativas, tasa de inflación, es decir, es la posibilidad de que el Valor Presente Neto de un portafolio cambie a partir de algunos cambios de en las variables macro antes mencionadas que determinan el precio de instrumentos que componen una cartera de activos.

La necesidad de potenciar los departamentos de riesgo se ha hecho patente y de gran importancia, gracias a las pérdidas sufridas por bancos y corporaciones financieras y empresariales⁵⁰.

Los administradores o analistas financieros de portafolios de bonos realizan actividades en un mundo donde los rendimientos son inciertos, además pueden

⁵⁰ De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores pp 17.

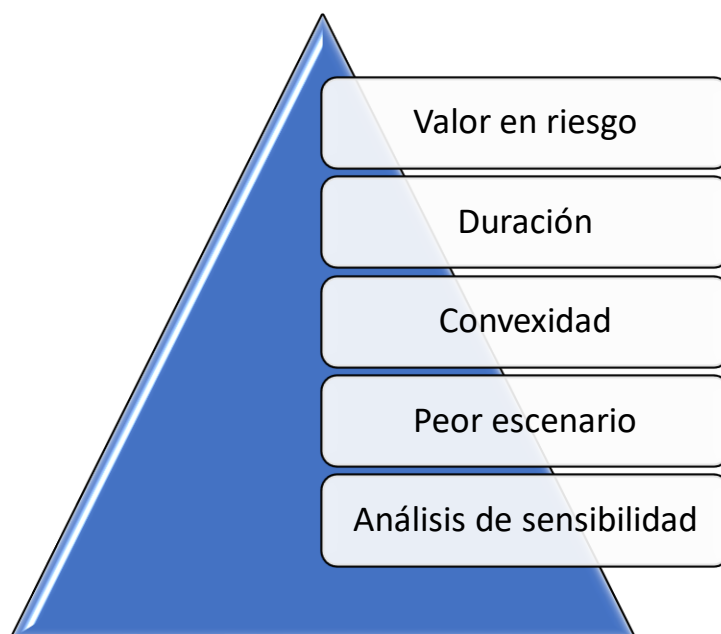
verse afectados al querer cambiar su horizonte de inversión respecto a ciertos factores como las tasas de interés y la inflación; es decir, el valor del dinero en el tiempo.

El objetivo de la gestión del riesgo de mercado es medir el riesgo por diferentes criterios para mejorar las estrategias de negociación, por lo cual se consigue una determinación aceptable de capital.

Lo mencionado anteriormente solo complementa y afirma que los riesgos de mercado se asocian a la volatilidad y liquidez.

Un tema importante para estudiar el riesgo es a través de la medición o, dicho en otras palabras, su cuantificación que basa en lo siguiente:

Figura 2.2 Cuantificación de riesgos.



Fuente: elaboración propia

Un término que no se debe de pasar por alto es la volatilidad ya que este mide la velocidad a la que se mueven los precios, esto es, hace que los precios puedan subir o disminuir: cuanto mayor sea la volatilidad, más incertidumbre existe con respecto a la dirección de mercado y los precios futuros y viceversa. De esta manera, la volatilidad mide el riesgo de mercado ya que a mayor volatilidad se tendrá un mayor nivel de riesgo en los portafolios de inversión.

La volatilidad se maneja como un factor de riesgo y los portafolios de inversión están conformados con respecto la expectativa que se tienen del riesgo de cada inversionista en particular, de esta manera, la matriz de varianza y covarianza se modifica tanto por cambios en las volatilidades de cada uno de los activos que

conforman el portafolio, así como por el cambio de las relaciones en los precios expresadas en los coeficientes de correlación.

Los métodos tradicionales de la medición del riesgo de mercado (riesgo en precio, de tipo de cambio y de tipo de interés) son diversos, algunos se basan por la longevidad de sus activos (títulos de deuda), considerando los pagos de cupones intermedios (método por duración)⁵¹; otro método tradicional es por el valor del punto básico que trata de la variación en un punto sobre la tasa interna de rentabilidad experimentada por el valor de mercado de un bono⁵². Otros métodos tradicionales son los GAPS de duración que toman en cuenta las variaciones en el tipo de interés sobre el valor neto de una entidad financiero o en su defecto en su margen financiero. Se encuentra también la simulación que no es más que una medición dinámica mucho más densa en el procesamiento de datos. Sin embargo, en 1995 se llegó a una determinación de la utilización de modelos internos de medición y control del riesgo de mercado en donde el elemento en común era ofrecer una medida innovadora del riesgo expresada en términos de Valor en riesgo (VaR).

2.3 Calificación de riesgo

Las calificadoras crediticias forman parte de un dictamen esencial para la visualización y análisis público de la calidad de crédito y capacidad financiera que tienen las distintas entidades para cumplir con obligaciones financieras que hayan adquirido con demás emisores, ya sean empresas, una institución de crédito, una entidad gubernamental, etc.

La calificación de riesgo es una distribución de rangos que muestra aquella información útil y necesaria para conocer si los prestatarios cuentan de verdad con fondos necesarios para afrontar de la mejor manera una deuda contraída. Gracias a esto existen dependencias de **rating** o agencias de calificación de riesgos que se encargan de estimar los productos financieros de los emisores (gobierno y empresas).

Los emisores o prestatarios deben estar dados de alta en el Registro Nacional de Valores y, durante la evaluación de riesgo, se toma en cuenta el entorno macroeconómico, el sector en que se desarrolla su actividad, la calidad de la administración, las innovaciones de los productos que ofrecen, así como políticas y oportunidades de mercado y el beneficio que han generado.

⁵¹ Feria J. (2005). El riesgo de mercado, su medición y control. México: Delta publicaciones. Pp 16.

⁵² Feria J. (2005). El riesgo de mercado, su medición y control. México: Delta publicaciones. Pp 20.

De acuerdo a los estándares de calificación por agencias capacitadas en México (MOODY'S de México S.A. DE C.V. y FITCH México S.A. DE C.V.) los siguientes rangos son los considerados en la toma de decisiones:

Tabla 2.1 Escala de calificación.

Calificación	Designación	Definición de la designación
AAA (mex)	Sobresaliente	La capacidad de pago de interés y principal es sustancialmente fuerte.
AA (mex)	Alto grado	Es la segunda mejor calificación en grados de inversión.
A (mex)	Bueno	Tiene una fuerte capacidad de pago pero sensible a cambios de condiciones de la economía.
BBB (mex)	Satisfactorio	Con condiciones económicas adversas llevan a un debilitamiento de la capacidad de pago.
BB (mex)	Cuestionable	Tiene mayor exposición al riesgo a circunstancias adversas financieras.
B (mex)	Pobre	La deuda tiene mayor vulnerabilidad de incurrir en incumplimiento de pago.
CCC (mex)	Malo	Contempla una identificada posibilidad de incumplimiento de pago.
D (mex)	Muy malo	Emisiones de deuda que hayan incurrido en incumplimiento de pago.
E (mex)	Lo peor	Emisiones de deuda que hayan incurrido en incumplimiento de pago.

Fuente: elaboración propia con datos de la CNBV.

Con la tabla anterior podemos observar la denominación ligada al riesgo que se debe de tomar en cuenta al adquirir cada instrumento financiero, además, un análisis fundamental en este tipo de toma de decisiones es que observamos un deterioro o mejora en la calificación de los valores en estudios; esto se deberá al desempeño que tiene cada emisor en particular, ya que si se trata de una baja en la calificación crediticia se referirá a una menor bursatilidad del bono o acción emitido que reflejara, a su vez, una baja en el precio si el comprador quisiera venderlo en el mercado de valores antes de su fecha de vencimiento.

2.4 Valor en Riesgo (VaR)

Para entrar en materia del VaR debemos remontarnos a los acuerdos de Basilea, donde se establecieron propuestas para la adopción de una metodología estándar para cubrir el riesgo de mercado, con esto se concluyó que dicho riesgo se regulaba con base en las exigencias de recursos propios. Y, en 1995 se estuvo en favor de utilizar modelos internos de medición del riesgo de mercado, aprobando una medida llamada VaR, generando así una referencia para inversores y gestores de riesgo.

Los métodos tradicionales de medición de riesgo se quedan en un ámbito contable, además cada vez la conformación de los portafolios es mucho más compleja, de ahí la necesidad de contar con medida mucho más profunda, por consiguiente, los organismos de supervisión bancaria con el propósito de garantizar un sistema financiero reconocen el VaR para la medición de riesgos.

El VaR surge de la aplicación de los principios de la teoría de carteras donde se explica la valoración de riesgo de una posición de mercado⁵³, donde se menciona que un portafolio será eficiente al maximizar su rendimiento, para un determinado nivel de riesgo; en pocas palabras, el VaR es aquella relación entre el rendimiento y riesgo para determinar si los resultados fueron eficientes⁵⁴.

De esta manera podemos definir al VaR como el resumen de pérdida máxima esperada respecto a un horizonte de tiempo dentro de un intervalo de confianza⁵⁵, es decir, determinar cuál será nuestro peor escenario dentro de un portafolio con un parámetro dado.

El valor en riesgo normalmente es aplicado para valuar para el control de la categoría crediticia de una cartera o de un portafolio en especial, también puede ser aplicado para el cálculo de los rendimientos ajustados al riesgo, es decir, ya dada la función de los factores de riesgo poder estimar cuales pueden ser las utilidades dentro de un portafolio, así como analizar los límites de riesgo de mercado.

El valor en riesgo es la pauta en la medición de los mercados, se considera como un nivel de referencia (Benchmark) en los mercados financieros que expresa la máxima pérdida posible. Otorga una expectativa de resultados basada en estadística, respecto a series de datos en el tiempo⁵⁶

Es un estimado de la máxima pérdida esperada que puede sufrir un portafolio durante un periodo de tiempo “x” y con cierto nivel de probabilidad o confianza.

Los estándares básicos dentro de la determinación del VaR son que para su cálculo se utiliza un intervalo de confianza de una cola y un nivel de confianza de un 95% o 99%, se necesita un intervalo de factores de riesgo, por lo menos con un historial de un año atrás. El VaR se calcula de forma diaria, además de la constante actualización de las bases de datos (por lo menos 3 meses).

Un punto importante a considerar es que para el manejo efectivo del cálculo del VaR debe realizarse una prueba de confirmación (Back Test) solamente para la verificación del modelo.

⁵³ Feria J. (2005). El riesgo de mercado, su medición y control. México: Delta publicaciones. Pp 44.

⁵⁴ <http://www.banxico.org.mx/>

⁵⁵ Jorion P. (2010). Valor en riesgo. México: Limusa. pp 38.

⁵⁶ De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores pp 59.

Los componentes del VaR son:

- a) Nivel de confianza: es el nivel de probabilidad de que las pérdidas del portafolio superen la cifra del VaR. (generalmente se utilizan las medidas de 90%, 95% ó 99%).
- b) Horizonte temporal: es el establecimiento del tiempo, en donde se otorgara un horizonte de tiempo corto a portafolios especulativos y viceversa⁵⁷. (generalmente se utiliza un periodo de 10 días hábiles para la estimación).

La determinación del periodo de cálculo de la posición se genera a través de las condiciones del mercado, esto quiere decir que se debe observar que tan revolvente es el mercado (que tan liquido es). Ya que cuando el mercado se encuentra en una situación donde es más liquido el cálculo del VaR será más preciso, con un horizonte temporal más corto y viceversa.

En pocas palabras el VaR proporciona una medida resumida del riesgo de mercado donde el VaR absoluto nos menciona la cantidad absoluta en riesgo y el VaR relativo es aquella cantidad absoluta en riesgos más las ganancias esperadas.

Cuantificación:

Para poder cuantificarlo se necesita su nivel de confianza y horizonte temporal ya dados; el modelo interno del Comité de Basilea decide un intervalo de confianza de 99% sobre diez días, mientras que, por ejemplo, JP Morgan utiliza un nivel de 95%, ya que niveles de confianza más elevados implica un VaR mayor.

Lo que hace el VaR es permitir medir probabilidades como porcentajes pues generalmente utilizan el 1% y 5%, es decir un nivel de confianza del 99% y 95%.

Para cuantificar el VaR de un portafolio se utiliza:

Ecuación 2.1 Cuantificación del riesgo.

Concepto	Fórmula
Valor en riesgo	$E(W) - W^* = -W_0(R^* - U)$

Fuente: elaboración propia.

Donde:

W_0 = inversión inicial

R = tasa de rendimiento

$W = W_0(1+R)$ = valor del portafolio al final del horizonte objetivo.

⁵⁷ Knop R. (2014). Medición de riesgos de mercado y crédito. México: Delta publicaciones. Pp 77.

C= nivel de confianza

U= rendimiento esperado de R

$W^* = W_0 (1+R^*)$ = valor más bajo del portafolio al nivel de confianza.

La determinación del VaR también puede ser hecha mediante el valor mínimo de W^* , de tal manera el VaR puede calcularse a través de la distribución de probabilidad del valor futuro del portafolio⁵⁸ $f(w)$.

Con un nivel de confianza dado deseamos encontrar el peor escenario del W^* , de esta manera tenemos:

Ecuación 2.2 Peor escenario.

Concepto	Fórmula
Peor escenario del valor más bajo del portafolio	$c = \int_{W^*}^{\infty} f(w)dw$

Fuente: elaboración propia.

VaR para distribuciones paramétricas.

En estos casos solo se cumple el supuesto de que la distribución es normal, de tal manera el VaR puede obtenerse de la sustracción de este y por la desviación estándar del portafolio.

Para hacer el cálculo se traduce la distribución general, en una distribución normal estándar con una media cero. Para encontrar el VaR de una variable normal estándar se establece un nivel de confianza en un 5%⁵⁹.

En ese sentido el VaR es solo un múltiplo de la desviación estándar de la distribución, se menciona que es el multiplicador ya que se multiplica con un factor relacionado con el nivel de confianza.

Usar esta metodología trae consigo una ventaja que muy pocos modelos generan, por ejemplo, el fácil entendimiento y manejo de importantes aspectos acerca de la cuantificación de diferentes factores del riesgo.

El VaR es una estimación aproximada que demuestra la exposición que se tiene en un portafolio a diversos factores (factores de riesgo de mercado). En consecuencia, el VaR es un cálculo sumamente esencial y necesario dentro del control de riesgos que el analista financiero debe dominar.

⁵⁸ Jorion P. (2010). Valor en riesgo. México: Limusa. Pp 101

⁵⁹ Jorion P. (2010). Valor en riesgo. México: Limusa. Pp 103

2.5 Métodos para la medición del VaR

En el apartado anterior se mencionaron los fundamentos en los que basa la medición del valor en riesgo, su importancia y demás, sin embargo, los enfoques para la medición de éste son variados, por lo tanto, en este apartado se explicara la fundamentación de cada uno, sin profundizar en el procedimiento, generando una perspectiva de cada uno de los métodos.

Si tomamos en cuenta que el VaR sintetiza las perdidas posibles dentro de un nivel de confianza fijo; los métodos para su medición son:

- Método delta normal:

Este método se basa en una combinación de metodologías, por un lado requiere de una base de datos como el sistema RiskMetrics y un sistema de mapeo local que transforma las posiciones del portafolio en ponderaciones⁶⁰ sobre cada dato en donde se mide el riesgo.

- Método de simulación histórica:

Esta medición como su nombre lo indica recupera información pasada de un mismo portafolio y mediante a su tendencia pronostica el comportamiento de sus activos.

- Valuación por método de “griegas”:

Este tipo de medición es usada para portafolios que pueden estar sujetos a una cantidad muy limitada de riesgos lo cual genera una buena medición del VaR⁶¹.

- Prueba de estrés:

Este enfoque es un análisis particular de escenario donde se analiza los posibles efectos de variables del portafolio, este escenario especifica el interés por estudiar y observar los posibles cambios en el valor del portafolio.

- Simulación Monte Carlo:

El modelo Monte Carlo se fundamenta en la generación de escenarios múltiples, donde estima el posible valor de las variables que pueden generar cambios en el portafolio, esta caminata aleatoria amplía su rango de riesgos a considerar además de que lleva a cabo un proceso estocástico para su procesamiento y estudio.

⁶⁰ Jorion P. (2010). Valor en riesgo. México: Limusa. Pp. 230

⁶¹ Guigui: 2010)

2.6 Requisitos para la cuantificación de un riesgo de mercado

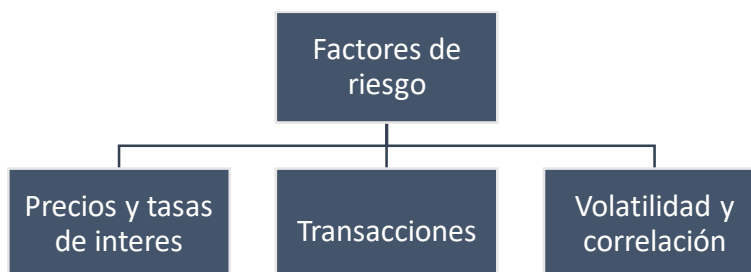
- 1.- Se debe de contar con los precios y tasas de interés de mercado para la valuación de los instrumentos.
- 2.- Cuantificar las volatilidades y correlaciones que permitan obtener el valor en riesgo por instrumento.

Figura 2.3 Mitigación del riesgo



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.4 Factores de riesgo.



Fuente: elaboración propia.

2.7 Políticas de administración de riesgos

- a) Medición de VAR
- b) Información de precios y tasas de mercado
- c) Desarrollo de modelos
- d) Sistemas
- e) Estructura de límites de tolerancia al riesgo

Información de riesgos:

- a) Pérdidas y Ganancias
- b) Valor en riesgo
- c) Cumplimiento de límites

Las instituciones que no tienen cultura de riesgo ganan más dinero en el corto plazo, pero en el largo plazo convertirán sus riesgos en pérdidas que pueden significar la bancarrota⁶².

Los precios de los activos dentro de un portafolio en los mercados se comportan de acuerdo a una caminata aleatoria, es decir, el precio de un bono al día de hoy es independiente de los precios observados en días anteriores.

Esto es la base para considerar que el supuesto de normalidad en los rendimientos de los precios de los instrumentos financieros, se supone como algo razonable.

2.8 Proceso integral de medición de riesgos

Dentro de las medidas básicas para la medición del riesgo de un portafolio se encuentra el rendimiento y el riesgo, ya que en la disposición en que una inversión es más riesgosa se debe tener un mayor rendimiento.

Podemos definir el rendimiento como una forma de medición del riesgo, porque puede ser tan diversa, como el número de metodologías aplicables.

En este sentido se conoce que el rendimiento de un activo o de un portafolio es el cambio de valor que registra en un periodo con respecto a su valor inicial⁶³.

Ecuación 2.3 Rendimiento.

Concepto	Fórmula
Rendimiento	$\frac{(\text{Valor final} - \text{Valor inicial})}{(\text{Valor inicial})}$

Fuente: elaboración propia.

De este modo el rendimiento es la suma ponderada de los rendimientos individuales de los activos que componen el portafolio por el peso que tienen dichos activos, por lo tanto, el rendimiento promedio es la suma de los rendimientos de cada uno de los activos entre el número de activos.

$$Ra = ((1 + Rn))^{n-1}$$

- Medición de Riesgo:

Para observar como los rendimientos de algún activo o portafolio de activo se han comportado respecto al pasado se utiliza una distribución de frecuencias (histograma de frecuencias).

⁶² De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores pp 64.

⁶³ De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores pp 70

Construcción de una distribución de frecuencias:

Normal, Binomial, Exponencial.

Distribución de probabilidad empírica, basada en el comportamiento de las pérdidas del portafolio.

- a) Determinación de las observaciones de mínimo y máximo valor.
- b) Elegir un número de subintervalos es decir, rangos y clases.
- c) Contar el número de observaciones q pertenecen a cada rango (frecuencia por clase).
- d) Determinar la frecuencia relativa mediante la división entre la frecuencia por clase y el número de observaciones⁶⁴.

Es importante resaltar que los instrumentos financieros presentan por lo general una distribución de probabilidad normal, por tal las variables a saber:

Desviación estándar:

La medición del riesgo para un solo instrumento dentro del portafolio se puede observar mediante el cálculo de la desviación estándar, como se sabe la desviación estándar es una medida de dispersión, la cual muestra que tan alejados se encuentran los datos respecto al valor promedio (mientras más distantes, mayor desviación estándar).

Varianza:

Esta es la media aritmética de las desviaciones de la media elevadas al cuadrado; es la suma de las distancias de cada uno de los valores con respecto a su media aritmética elevadas al cuadrado.

Covarianza:

Esta es la suma de los productos de las desviaciones estándar que se encuentran dentro de los rendimientos y la media para cada uno de los activos del portafolio. Es una medida estadística de relación lineal entre dos variables aleatorias, mostrando el movimiento conjunto entre estas que a su vez pueden ser los rendimientos de un portafolio.

$$\text{COV}(A,B) = \sum_{i=1}^N P [A - \mu_A] [B - \mu_B]$$

Correlación:

Indica la fuerza y la dirección de una relación lineal, entre dos variables aleatorias. El signo positivo (significa que las dos variables se mueven en la misma dirección,

⁶⁴ De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores pp 30

mientras más cercano a la unidad mayor será el grado de dependencia mutua); con signo negativo (indica que dos variables se mueven en sentidos opuestos).

$$\text{Corr (A,B)} = P_{AB} = \frac{\text{COV (A,B)}}{\sigma_A \sigma_B}$$

A continuación, se presenta un ejemplo claro de cómo calcular todas las medidas estadísticas antes mencionadas, asimismo se enlistaran las fórmulas de cada medida.

Tabla 2.2 Medidas estadísticas.

Concepto	Fórmula
Media aritmética	$\bar{X} = \frac{\sum x}{N}$
Varianza	$\sigma_x^2 = \frac{\sum(x)^2}{N} - (\bar{x})^2$
Desviación estándar	$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$
Covarianza	$\sigma_{xy} = \frac{\sum x_i * y_i}{N} - (\bar{x})(\bar{y})$
Correlación	$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x * \sigma_y}$

Fuente: elaboración propia.

Ejemplo usando las medidas antes mencionadas:

Tabla 2.3 Ejemplo de medidas estadísticas.

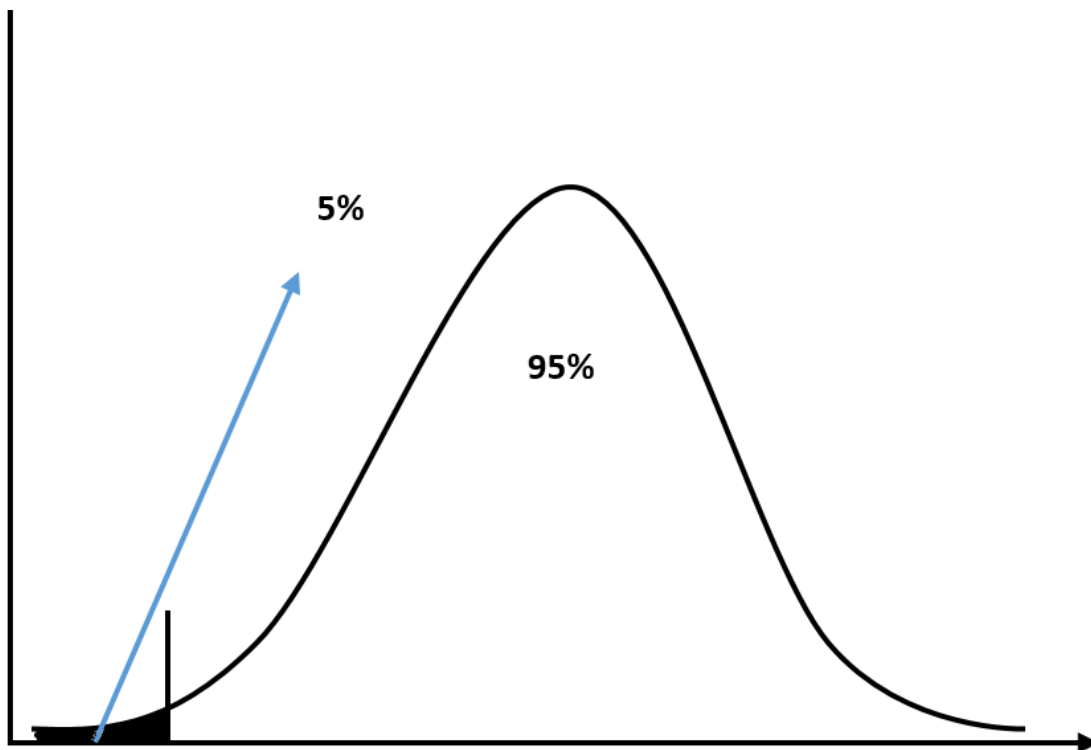
Datos					
X_i	Y_i	X_i^2	Y_i^2	$X_i * Y_i$	
8	15	64	225	120	N = 6
5	1	25	1	5	
4	2	16	4	8	
12	9	144	81	108	
7	14	49	196	98	
3	10	9	100	30	
39	51	307	607	369	Σ
<p>Medias aritméticas:</p> $\bar{X} = \frac{39}{6} = 6.5$ $\bar{Y} = \frac{51}{6} = 8.5$					
<p>Varianzas:</p> $\sigma_x^2 = \frac{307}{6} - (6.5)^2 = 8.91$ $\sigma_y^2 = \frac{607}{6} - (8.5)^2 = 28.91$					
<p>Desviaciones estándar:</p> $\sigma_x = \sqrt{8.91} = 2.98$ $\sigma_y = \sqrt{28.91} = 5.37$					
<p>Covarianza:</p> $\sigma_{xy} = \frac{369}{6} - (8.5 * 6.5) = 6.25$					
<p>Correlación:</p> $r = \frac{6.25}{(2.98)(5.37)} = 0.38$					

Fuente: elaboración propia.

Distribución normal estandarizada:

Es aquella que tiene una media igual a cero y una desviación estándar de uno. La mayor parte de los rendimientos se sitúan alrededor de un punto y poco a poco se van dispersando hacia las colas de la curva de distribución normal.

Gráfica 2.1 VaR al 5%.



Fuente: elaboración propia.

Cuando la varianza o volatilidad es variable en el tiempo se dice que la serie es heteroscedástica.

Volatilidad de rendimientos de precios \neq volatilidad de tasas de interés.

Formas de medición:

- 1.- Volatilidad histórica.
- 2.- Volatilidad dinámica o con suavizado exponencial.
- 3.- Volatilidad implícita.
- 4.- Modelos ARCH y GARCH.

2.9 Ejemplificación del VaR

Como se había comentado anteriormente el VaR muestra la pérdida máxima que se puede adquirir o, también, descrito como el cálculo de la distribución de la pérdida diaria de un portafolio⁶⁵.

Cuando se tiene un nivel de confianza del 90% se tendrá un valor “z” 1.38; con un nivel de confianza del 95% se tiene un valor “z” de 1.64 y si el nivel de confianza es del 99%, su valor “z” respectivo será de 2.33.

Los pasos para la implementación del VaR son: el cálculo de la volatilidad, la desviación estándar y el VaR del portafolio.

Se tiene un ejemplo:

Ecuación 2.4 VaR.

Concepto	Fórmula
<ul style="list-style-type: none">-Se tiene una inversión de \$500,000-Con una volatilidad de 5%-Un nivel de confianza del 95% y un horizonte temporal de 15 días.	$\text{VaR} = \text{SDportafolio} * z_a$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 2.5 Ejemplo de VaR.

Operaciones
$\text{Volatilidad: } \$500,000 * 0.05 = \$25,000$
$\text{Desviación estándar: } \$25,000 * \sqrt{15} = \$96,824.58$
$\text{VaR: } \$96,824.58 * 1.64 = \$158,792.31$

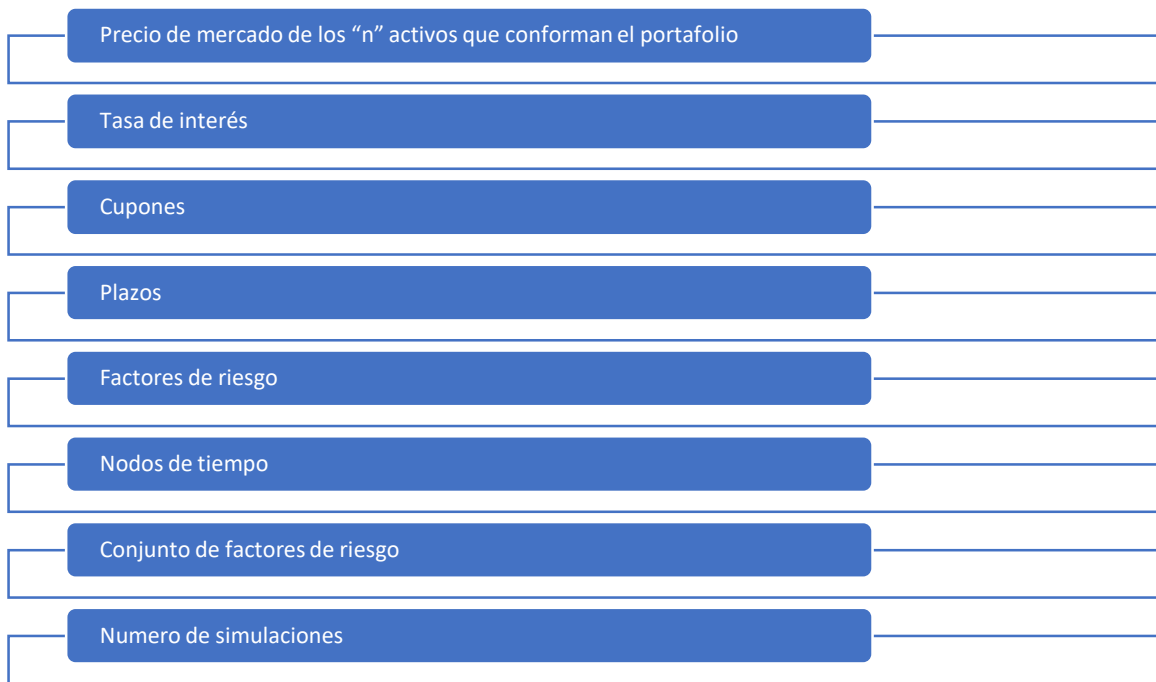
Fuente: elaboración propia.

2.10 Información necesaria

Para calcular el VaR es necesario contar, según la evidencia teórica, con al menos 3-5 años de datos diarios que reflejen el comportamiento de las siguientes variables financieras.

⁶⁵ Hull J. Risk Management and Financial Institutions.

Figura 2.5 Información necesaria.



Fuente: elaboración propia.

Capítulo 3 Optimización de portafolios de inversión

3.1 Introducción al capítulo

La vida diaria en todo el mundo se mueve a través del dinero, por ejemplo, trasladarte de tu hogar a tu trabajo o a cualquier destino requiere recursos. Son incontables las razones por las cuales se necesita dinero y los seres humanos deben estar en constante movimiento para generarlo. De tal suerte que esta concepción ha transformado la forma de pensar y las preocupaciones de los individuos en “cómo viviré el día de hoy” a “cómo hago dinero hoy”.

Más allá de entrar en un sistema de generación de dinero clásica y hasta común como el caso de una tanda o preservar el dinero en una cuenta de ahorro, de cheques básica, una que genere intereses, una de depósito, o pensar en resguardar el dinero en casa, ¿Podría ser mejor opción generar un portafolio de inversión?

Que una persona tenga en su poder un portafolio de inversión le hace tener ventaja con respecto a las maneras clásicas de duplicar su capital.

Un portafolio de inversión es una manera efectiva de ver crecer, duplicar, triplicar, el dinero, pero también existe el riesgo de que se pierda lo invertido, pero algo es seguro, si se quiere obtener mayor intereses, un portafolio con las mejores inversiones es una opción viable.

Siguiendo con nuestra exposición, un portafolio de inversión es un conjunto de posiciones o una serie de transacciones que se realizan con el objetivo de ganar dinero.

La puerta de entrada para poder generar un portafolio no se limita a una edad promedio, es decir, no debes ser una persona de edad madura para poder abrir un portafolio de inversión, hay cuentas abiertas para jóvenes que van empezando hasta inversionistas experimentados y veteranos con millones de ganancias en activos respaldándolos.

Un portafolio de inversión, es la elección de valores que se encuentran cotizando en el mercado bursátil, la decisión de qué activo elegir y cuál no, descansa bajo la toma de aspectos básicos como el nivel de riesgo que está dispuesto a correr y las metas que busca alcanzar con dicha inversión.

Dentro de la composición de un portafolio puede incluir valores como acciones de empresas, partes sociales, obligaciones, bonos corporativos, bonos de gobierno, títulos opcionales, certificados, pagarés, letras de cambio y demás títulos de crédito que se encuentren en los mercados de valores y, que se emitan ya sea en serie o

en masa y representen el capital social, una parte alícuota de un bien o la participación en un crédito, todo para la generación de dinero.

3.2 El proceso de inversión

El economista está acostumbrado a vincular el proceso de inversión con la temática explicada por Paul A. Samuelson, Mankiw, Gordon y Krugman la cual es un determinante de la demanda agregada y de tal manera afecta el ciclo de las pérdidas y ganancias dentro de los negocios⁶⁶, sin olvidar que esta misma conlleva a grandes cantidades de capital, recordemos que al impactar a la demanda agregada se estará generando una estimulación al producto interno bruto a corto plazo, reflejándose en el potencial económico de un país y promoviendo el crecimiento económico a largo plazo.

Si bien, esa es la concepción general del proceso de inversión por parte de los autores mencionados, sin embargo, la idea a tratar en este trabajo es abordar el proceso de inversión como una metodología a seguir en la construcción de un portafolio de inversión y generar rendimientos a través de las variables seleccionadas.

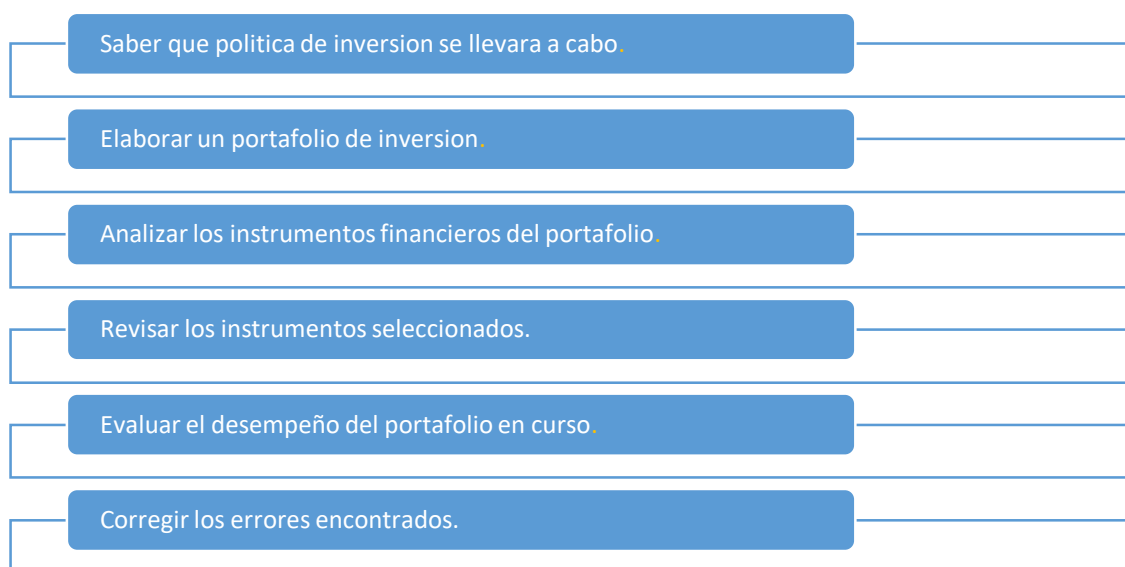
El proceso de inversión implica la manera o modo en el cual un agente obtiene rendimientos, para eso debe tomar decisiones óptimas sobre aquellos instrumentos financieros en los cuales invertir, teniendo en cuenta que estos sean negociables en el mercado de valores.

Un punto importante en esta concepción es que el inversionista deberá tener contemplada la cantidad de inversión, es decir, qué tan grandes serán los montos a invertir, así como cuándo es el mejor momento para implementarlas.

El proceso de inversión descansa bajo ciertas premisas:

⁶⁶ Gordon A. Fundamentos de inversiones teoría y práctica. Pearson Educación. 2003 pp 12

Figura 3.1 Proceso de inversión.



Fuente: elaboración propia.

La selección de una política de inversión es crucial en un proceso y no se trata más que del perfil de inversión de cada individuo, ya sea que el perfil del inversionista sea conservador, riesgoso o considerado un perfil estándar, es decir, ni tan conservador ni tan riesgoso.

Este perfil descansa bajo las metas del individuo y de la cantidad de recursos que empleara para realizar la inversión.

Claro está que el rendimiento de un portafolio se encuentra altamente ligado con el nivel de riesgo que tenga cada inversionista, es decir, estamos hablando de una relación directa, a mayor nivel de riesgo se tendrá mayor rendimiento esperado.

De esta forma para obtener un rendimiento mayor es sumamente importante considerar correr un mayor nivel de riesgo, es decir, el riesgo se refiere a aquella posibilidad de que se obtenga una ganancia o rendimiento de la inversión inicial más pequeña o más grande al esperado.

Al incurrir en una selección de inversión existe la probabilidad de una obtención de un rendimiento muy grande, pero a la vez puede generarse una pérdida bastante alta ya que, como lo mencionamos anteriormente, a mayor riesgo se obtendrá mayor rendimiento o mayor pérdida, de tal manera que los objetivos de la inversión deberán realizarse en términos de rendimiento y riesgo y no solamente de uno.

Un proceso de inversión tendrá que realizarse a través de las metas existentes en el inversionista y este tener en consideración tanto el nivel de riesgo así como el

nivel de rendimiento y estas últimas descansan bajo el proceso de selección de valores, es decir aquellos instrumentos financieros que se incluirán en el portafolio.

El análisis de valores o instrumentos financieros implica un estudio de diferentes activos con la finalidad de seleccionar los valores y así determinar los mejores activos.

Existen dos formas de calificar y analizar los valores, mediante un análisis técnico y/o fundamental.

3.2.1 Construcción de portafolios

Este paso es la continuación del inciso anterior, donde la construcción y elaboración de portafolios se basa en la identificación de valores en los cuales se puede invertir, donde las cuestiones acerca de la selectividad son tomadas por el perfil del inversionista.

La selectividad es aquel pronóstico del movimiento de los precios de valores a lo largo del tiempo.

Dentro de la perspectiva de inversión en carteras para la obtención de una rentabilidad se toman en cuenta dos posturas: activa y pasiva, la primera es referida a la obtención de información accesible junto con metodologías eficaces que generen rendimientos superiores de un portafolio diversificado; mientras que una estrategia pasiva es aquella donde el principal factor es la diversificación de la cartera.

En el caso de un portafolio de bonos se seleccionan aquellos instrumentos los cuales generaran que el portafolio sea eficiente, es decir, que con un nivel de riesgo y la proporción invertida cada uno de los valores que conforman al portafolio se generara un rendimiento alto.

3.3 Riesgos en los portafolios de inversión

Como lo mencionamos en el capítulo uno, el riesgo de un portafolio y sus componentes se presenta por medio de la varianza o también llamada desviación estándar de cada uno de los activos junto con el nivel de correlación entre cada una de las rentabilidades de los activos del portafolio.

En el capítulo uno se hizo una caracterización general de los riesgos financieros, pero dentro de los riesgos de un portafolio pueden surgir dos muy importantes, riesgo sistemático y no sistemático.

El riesgo sistemático es característico de un mercado, es decir, este riesgo no depende solo de un bono, sino afecta al mercado de renta fija en su totalidad.

Este tipo de riesgo puede mitigarse a través de una estrategia de asignación de activos, es decir, invirtiendo en deuda y acciones.

El riesgo no sistemático es particular de cada emisora y se da por factores propios y específicos de cada instrumento financiero, esto quiere decir que no afecta a los demás valores en el mercado.

Capítulo 4 Modelo Monte Carlo Estructurado y prueba de validación Back Test

4.1 Introducción al capítulo

Las adaptaciones del mundo actual a un modelo a escala permiten visualizar escenarios posibles en un mundo de “n” variables, donde su variación es desconocida. Estos modelos consisten en imitar una serie de circunstancias que en realidad se podrían estar llevando a cabo, de aquí el nombre de “simulación”.

La importancia de generar una simulación es mejorar la toma óptima de decisiones a partir del movimiento de sus variables, para poder de esta manera analizar las consecuencias de las modificaciones. Una es que se pueden abordar desde escenarios muy sencillos hasta casos muy complejos.

Lo más importante dentro de una simulación es que no modifica el mundo real sino permite experimentar con los posibles escenarios.

4.2 Simulación Monte Carlo

La simulación Montecarlo tiene sus orígenes en la época de la segunda guerra mundial, donde la metodología de generación de números aleatorios fue utilizada para un ensayo del lanzamiento de la bomba atómica⁶⁷.

La simulación Monte Carlo es una técnica que calcula datos específicos (probabilidades, cantidades, variables) a través de la secuencia de números aleatorios.

La simulación Montecarlo tiene ese nombre gracias a la insaciable fiebre por los juegos del azar, explico: dentro del principado de Mónaco (país autónomo de Europa occidental) se encuentra un casino de juego reconocido a nivel mundial; su nombre “Casino Montecarlo”; donde la atracción principal son los juegos de azar, al analizarlo de forma objetiva tenemos una explicación de la consistencia de una simulación, ya que este método puede explicarse como una ruleta para referirse a los movimientos aleatorios descritos por el precio de los activos financieros; es por esto la denominación al modelo como “Montecarlo”.

La invención del método de Monte Carlo se asigna a Stan Ulam y a John von Neuman.

La idea de aplicar este método es probar con experimentos las miles de posibilidades por un número aleatorio según las probabilidades, es decir, simular la realidad a través de una muestra aleatoria.

⁶⁷ Feria J. (2005). El riesgo de mercado, su mercado y control. México: Delta publicaciones. Pp 147.

El método Monte Carlo es un indicador de análisis de riesgo en un portafolio de inversión, índices bursátiles o incluso en los agregados macroeconómicos de un país.

El Montecarlo es llevado a la práctica para la estimación de escenarios de valor que puede tener un portafolio de inversión a una fecha objetivo⁶⁸, lo que llanamente significa que Montecarlo estipula las posibles ponderaciones dentro del portafolio leídas a través del VaR.

La presentación del modelo Montecarlo como una simulación financiera fue llevada a cabo gracias a Boyle⁶⁹ y consiste en una prueba “random walk” para simular el valor hipotético del portafolio introduciendo posibles escenario.

Es decir, la simulación Montecarlo refleja una metodología acerca de un proceso aleatorio donde se obtienen los precios de los activos financieros. Cada simulación arroja un posible escenario respecto al valor de los activos, de esta forma, la distribución simulada asemeja una parte de la realidad y es así que podemos determinar el valor en riesgo, este procedimiento se efectúa una gran cantidad de veces, para determinar un nivel de confianza específico.⁷⁰

Como olvidar un principio fundamental en finanzas que dice “la diversificación disminuye el riesgo”; y es que gracias a la diversificación es decir a medida que se incorporen activos dentro de un portafolio o a medida a que el portafolio aumenta el número de valores, disminuye el riesgo medido por la desviación estándar de los rendimientos de la misma⁷¹.

Es importante considerar que el VaR en un solo instrumento mide la máxima pérdida posible esperada durante un periodo de tiempo, bajo condiciones de mercado y dentro de un nivel de confianza; mientras que el VaR de un portafolio sintetiza en una única medida el riesgo total de un portafolio.

El enfoque Montecarlo puede adaptarse a distintos factores como el manejo de activos o valores con distribuciones no normales, normales, con distribuciones lineales, etc. Es un modelo que alivia las dificultades técnicas.

- a) Calcular una matriz de 10,000 números aleatorios con la característica que contenga una distribución normal $N(0,1)$.
- b) Determinar una matriz $Y = A^T x X$ donde “Y” tiene una distribución normal $N(0, \Sigma)$.
- c) Generar 10,000 simulaciones de los factores de riesgo.

⁶⁸ Jorion P. (2010). Valor en riesgo. México: Limusa. Pp 253

⁶⁹ Boyle, P.P. (1977). “Options: A Monte Carlo approach”. Journal of Financial Economics, 4.

⁷⁰ De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores. Pp. 67

⁷¹ Brealy; 2012

- d) Calcular una serie de pérdidas y ganancias.
- e) Determinar el VaR correspondiente a la simulación que se obtiene de calcular el percentil correspondiente de la serie de pérdidas y ganancias obtenida anteriormente.

En la actualidad se generan múltiples combinaciones de esta metodología con algoritmos estándar, esto con el fin de solucionar ecuaciones diferenciales, académicamente hablando⁷².

4.2.1 Caminata Aleatoria

El botánico Robert Brown⁷³ plantea y sustenta un movimiento aleatorio a través de su investigación, citando “Una partícula suficientemente pequeña como un grano de polen, inmersa en un líquido, presenta un movimiento aleatorio”; de tal manera que a nuestros días esa fundamentación se ha hecho válida, siendo pilar en la metodología de valoración de instrumentos financieros (derivados y opciones).

La simulación Montecarlo descansa bajo el principio de estimación aleatoria o inferencias aleatorias denominadas como (ϵ), de esta forma la generación de números aleatorios están dentro de un rango $[0,1]$, se considera que los números aleatoriamente estimados son de procedencia pseudo aleatorios, ya que su elaboración descansa bajo un algoritmo que utiliza una regla determinística⁷⁴, subsecuentemente se transforma el número aleatorio en la distribución deseada, a través de la función de distribución de probabilidad acumulativa inversa⁷⁵.

El modelo Montecarlo como teorema aplicado en el campo financiero es complicado de entender, por la complejidad que lleva consigo. Un punto importante a considerar es que los precios de un valor se comportan de acuerdo a un proceso estocástico⁷⁶.

Esto va referenciado al modelo de Wiener que en esencia manifiesta un movimiento geométrico Browniano que consiste en una explicación algebraica que sustenta los rendimientos de los activos a analizar como el resultado de un componente determinístico y estocástico, es decir, una presencia de certidumbre acerca de la evolución futura del activo, esto es, de su tendencia; lo correspondiente al proceso estocástico se explica del teorema de falta de certidumbre.

⁷² David F. Anderson, Desmond J. Higham, and Yu Sun. (2018) Computational Complexity Analysis for Monte Carlo Approximations of Classically Scaled Population Processes. *Multiscale Modeling & Simulation* 16:3, 1206-1226.

⁷³ Brown R. (1829). Additional Remarks on Active Molecules.

⁷⁴ Jorion P. (2010). Valor en riesgo. México: Limusa. Pp 258

⁷⁵ Jorion P. (2010). Valor en riesgo. México: Limusa. Pp 258

⁷⁶ De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores. Pp. 143

Estos componentes (deterministas y estocásticos) presentan un choque aleatorio, explico: es aquel proceso donde las variables aleatorias no presentan correlación entre ellas, algunos autores llaman este fenómeno como “ruido blanco”. La fórmula para la generación de números aleatorios es:

Ecuación 4.1 Números aleatorios.

Concepto	Fórmula
Números aleatorios	$\frac{ds}{s} = \mu dt + \sigma dz$

Fuente: elaboración propia.

Donde μ representa la media de los rendimientos, σ representa la desviación estándar de los rendimientos, $(\frac{ds}{s})$ representa los rendimientos del activo de tal manera que la primera parte de la igualdad representa el componente determinístico y la segunda parte representa el componente estocástico donde el valor dz es una variable aleatoria, así que:

Figura 4.1 Componentes estocásticos v determinísticos.



Fuente: elaboración propia.

De tal manera y al descomponerlo tenemos que σdz es igual a $\sigma \varepsilon_t \sqrt{\Delta t}$, de tal manera que al despejarlo teniendo como factor determinista al precio del activo en el tiempo t :

Ecuación 4.2 Factor de recursividad.

Concepto
Factor de recursividad
Fórmula
$P_{t+1} = P_t + P_t * (\mu * \Delta t + \sigma * \varepsilon_{t1} * \sqrt{\Delta t})$ $P_{t+2} = P_{t+1} + P_{t+1} * (\mu * \Delta t + \sigma * \varepsilon_{t2} * \sqrt{\Delta t})$ $P_{t+n} = P_T$

Fuente: elaboración propia.

En la función antes escrita se describe un proceso sin fin; en el campo informático se le conoce como un factor de recursividad (comúnmente llamado un círculo sin

fin), es decir, una función que al dividirla en partes más pequeñas siempre podrá seguirse dividiendo.

Para crear números aleatorios es necesario crear los escenarios, el modelo Montecarlo permite crear mínimo 10,000 escenarios como condicionante.

Para determinar el nuevo valor del activo, este dependerá del valor obtenido en el periodo anterior y así de manera sucesiva como un factor de recursividad.

La forma en que se desenvuelve el proceso de simulación es en la generación de números aleatorios donde se utiliza la fórmula:

Ecuación 4.3 Generación de números aleatorios.

Concepto	Fórmula
Generación de números aleatorios	$W_T = P_t * k$

Fuente: elaboración propia.

Donde el valor de la posición simulado se refiere a (W_T) y el número de títulos se refiere a (k) de esta forma se repetiría el proceso tantas veces se requiera o se necesite para obtener la distribución de números simulados, con base en la generación aleatoria se estima la distribución de pérdidas y ganancias, la cual, abre las puertas para la deducción del VaR.

De esta manera se estimara: $W_{T,1}, W_{T,2}, W_{T,3}, \dots, W_{T,10000}$

4.2.2 Ventajas e inconvenientes de la simulación Monte Carlo

a) Ventajas

- 1.- La simulación Montecarlo es, el mejor método posible para medir y cuantificar el valor en riesgo⁷⁷.
- 2.- Considera un margen mucho más grande de riesgos comparado con otras simulaciones, como la simulación histórica, el método Montecarlo toma en consideración al riesgo precio, volatilidad y de crédito.
- 3.- Permite identificar la sensibilidad de la estimación VaR cuando se presentan cambios en la composición del portafolio⁷⁸.

⁷⁷ Jorion P. (2010). Valor en riesgo. México: Limusa. Pp 253.

⁷⁸ Feria J. (2005). El riesgo de mercado, su mercado y control. México: Delta publicaciones. Pp.158

4.- Esta simulación es mucho más eficaz cuando se tratan de modelos que presentan más de una variable ordenada al riesgo.

b) Desventajas

1.- La metodología utilizada para su elaboración tiende a ser muy compleja en términos estadísticos.

2.- El costo tecnológico es alto, ya que a medida que aumentan los escenarios a estimar el tiempo promedio se vuelve un inconveniente.

3.- Puede llegar a incurrirse en un riesgo de modelo, ya que las volatilidades y correlaciones pueden ser muy robustas.

4.- El escaso acceso al material o en su caso el poco material en la práctica profesional hace más complicado el conocimiento de la simulación.

4.3 Back test

Estar seguros en la toma de decisiones es fundamental, la vida diaria nos prueba con decisiones en todo momento sean correctas o no, en el campo de finanzas la toma de decisiones debe ser con un margen de error mínimo y es por eso que una comprobación en los métodos paramétricos es de suma importancia. El back test no se aleja de esa línea contextual ya que es considerada como un ejercicio de autocomprobación donde el objetivo es comparar y asegurar la incidencia que tuvo el modelo de medición de riesgo previamente realizado.

El análisis con pruebas de stress y back test son tan esenciales en la práctica profesional financiera que el no analizarlas o incorporarlas en el estudio de estimación y comprobación del VaR realizado resultaría en un estudio incompleto.

Los modelos y simulaciones de activos financieros en función de la medición, estimación y control de riesgos tienen una relación con la pruebas de stress y back test ya que sirven para corroborar la simulación previamente realizada.

Por lo tanto definimos al back test como un mecanismo de comprobación estadística para validar y corroborar la estimación del valor en riesgo (VaR) mediante los valores reales y los estimados.

El esquema regulatorio para el back test se haya en el estudio del grupo de los treinta y sobre los acuerdos de Basilea II, donde se establecen los ideales para la verificación de la estimación del VaR además de los ajustes y mejoras que debería tener el modelo para un mejor funcionamiento.

Las regulaciones dentro de Basilea II consisten en analizar el número de repeticiones que un modelo de estimación del capital con un nivel del confianza del 99%, falla en un año.

La mecánica para la elaboración de esta prueba de validación consiste en un análisis comparativo del valor en riesgo determinado en la simulación Montecarlo contra las pérdidas y ganancias reales. El objetivo de la prueba de validación es verificar el resultado lanzado por la simulación, es decir, solo se califica la eficiencia del modelo⁷⁹, como su nombre lo indica, valida el resultado del valor en riesgo obtenido.

Como bien se menciona arriba, su elaboración es más un análisis comparativo, donde los pasos que se siguen son:

1. Los resultados obtenidos que se consideran como ganancias y pérdidas se calculan con cambios en la valuación.
2. Subsecuentemente se compara con las pérdidas y ganancias diarias.
3. Se formularan los datos para poder observar la eficiencia con una división simple:

Ecuación 4.4 Comprobación de la simulación.

Concepto	Fórmula
Eficiencia de la simulación	$\frac{\text{numero de excepciones}}{\text{numero de observaciones}}$

Fuente: elaboración propia.

Donde el número de excepciones son las veces que los valores fueron superiores al valor en riesgo observado.

Para abordar el tema de las pruebas de validación back test debemos referirnos necesariamente una vez más a los acuerdos de Basilea ya que en el marco de supervisión para el uso del back test junto a los enfoques de modelos internos a los requerimientos de capital para el riesgo de mercado se hicieron algunas correcciones para los acuerdos de capital. Se conoce que bancos alrededor del mundo cuentan como parámetro un modelo ya establecido por Basilea en la medición de riesgo de mercado, donde se compara las pérdidas y ganancias diarias contra el modelo generado por cada uno de los bancos de medición de riesgo realizado en función, para el cálculo de la calidad y de la eficiencia de las medidas utilizadas en la concepción del riesgo.

Mediante el cálculo diario del valor en riesgo de un banco comparándolo con el resultado del valor en riesgo de la actividad económica actual (trading outcome) se obtiene la idea metodológica general del back test, el objetivo es que al momento

⁷⁹ De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores. Pp. 155

de compararlo se cuentan el número de veces que el banco obtuvo un VaR más grande que el índice tomado como referencia (trading outcome).

La diferencia resultado de esta puede ser comparada con el nivel de cobertura deseado para medir el desempeño del modelo de riesgo del banco.

En dicho marco se menciona que los estudios del back test siguen desarrollándose y mejorándose por lo cual muchos bancos tienen discrepancias en el uso de la metodología. La verdad del asunto es que se están haciendo esfuerzos para mejorar esta metodología ya que el objetivo es distinguir entre los modelos precisos y los que no lo son, para evitar decisiones erróneas que sean el punto de partida hacia una catástrofe interna.

Para abreviar la metodología usada en el back test solo hay que basarse en la idea de que es una comparación entre el modelo de medición de riesgo propio de la entidad y los resultados de la actividad económica reciente.

El back test tiene como característica ser una oportunidad ampliamente generosa para la incorporación de apropiados incentivos para el enfoque de modelos internos de manera consistente y que cubrirá un conjunto de variables y circunstancias.

Como se dijo anteriormente el proceso de una metodología estándar y única para la utilización de la banca mundial aún es una disyuntiva, pero en ningún momento se dudó en el acuerdo de Basilea que es de suma importancia mantener grandes incentivos para el mejoramiento de los modelos de riesgo en la banca y, sobretodo, resaltar que se incorporaran avances dentro de este marco de supervisión.

Dentro del marco de supervisión se encuentra una sencilla clasificación de los resultados que es muy importante, ya que en ella se analizan y se estudian los resultados que arrojará el análisis del back test.

Los resultados mostraran un rango específico y dependiendo de la magnitud de la señal generada se le asignara un rango, este rango está clasificado en colores dependiendo de la jerarquía del resultado asignado.

Claro está que cada una de las barreras de color significara la graduación o intensidad del resultado, es decir, a medida que el color se torna más oscuro se tendrá una mayor incertidumbre en los resultados obtenidos.

En el marco de supervisión se detallaron 3 zonas de un color cada una, la zona verde, zona amarilla y la zona roja; en la zona verde están los valores obtenidos por back test que no encuentran problemas con la calidad y eficiencia del modelo del banco en estudio, además, de que la posibilidad de que se haya incurrido en un inapropiado modelo es baja.

La zona amarilla no significa que el modelo es errónea, pero tampoco significa que la calidad del modelo es magnífica, es la zona media, entre la zona verde y la zona roja: solo está indicando que se presentan cuestionamientos en su eficiencia y que no hay una conclusión ya dicha de antemano, de este modo el supervisor y encargado deberá solicitar información adicional acerca de este modelo para la toma de una decisión.

Por último la zona roja nos genera una alerta ya que existe la probabilidad de que el resultado refleje una discrepancia en la eficiencia del modelo tomado por el banco, es decir, encuentra un riesgo muy elevado en el modelo utilizado por la entidad. Por lo tanto es muy probable que se haya tomado en consideración la utilización de un modelo inapropiado.

Se menciona además que las zonas definidas en colores fueron consideradas para balancear dos tipos de errores muy comunes dentro de la toma en consideración de un back test que son: considerar un apropiado modelo de riesgo como uno inapropiado y un segundo error como aquella posibilidad de considerar un modelo de riesgo inapropiado para realizar una prueba back test generando ineficiencias en la validación.

El marco de supervisión del comité de Basilea definió las fronteras para cada una de las zonas mediante el cálculo de sus probabilidades binomiales asociadas a su cobertura.

La forma normativa de calibrar el back test es creando una tabla ponderando los resultados, Basilea recomienda la siguiente reglamentación:

Tabla 4.1 Análisis de un Back Test.

Análisis del Back test	
Color	Resultado de las excepciones
Verde	0
	1
	2
	3
	4
Amarilla	5
	6
	7
	8
	9
Roja	Más de 10

Fuente: elaboración propia.

El color verde hace referencia a que la simulación del valor en riesgo no tiene ningún problema y que el modelo fue eficiente, el color amarillo indica cuidado y advertencia, es decir, que no es conveniente concluir algo acerca del modelo y, finalmente, en el color rojo se hace notar que el modelo o simulación está mal calibrada y que es de suma importancia remediar los errores ya que presenta problemas de precisión.

Bajo la reglamentación y disposición de Basilea en incorporar una medida de autocomprobación, como el back test podemos concluir que la modelación de estos mecanismos aún siguen evolucionando y que al momento se pueden encontrar muchas diferencias entre las metodologías usadas por distintos bancos.⁸⁰

Los resultados para el back test son explicados por la sensibilidad de una cartera estática a los shocks de precios instantáneos.

Es decir, las posiciones de negociación al final del día se introducen en el modelo de medición del riesgo, que evalúa el cambio en el valor de esta cartera debido a movimientos de precios y tasas durante el período de estudio.

⁸⁰ Basilea. (1996). Supervisory framework for the use of “backtesting” in conjunction with the internal models approach to market risk capital requirements.

Capítulo 5 VaR por simulación Montecarlo y prueba de validación Back test

5.1 Introducción al capítulo

Hasta el momento el presente trabajo se ha desarrollado bajo una metodología descriptiva y conceptual, pues es fundamental conocer lo que los autores expertos en la materia nos dicen sobre el riesgo y la medición o cuantificación de este. No obstante para obtener la aprobación y el respaldo de todo lo que se ha venido desarrollando de manera textual se optó por un trabajo práctico elaborado con ayuda de Microsoft Excel, en el cual se desarrolla la simulación Montecarlo y demás cálculos antes mencionados.

Microsoft Excel es una herramienta bastante útil, en la cual se realizan tareas financieras y contables, de esta forma Excel es una plataforma práctica para poder realizar una simulación Montecarlo. Microsoft Excel al ser una herramienta que utiliza hojas de cálculo cuenta con muchas funciones, así como con fórmulas, gráficos y comandos de programación los cuales serán vitales para la demostración práctica del modelo en curso.

5.2 Selección de la muestra

Dentro de la construcción del portafolio de inversión se decidió escoger 25 bonos del mercado Norteamericano de manera aleatoria respetando dos criterios:

- 1.- Rendimientos positivos dentro del periodo de inversión.
- 2.- Cotización continúa.

El periodo de inversión que se consideró dentro del análisis fue del 2 de septiembre del 2014 al 2 de septiembre del 2017 teniendo así tres años de datos históricos generando una adecuada y manejable base de datos, ya que para cualquier análisis bursátil se debe contar cuando menos de tres años históricos.

La información y la base histórica de cada uno de los 25 bonos se tomaron de la página virtual de FINRA⁸¹ (Financial Industry Regulatory Authority).

⁸¹ FINRA es una página que no forma parte del gobierno estadounidense pero se dedica al cuidado de inversionista y a la integridad del mercado. FINRA se dedica a brindar a cada consultor la seguridad para cada inversor, asegurando que cada persona que esté dispuesta a invertir obtenga la protección básica que se merezca así como tener un registro de los instrumentos financieros previamente calificados y licenciados.

Dentro de la página de FINRA se obtuvieron los siguientes datos relevantes de cada bono:

- Nombre de la empresa que emitió el bono
- Tasa cupón
- Fecha de vencimiento
- Tasa yield a la emisión
- Ultima tasa yield registrada
- Ultimo precio del bono
- Tipo de bono
- Subgrupo del bono
- Industria a que pertenece el bono
- Fecha a la cual se hizo la oferta del bono
- Fecha del primer cupón del bono
- Oferta inicial
- Frecuencia del pago de cupón
- Calificación del bono

Estos son solo algunos datos de cada uno de los bonos, dentro del Excel se encuentran más datos que son para completar la información del instrumento. Con lo mencionado, el listado de los bonos quedo establecido de la siguiente manera:

Tabla 5.1 Bonos considerados en el portafolio.

Bonos:	
1.-	AMERICA WEST AIRLS INC
2.-	AMERICAN EXPRESS CO
3.-	ACE CAP TR II
4.-	BHP BILLITON FIN USA LTD
5.-	CARNIVAL CORP
6.-	CITIGROUP INC
7.-	FIRSTMERIT CORP
8.-	HAWAIIAN AIRLS
9.-	WAL-MART STORES INC
10.-	VALLEY NATL BANCORP
11.-	ALTRIA GROUP INC
12.-	PHILIP MORRIS INTL INC
13.-	CONTINENTAL AIRLS INC
14.-	TIME WARNER COS INC
15.-	SUSQUEHANNA BANCSHARES INC
16.-	SMURFIT CAP FDG PLC
17.-	GRAND MET INVT CORP
18.-	COLUMBIA / HCA HEALTHCARE CORP
19.-	HSBC HLDGS PLC
20.-	ENEL AMERICAS S A

21.-	LLOYDS TSB BK PLC RETAIL MEDIUM TERM SR
22.-	UNION PAC RR CO 2001-1 PASS THRU TR
23.-	AB SVENSK EXPORTKREDIT - SWEDISH EXPT CR
24.-	ALLIED SIGNAL INC
25.-	BARCLAYS BK PLC MEDIUM TERM NTS BOOK ENT

Fuente: elaboración propia.

Con la tabla anterior se puede apreciar la contabilización y listado de los 25 bonos con el nombre de las firmas (empresas) que corresponden respectivamente.

La siguiente tabla muestra de igual manera el sector y sub sector al cual pertenece cada bono así como el tipo de instrumento:

Tabla 5.2 Sector al cual pertenecen los bonos seleccionados.

	Bono	Industry Group	Industry Sub Group	Sub-Product Asset Type
1.-	AMERICA WEST AIRLS INC	Industrial	Transportation	Corporate Bond
2.-	AMERICAN EXPRESS CO	Financial	Financial Services	Corporate Bond
3.-	ACE CAP TR II	Financial	Insurance	Corporate Bond
4.-	BHP BILLITON FIN USA LTD	Industrial	Manufacturing	Corporate Bond
5.-	CARNIVAL CORP	Industrial	Manufacturing	Corporate Bond
6.-	CITIGROUP INC	Financial	Financial Services	Corporate Bond
7.-	FIRSTMERIT CORP	Financial	Banking	Corporate Bond
8.-	HAWAIIAN AIRLS	Miscellaneous	Transportation	Corporate Bond
9.-	WAL-MART STORES INC	Industrial	Retail	Corporate Bond
10.-	VALLEY NATL BANCORP	Financial	Banking	Corporate Bond
11.-	ALTRIA GROUP INC	Industrial	Manufacturing	Corporate Bond
12.-	PHILIP MORRIS INTL INC	Industrial	Manufacturing	Corporate Bond
13.-	CONTINENTAL AIRLS INC	Industrial	Transportation	Corporate Bond
14.-	TIME WARNER COS INC	Industrial	Service/Leisure	Corporate Bond
15.-	SUSQUEHANNA BANCSHARES INC	Financial	Banking	Corporate Bond
16.-	SMURFIT CAP FDG PLC	Industrial	Manufacturing	Corporate Bond
17.-	GRAND MET INVT CORP	Industrial	Manufacturing	Corporate Bond
18.-	COLUMBIA / HCA HEALTHCARE CORP	Industrial	Service/Leisure	Corporate Bond
19.-	HSBC HLDGS PLC	Financial	Banking	Corporate Bond
20.-	ENEL AMERICAS S A	Utility	Electric	Corporate Bond
21.-	LLOYDS TSB BK PLC RETAIL MEDIUM TERM SR	Financial	Banking	Corporate Bond
22.-	UNION PAC RR CO 2001-1 PASS THRU TR	Industrial	Railroad	Corporate Bond
23.-	AB SVENSK EXPORTKREDIT - SWEDISH EXPT CR	Government	Foreign Agencies	Corporate Bond
24.-	ALLIED SIGNAL INC	Industrial	Manufacturing	Corporate Bond

25.-	BARCLAYS BK PLC MEDIUM TERM NTS BOOK ENT	Financial	Banking	Corporate Bond
------	--	-----------	---------	----------------

Fuente: elaboración propia.

De esta forma se podrá observar si un bono es industrial, de gobierno, financiero, etc.

La siguiente tabla indica la información más relevante de cada bono:

Tabla 5.3 Información relevante de cada bono seleccionado.

	Bono	Coupon Rate	Maturity Date	Bond Type	Moody's Rating
1.-	AMERICA WEST AIRLS INC	8.057%	01/02/2022	US Corporate Pass Thru Trust	Baa2
2.-	AMERICAN EXPRESS CO	8.150%	03/19/2038	US Corporate Debentures	A3
3.-	ACE CAP TR II	9.700%	04/01/2030	Trust Preferred Capital Security	~
4.-	BHP BILLITON FIN USA LTD	4.125%	02/24/2042	US Corporate Debentures	A3
5.-	CARNIVAL CORP	7.200%	10/01/2023	US Corporate Debentures	A3
6.-	CITIGROUP INC	5.875%	01/30/2042	US Corporate Debentures	Baa1
7.-	FIRSTMERIT CORP	4.350%	02/04/2023	US Corporate Debentures	Baa1
8.-	HAWAIIAN AIRLS	4.950%	07/15/2023	US Asset Backed Security	Ba2
9.-	WAL-MART STORES INC	4.875%	07/08/2040	US Corporate Debentures	Aa2
10.-	VALLEY NATL BANCORP	5.125%	09/27/2023	US Corporate Debentures	~
11.-	ALTRIA GROUP INC	4.500%	05/02/2042	US Corporate Debentures	A3
12.-	PHILIP MORRIS INTL INC	4.875%	11/15/2043	US Corporate Debentures	A2
13.-	CONTINENTAL AIRLS INC	4.000%	04/29/2026	US Corporate Pass Thru Trust	A2
14.-	TIME WARNER COS INC	6.850%	08/15/2022	US Corporate Debentures	Baa2
15.-	SUSQUEHANNA BANCSHARES INC	5.375%	11/20/2025	US Corporate Debentures	A2
16.-	SMURFIT CAP FDG PLC	7.500%	04/15/2035	US Corporate Debentures	Ba1
17.-	GRAND MET INVT CORP	7.450%	06/15/2025	US Corporate Debentures	A3

18.-	COLUMBIA / HCA HEALTHCARE CORP	7.690%	01/14/2042	US Corporate Debentures	B1
19.-	HSBC HLDGS PLC	6.100%	12/01/2026	US Corporate Debentures	A1
20.-	ENEL AMERICAS S A	6.600%	08/15/2022	US Corporate Debentures	Baa3
21.-	LLOYDS TSB BK PLC RETAIL MEDIUM TERM SR	4.100%	07/06/2022	Retail Note	A1
22.-	UNION PAC RR CO 2001-1 PASS THRU TR	6.630%	01/27/2022	US Corporate Pass Thru Trust	Aa2
23.-	AB SVENSK EXPORTKREDIT - SWEDISH EXPT CR	1.125%	04/05/2018	Foreign Governments and Agencies	Aa1
24.-	ALLIED SIGNAL INC	9.065%	06/01/2033	US Corporate Debentures	A2
25.-	BARCLAYS BK PLC MEDIUM TERM NTS BOOK ENT	3.500%	02/16/2020	Retail Note	A1

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior nos indica algunos datos relevantes de cada uno de los 25 bonos como lo son el nombre, la tasa cupón, la fecha de vencimiento, el tipo de instrumento financiero y por último la calificación del bono. Cabe resaltar que en la columna de calificación algunos bonos no tienen; esto alerta que el instrumento financiero tiene un riesgo de pago mayor que el resto.

Con esto se muestra los instrumentos con los que se trabajó en la parte práctica, además de conocer toda la estructura e información de cada uno de los bonos que se eligieron.

Teniendo a disposición cada uno de los datos más relevantes de cada bono en estudio se ejecutaran y analizaran algunas de las medidas de desempeño más relevantes tanto individuales como en conjunto. La construcción de la base histórica fue realizada gracias a la cotización continua de cada uno de los bonos dentro del periodo seleccionado, la cual se elaboró con la extracción de los datos directamente de FINRA.

Para cada uno de los 25 bonos se desglosaron los precios desde el 2 de septiembre de 2014 al 2 de septiembre del 2017, claro está que no todos los bonos se cotizan exactamente todos los días, habrá bonos que unos días cotizan y otros no y viceversa, no son como las acciones dentro de un índice que los precios de cada una se mueve distinto cada día, además puede que los bonos seleccionados no coticen el día del cierre designado (2 de septiembre de 2017), por lo tanto se tomó en cuenta el último registro inmediato.

Para el manejo de los datos extraídos y sobre todo para generar la base histórica de precios de los bonos, solo necesitó dos columnas para cada uno de los instrumentos que son:

1.- Fecha

2.- Cierre

Por ejemplo:

Tabla 5.4 Vista previa de un bono.

AMERICA WEST AIRLS INC	
Fecha	Cierre
02/09/2014	\$ 112.55
03/09/2014	\$ 114.50
04/09/2014	\$ 112.52
12/09/2014	\$ 111.40
12/09/2014	\$ 111.60
15/09/2014	\$ 115.53

Fuente: elaboración propia.

Dentro del proceso de operación de bonos, se tiene para el mismo día muchas cotizaciones dado que el precio del bono está afectado por cada operación de compra-venta y para evitar ese desajuste se utilizó metodológicamente el último precio de cierre del día. Esto se deriva gracias a que los bonos tienden a tener cotizaciones el mismo día pero con precios distintos, es decir, a tal hora del día el bono en cuestión se cotizo a un precio y al cierre terminó en otro precio. Pero, por cuestiones metodológicas, importa el último precio de cada día.

Teniendo en cuenta todas las observaciones que hasta ahora se han mencionado; la base de datos en cuestión se puede apreciar de la siguiente manera con un ejemplo de 4 bonos y un periodo segmentado de tiempo (septiembre de 2014):

Tabla 5.5 Vista previa de la base de datos.

Fecha	AMERICA WEST AIRLS INC	AMERICAN EXPRESS CO	ACE CAP TR II	BHP BILLITON FIN USA LTD
02/09/2014	\$ 112.550	\$ 149.780	\$ 150.800	\$ 100.860
03/09/2014	\$ 114.500	\$ 149.780	\$ 150.800	\$ 100.860
04/09/2014	\$ 112.520	\$ 149.780	\$ 148.209	\$ 99.100
05/09/2014	\$ 112.520	\$ 149.780	\$ 148.209	\$ 99.100
08/09/2014	\$ 112.520	\$ 149.780	\$ 147.268	\$ 99.100
09/09/2014	\$ 112.520	\$ 149.719	\$ 147.268	\$ 99.100
10/09/2014	\$ 112.520	\$ 149.719	\$ 147.268	\$ 99.100
11/09/2014	\$ 112.520	\$ 149.719	\$ 147.268	\$ 96.507
12/09/2014	\$ 111.600	\$ 146.148	\$ 147.950	\$ 95.763
15/09/2014	\$ 116.030	\$ 146.148	\$ 147.950	\$ 95.763

16/09/2014	\$ 115.750	\$ 146.148	\$ 147.950	\$ 95.763
17/09/2014	\$ 115.750	\$ 146.148	\$ 147.950	\$ 95.763
18/09/2014	\$ 115.750	\$ 146.001	\$ 147.950	\$ 95.763
19/09/2014	\$ 109.000	\$ 146.001	\$ 147.950	\$ 96.027
22/09/2014	\$ 109.000	\$ 146.001	\$ 147.950	\$ 96.500
23/09/2014	\$ 114.500	\$ 146.001	\$ 147.950	\$ 96.259
24/09/2014	\$ 114.500	\$ 146.001	\$ 147.950	\$ 96.259
25/09/2014	\$ 115.000	\$ 146.001	\$ 147.950	\$ 96.570
26/09/2014	\$ 114.500	\$ 146.001	\$ 149.365	\$ 96.570

Fuente: elaboración propia.

Una característica esencial de los bonos es que cada uno cuenta con una cotización distinta, es decir, cada bono puede tener una cantidad “n” de cotizaciones durante la vida del instrumento, pudo cotizar durante una semana completa, un mes completo o un año completo, pero a la vez puede no cotizar durante una semana, un mes entero; de tal modo que cada uno de los bonos presenta una cantidad de valores históricos muy distinta a la de otros bonos.

Por ejemplo el bono de “America West Airs Inc.” tuvo dentro de los tres años de estudio una base de 193 datos históricos mientras que el bono de “American Express Co.” cuenta con 129 datos históricos dentro de los tres años seleccionados y cada uno de los demás 23 bonos cuentan con números muy distintos dentro de sus datos históricos por lo cual es importante contar con una base de datos única y general para los 25 bonos seleccionados, es decir, que cada uno de los bonos tengan la misma cantidad de datos históricos.

Teniendo una vez la base de precios del 2 de septiembre de 2014 al 2 de septiembre de 2017 se continuó con la formulación de los rendimientos en los precios de cada uno de los bonos mediante la fórmula de cambio porcentual.

Con un ejemplo puntual se formulara el procedimiento del cálculo:

Tenemos los precios del siguiente bono:

Tabla 5.6 Ejemplo del cálculo de rendimiento.

Fecha	AMERICA WEST AIRLS INC
02/09/2014	\$ 112.550
03/09/2014	\$ 114.500

Fuente: elaboración propia.

El rendimiento de estas dos fechas se calculó de la siguiente manera:

$$\frac{\$114.500}{\$112.550} - 1 = \mathbf{0.01732563}$$

De esta forma del 2 de septiembre de 2014 al 3 de septiembre de 2014 el bono tuvo un rendimiento de 1.73% es decir el bono de “AMERICA WEST AIRLS INC” aumento su valor un 1.73%.

Este procedimiento se realizó con cada uno de los precios históricos de cada uno de los bonos.

Una vez generados los rendimientos de todos los 25 bonos se generó tanto el promedio, así como la desviación estándar de cada activo de forma diaria y de forma anual.

5.3 Estadísticos descriptivos

El siguiente cuadro muestra el desglose de las medidas antes mencionadas:

Tabla 5.7 Promedio y Desviación estándar de cada bono.

	Bono	Media diaria	SD diaria	Media Anual	SD anual
1.-	AMERICA WEST AIRLS INC	0.010%	1.265%	2.53%	20.07%
2.-	AMERICAN EXPRESS CO	0.011%	1.170%	2.81%	18.57%
3.-	ACE CAP TR II	0.002%	0.630%	0.54%	9.99%
4.-	BHP BILLITON FIN USA LTD	0.009%	1.085%	2.34%	17.22%
5.-	CARNIVAL CORP	0.005%	0.695%	1.27%	11.03%
6.-	CITIGROUP INC	0.017%	1.468%	4.37%	23.31%
7.-	FIRSTMERIT CORP	0.006%	0.719%	1.42%	11.41%
8.-	HAWAIIAN AIRLS	0.011%	1.031%	2.67%	16.37%
9.-	WAL-MART STORES INC	0.013%	1.099%	3.27%	17.44%
10.-	VALLEY NATL BANCORP	0.006%	0.745%	1.56%	11.82%
11.-	ALTRIA GROUP INC	0.012%	0.960%	2.97%	15.24%
12.-	PHILIP MORRIS INTL INC	0.008%	0.828%	2.08%	13.15%
13.-	CONTINENTAL AIRLS INC	0.005%	0.939%	1.36%	14.91%
14.-	TIME WARNER COS INC	0.006%	0.991%	1.60%	15.73%
15.-	SUSQUEHANNA BANCSHARES INC	0.008%	0.734%	2.06%	11.65%
16.-	SMURFIT CAP FDG PLC	0.012%	0.997%	3.02%	15.83%
17.-	GRAND MET INVT CORP	0.007%	0.637%	1.85%	10.11%
18.-	COLUMBIA / HCA HEALTHCARE CORP	0.011%	1.101%	2.88%	17.47%
19.-	HSBC HLDGS PLC	0.008%	0.878%	1.89%	13.95%
20.-	ENEL AMERICAS S A	0.006%	0.128%	1.52%	2.03%
21.-	LLOYDS TSB BK PLC RETAIL MEDIUM TERM SR	0.005%	0.211%	1.31%	3.36%

22.-	UNION PAC RR CO 2001-1 PASS THRU TR	0.002%	0.254%	0.52%	4.04%
23.-	AB SVENSK EXPORTKREDIT - SWEDISH EXPT CR	0.001%	0.073%	0.35%	1.16%
24.-	ALLIED SIGNAL INC	0.005%	0.566%	1.16%	8.98%
25.-	BARCLAYS BK PLC MEDIUM TERM NTS BOOK ENT	0.003%	0.254%	0.82%	4.03%

Fuente: elaboración propia.

Al interpretar estos datos queda de la siguiente manera:

Se toma por ejemplo “AMERICA WEST AIRLS INC” que tuvo un promedio diario de 0.010%, esto es, el valor de este bono devenga un rendimiento promedio de 0.010% por día. La siguiente columna nos indica la desviación estándar diaria del activo y su interpretación es la siguiente: el bono “AMERICA WEST AIRLS INC” tiene una variabilidad en los rendimientos de sus precios de 1.265% diario, es decir, la desviación estándar al ser una medida de dispersión nos indica que tan alto o bajo se distribuyen los datos respecto al promedio.

Las siguientes dos columnas nos indican los mismos parámetros solo que de manera anual, por ejemplo para el mismo bono, cuenta con un promedio anual de 2.53%, es decir, el valor de este bono devenga un rendimiento promedio de 2.53% al año y mantiene una variabilidad en los rendimientos de sus precios de 20.07% al año respecto al promedio.

Dentro de la tabla anterior se puede observar que el bono de “CITIGROUP INC” es el que presenta un mayor rendimiento promedio diario con un 0.017%, con un 1.468%, de igual manera es el bono con la mayor desviación estándar diaria. En consecuencia, es el bono que cuenta con un mayor promedio y desviación estándar anual, 4.37% y 23.31%, respectivamente.

5.4 Cálculo de la tasa yield

Como bien lo mencionamos en el desarrollo teórico y conceptual del presente trabajo, la duración es un tema fundamental dentro del análisis de portafolios de inversión para títulos de renta fija ya que indica el grado de sensibilidad del valor del instrumento ante cambios en la tasa de interés.

De esta manera la siguiente tabla muestra los datos que necesitaremos para el cálculo de la duración de cada bono; se realizó, con el ejemplo con el bono de “FIRSTMERIT CORP”:

Tabla 5.8 Información necesaria de cada bono para el cálculo de la duración.

FIRSTMERIT CORP				
Coupon Rate	Yield	Maturity	Payment Frequency	Principal
4.350%	3.717%	10	Semi-Annual	100

Fuente: elaboración propia.

Tenemos que el bono cuenta con una tasa cupón de 4.35%, tiene una madures de 10 años, el pago de cupón es semestral, cuenta con un nominal de \$100 y tiene una tasa Yield de 3.717%. Claro está que la tasa Yield no se proporcionó al momento de sustraer la información de FINRA, esa tasa Yield fue calculada bajo la fórmula de tasa interna de retorno.

La tasa yield se calculó de la siguiente forma: cuando se tomaron los datos de FINRA de los 25 instrumentos de deuda fue a partir del 2 de septiembre de 2014, como si se hubieran comprado los bonos en esa fecha. Lo antes dicho es fundamental porque para calcular la Yield necesitamos el precio al que compramos el bono más los pagos de cupón hasta el vencimiento en donde el último cupón se le suma el principal que en este caso es \$100, tal como en la tabla anterior nos indica. La tasa que genera al usar la fórmula es semestral, puesto que los cupones se pagan de manera bianual (ocurre dos veces al año), por ello, para generar la tasa Yield anual basta multiplicar el resultado por dos.

Primero se debe de obtener el cupón en términos monetarios, con la siguiente formula:

$$\text{Cupón (\$)}: \text{Valor Nominal} * \left(\frac{\text{Tasa cupón}}{\text{Plazo}} \right)$$

Segundo, una vez calculado el cupón en términos monetarios podemos saber cuál será el flujo periódico cada semestre. Al calcular la tasa yield únicamente tenemos los flujos de caja, considerando el nominal en el último periodo menos la inversión inicial.

A manera de ejemplo en la siguiente tabla puede observar el procedimiento que se le aplico a cada uno de los bonos para saber la tasa yield para cada uno:

Tabla 5.9 Calculo de tasa yield.

FIRSTMERIT CORP	
04/02/2013	
04/08/2013	
04/02/2014	
04/08/2014	-104.58
04/02/2015	2.175
04/08/2015	2.175
04/02/2016	2.175
04/08/2016	2.175
04/02/2017	2.175
04/08/2017	2.175
04/02/2018	2.175
04/08/2018	2.175
04/02/2019	2.175
04/08/2019	2.175
04/02/2020	2.175
04/08/2020	2.175
04/02/2021	2.175
04/08/2021	2.175
04/02/2022	2.175
04/08/2022	2.175
04/02/2023	102.175
YTM Semestral	1.858%
YTM Anual	3.717%

Fuente: elaboración propia.

Como podemos observar de lado izquierdo de la tabla se observa las fechas en las cuales el bono paga el cupón correspondiente y de lado derecho se encuentran los cupones.

El cupón de este bono se derivó de la siguiente formula:

$$\text{Cupón: } \$100 * \left(\frac{0.04350}{2} \right) = \mathbf{\$2.175}$$

De esta manera significa que este bono paga cada seis meses un cupón de \$2.175.

Se puede apreciar que los cupones se consideraron desde el 4 de febrero de 2015 ya que cuando se compraron (hipotéticamente) los bonos el 2 de septiembre de 2014 la fecha inmediata de pago de cupón es el 4 de febrero de 2015, no se puede considerar una fecha antes, en este caso el 4 de agosto de 2014 puesto que en esa fecha este bono aún no se había adquirido por lo tanto ese pago de cupón no corresponde, de esta forma se considera el siguiente pago de cupón inmediato.

Como se observa en la tabla anterior el pago de cupones se desglosa hasta el vencimiento de ese bono (4 de febrero de 2023) en donde el último cupón se le suma el nominal, de esta forma el último pago de cupón se visualiza de la siguiente forma:

$$\$100 + \$2.175 = \mathbf{\$102.175}$$

Se observa de igual manera al principio de la tabla el precio en el cual se adquirió el bono, en este caso se pone con valores negativos ya que es una salida de efectivo por parte del inversionista de este modo se visualiza de la siguiente manera -\$105.58.

Al generar la fórmula de TIR nos arroja una tasa de 1.858% semestral puesto que los pagos de cupones se dan de manera semi anual por esta razón al final de la tabla anterior solo se multiplico la tasa por 2 generando una tasa yield anual de 3.717%.

De esta manera se cuenta con toda la información necesaria de cada uno de los bonos, es decir, se cuenta con la tasa cupón, se cuenta con la tasa yield, se cuenta con la fecha de vencimiento del bono y eso da pauta a saber los flujos que le restan de vida al bono, se cuenta con el valor nominal y con los cupones periódicos de tal forma que se puede proseguir con el cálculo siguiente al cual llamamos “duración del bono”.

5.5 Cálculo de la duración y duración modificada

La duración es una medida de suma importancia ya que es utilizada en la valoración de bonos teniendo en cuenta 2 aspectos:

- 1.- La duración es utilizada para determinar el plazo promedio del bono.
- 2.- La duración determinara la sensibilidad que cuenta el bono respecto a ciertos factores.

Recordemos que dentro del campo de la duración se tiene una clasificación de esta medida de sensibilidad:

- 1.- Macaulay
- 2.- Modificada

La duración Macaulay indica el tiempo promedio en el que el que compra el bono o inversionista recibe el pago del principal, mientras que la duración modificada muestra el cambio que tendrá el instrumento ante un cambio en la tasa de interés y se define como la duración Macaulay descontada un periodo.

Matemáticamente la duración es igual a la derivada de la función del precio respecto a la tasa:

Tabla 5.10 Duración Macaulay.

Concepto
Duración Macaulay
Fórmula
$\frac{dP}{dy} = \frac{(-1)C}{(1+y)^2} + \frac{(-2)C}{(1+y)^3} + \dots + \frac{(-n)C}{(1+y)^{n+1}} + \frac{(-n)VC}{(1+y)^{n+1}}$ $\frac{dP}{dy} = -\frac{1}{1+y} \left[\frac{(1)C}{(1+y)} + \frac{(2)C}{(1+y)^3} + \dots + \frac{(n)C}{(1+y)^n} + \frac{(n)VC}{(1+y)^n} \right]$

Fuente: elaboración propia.

Si aplicamos el procedimiento al bono "FIRSTMERIT CORP" de la tabla como ejemplo, descrito previamente en este trabajo el resultado sería:

Tabla 5.11 Calculo de la duración Macaulay dl bono "FIRSTMERIT CORP" tomándolo como ejemplo

Concepto
Duración del bono "FIRSTMERIT CORP"
Fórmula
$\$104.58 = \frac{\$2.175}{(1 + 0.018585)} + \frac{\$2.175}{(1 + 0.018585)^2} + \dots + \frac{\$2.175}{(1 + 0.018585)^n} + \frac{100}{(1 + 0.018585)^n}$ $\frac{dP}{dy} = \frac{(-1)\$2.175}{(1 + 0.018585)^2} + \frac{(-2)\$2.175}{(1 + 0.018585)^3} + \dots + \frac{(-n)\$2.175}{(1 + 0.018585)^{n+1}} + \frac{(-n)100}{(1 + 0.018585)^{n+1}}$ $\frac{dP}{dy} = -\frac{1}{1 + 0.018585} \left[\frac{(1)\$2.175}{(1 + 0.018585)} + \frac{(2)\$2.175}{(1 + 0.018585)^3} + \dots + \frac{(n)C\$2.175}{(1 + 0.018585)^n} + \frac{(n)100}{(1 + 0.018585)^n} \right]$

Fuente: elaboración propia.

Para determinar el cambio aproximado en el precio y en la yield, se calcula la primera derivada de la ecuación del precio de un bono con respecto a la tasa yield.

Debemos tener claro que el valor que se encuentra dentro de los corchetes es el promedio ponderado de los flujos de efectivo del bono.

Ahora si dividimos entre el precio tenemos:

Tabla 5.12 Duración Macaulay semestral y anual.

Fórmula	
$\frac{dP}{dy} \frac{1}{\$104.58} = - \frac{1}{1 + 0.018585} \left[\frac{(1)\$2.175}{(1 + 0.018585)} + \frac{(2)\$2.175}{(1 + 0.018585)^3} + \dots + \frac{(n)\$2.175}{(1 + 0.018585)^n} + \frac{(n)100}{(1 + 0.018585)^n} \right] \frac{1}{p}$	
<p style="text-align: center;">Duración Macaulay =</p> $\frac{\left[\frac{(1)\$2.175}{(1 + 0.018585)} + \frac{(2)\$2.175}{(1 + 0.018585)^3} + \dots + \frac{(n)\$2.175}{(1 + 0.018585)^n} + \frac{(n)100}{(1 + 0.018585)^n} \right]}{\$104.58}$	
<p style="text-align: center;">17.46 = Duración Macaulay Semestral</p> $\frac{17.46}{2} = 8.73 = \text{Duración Macaulay Anual}$	

Fuente: elaboración propia.

De esta manera se interpreta que al tener este bono, se necesitará mantener el bono durante ocho años con ocho meses para recuperar la cantidad invertida.

Posteriormente, la duración Modificada se calculó de la siguiente forma:

Tabla 5.13 Duración modificada semestral y anual.

Concepto	Fórmula
Duración modificada Semestral	$- \frac{17.46}{1 + 0.018585} = -17.14$
Duración Modificada Anual	$\frac{-17.14}{2} = -8.57$

Fuente: elaboración propia.

Normalmente, la duración modificada es menor que la duración Macaulay ya que es la misma duración Macaulay pero descontada un periodo y de esta manera se interpreta que ante un incremento o disminución de la TIR en 1%, la variación en el precio del bono será del 8.57%.

La duración será menor o igual que el plazo al vencimiento del bono, además de que a medida a que la fecha de vencimiento se acerque se tendrá menor duración, es decir a mayor tiempo mayor duración. Otra propiedad de la duración es que a mayor cupón mayor duración y a mayor tasa de mercado se tendrá una menor duración.

Recordemos que la duración expresada en años indica el tiempo promedio en el cual el instrumento vencerá. Se cuenta con un plazo promedio ya que los bonos

cuentan con flujos de pago cada uno con un plazo de vencimiento diferente. De esta manera se habla de un promedio ponderado teniendo en cuenta el valor actual de cada flujo.

Claro está que este procedimiento se realizó con cada uno de los 25 bonos hasta generar la duración Macaulay y modificada de cada uno.

Hipotéticamente se decidió considerar un portafolio con un valor total de \$1,000,000.00 USD que se multiplicó entre los 25 bonos, respecto al precio inicial y, con esto, se pudo conseguir el número exacto de bonos que se habían considerado.

Se tomó como ejemplo el bono de “AMERICA WEST AIRLS INC”; este bono se adquirió a un precio de \$112.55, si el portafolio de inversión tiene un valor total de \$1,000,000.00, al dividirlo entre 25 activos nos indica que cada instrumento tiene un peso de 4% dentro del portafolio, posteriormente ese 4% se multiplica por el precio en el cual se adquirió el instrumento y se redondea a la unidad inferior inmediata, es decir:

$$\$1,000,000 * 4\% = \$40,000$$

$$\frac{\$40,000}{\$112.55} = 355.40 \text{ y al redondearlo se tiene 355 títulos adquiridos.}$$

De esta manera se adquirieron 355 bonos de la línea “AMERICA WEST AIRLS INC”, con un valor de \$112.55 cada uno.

La siguiente tabla muestra el número de bonos que se adquirieron de cada una de las 25 líneas:

Tabla 5.14 Composición del portafolio.

Valor del Portafolio				
\$ 1,000,000.00				
	Bono	Peso	Precio	Numero de bonos que se adquirieron
1.-	AMERICA WEST AIRLS INC	4.0%	\$ 112.55	355
2.-	AMERICAN EXPRESS CO	4.0%	\$ 149.78	267
3.-	ACE CAP TR II	4.0%	\$ 150.75	265
4.-	BHP BILLITON FIN USA LTD	4.0%	\$ 100.86	396
5.-	CARNIVAL CORP	4.0%	\$ 121.92	328
6.-	CITIGROUP INC	4.0%	\$ 121.81	328
7.-	FIRSTMERIT CORP	4.0%	\$ 104.58	382
8.-	HAWAIIAN AIRLS	4.0%	\$ 98.75	405
9.-	WAL-MART STORES INC	4.0%	\$ 113.17	353
10.-	VALLEY NATL BANCORP	4.0%	\$ 105.60	378
11.-	ALTRIA GROUP INC	4.0%	\$ 99.42	402
12.-	PHILIP MORRIS INTL INC	4.0%	\$ 109.00	366

13.-	CONTINENTAL AIRLS INC	4.0%	\$ 102.74	389
14.-	TIME WARNER COS INC	4.0%	\$ 120.33	332
15.-	SUSQUEHANNA BANCSHARES INC	4.0%	\$ 105.62	378
16.-	SMURFIT CAP FDG PLC	4.0%	\$ 114.25	350
17.-	GRAND MET INVT CORP	4.0%	\$ 142.00	281
18.-	COLUMBIA / HCA HEALTHCARE CORP	4.0%	\$ 110.62	361
19.-	HSBC HLDGS PLC	4.0%	\$ 130.15	307
20.-	ENEL AMERICAS S A	4.0%	\$ 107.48	372
21.-	LLOYDS TSB BK PLC RETAIL MEDIUM TERM SR	4.0%	\$ 104.78	381
22.-	UNION PAC RR CO 2001-1 PASS THRU TR	4.0%	\$ 114.12	350
23.-	AB SVENSK EXPORTKREDIT - SWEDISH EXPT CR	4.0%	\$ 98.87	404
24.-	ALLIED SIGNAL INC	4.0%	\$ 153.38	260
25.-	BARCLAYS BK PLC MEDIUM TERM NTS BOOK ENT	4.0%	\$ 101.42	394

Fuente: elaboración propia.

Gracias a la tabla anterior podemos observar el número exacto de instrumentos que se compraron de cada línea, teniendo un portafolio con una cantidad total de 8784 instrumentos financieros de renta fija: por ejemplo, la cadena de “HAWAIIAN AIRLS” se compraron 405 títulos, siendo la cadena a la cual se compraron más bonos y contrastantemente la cadena de “ALLIED SIGNAL INC” es la línea a la cual se compraron la menor cantidad de bonos; en este caso 260 títulos.

Para tener una mejor presentación del portafolio, se dio la tarea de establecer una tabla en donde se encontraran las medidas más significativas de la cartera, como se sugiere a continuación:

Tabla 5.15 Medidas de desempeño de cada bono.

	Bono	Rendimiento	Desviación Estándar	Peso	Duración Macaulay	Duración Modificada
1.-	AMERICA WEST AIRLS INC	2.53%	20.07%	4.0%	19.89	-19.31
2.-	AMERICAN EXPRESS CO	2.81%	18.57%	4.0%	19.14	-18.70
3.-	ACE CAP TR II	0.54%	9.99%	4.0%	23.83	-23.25
4.-	BHP BILLITON FIN USA LTD	2.34%	17.22%	4.0%	19.24	-18.86
5.-	CARNIVAL CORP	1.27%	11.03%	4.0%	27.80	-27.21
6.-	CITIGROUP INC	4.37%	23.31%	4.0%	17.70	-17.32
7.-	FIRSTMERIT CORP	1.42%	11.41%	4.0%	8.73	-8.57
8.-	HAWAIIAN AIRLS	2.67%	16.37%	4.0%	8.36	-8.15
9.-	WAL-MART STORES INC	3.27%	17.44%	4.0%	19.69	-19.30

10.-	VALLEY NATL BANCORP	1.56%	11.82%	4.0%	8.20	-8.02
11.-	ALTRIA GROUP INC	2.97%	15.24%	4.0%	17.15	-16.77
12.-	PHILIP MORRIS INTL INC	2.08%	13.15%	4.0%	17.01	-16.65
13.-	CONTINENTAL AIRLS INC	1.36%	14.91%	4.0%	11.18	-10.98
14.-	TIME WARNER COS INC	1.60%	15.73%	4.0%	26.97	-26.37
15.-	SUSQUEHANNA BANCSHARES INC	2.06%	11.65%	4.0%	8.65	-8.46
16.-	SMURFIT CAP FDG PLC	3.02%	15.83%	4.0%	26.66	-25.91
17.-	GRAND MET INVNT CORP	1.85%	10.11%	4.0%	31.54	-30.86
18.-	COLUMBIA / HCA HEALTHCARE CORP	2.88%	17.47%	4.0%	26.80	-25.98
19.-	HSBC HLDGS PLC	1.89%	13.95%	4.0%	17.82	-17.45
20.-	ENEL AMERICAS S A	1.52%	2.03%	4.0%	26.35	-25.61
21.-	LLOYDS TSB BK PLC RETAIL MEDIUM TERM SR	1.31%	3.36%	4.0%	8.93	-8.78
22.-	UNION PAC RR CO 2001-1 PASS THRU TR	0.52%	4.04%	4.0%	19.14	-18.73
23.-	AB SVENSK EXPORTKREDIT - SWEDISH EXPT CR	0.35%	1.16%	4.0%	4.92	-4.89
24.-	ALLIED SIGNAL INC	1.16%	8.98%	4.0%	27.19	-26.56
25.-	BARCLAYS BK PLC MEDIUM TERM NTS BOOK ENT	0.82%	4.03%	4.0%	7.55	-7.43

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior muestra las medidas más relevantes (ya explicadas), como es el rendimiento anual, desviación estándar anual, peso, duración Macaulay y duración modificada.

Hasta ahora se ha realizado un análisis individual de los bonos, es decir, aun no se ha empleado ninguna medida de desempeño general del portafolio.

Pero, ya se dijo que la duración de un portafolio es el promedio ponderado de las duraciones de cada bono, por lo anterior, la duración general del portafolio es:

Tabla 5.16 Duración Macaulay del portafolio

Duración Macaulay del Portafolio
18.0186801

Fuente: elaboración propia.

Esto nos indica que se necesitara mantener todos los instrumentos de renta fija durante 18 años con un mes para recuperar la cantidad invertida.

Tabla 5.17 Duración modificada del portafolio.

Duración Modificada del Portafolio
-17.60512449

Fuente: elaboración propia.

La duración Modificada general del portafolio de deuda es calculada con la duración Modificada individual por el peso del activo en el portafolio.

La duración modificada del portafolio de inversión indica que ante una subida o caída de la TIR de 1% la variación en el precio del bono será del 17.60%.

Para realizar un VaR por simulación Montecarlo y una prueba retrospectiva back test debemos primeramente obtener los rendimientos del portafolio de inversión y para obtener los rendimientos del portafolio, tendremos que construir una base de datos.

El portafolio que se realizó solamente cuenta con instrumentos financieros de deuda, es decir bonos. De este modo se puede interpretar que se trata de un portafolio de deuda.

Si para realizar un VaR por simulación Montecarlo se necesitan los rendimientos del portafolio; Por otra parte, para generar los rendimientos de un portafolio de deuda se debe entender que las tres vías de obtención de rendimiento de un bono son:

- 1.- Valor de mercado.
- 2.- Flujos de efectivo
- 3.- Tasa Interna de Retorno.

De esta forma, se entiende que primero se obtendrán estos tres valores, de cada uno de los bonos, para después generar los rendimientos en conjunto que se tomaran en cuenta como el rendimiento del portafolio de inversión mediante el precio individual de cada uno de los bonos multiplicado por el número de instrumentos que se adquirieron de cada firma.

Para la obtención del valor de mercado de cada uno de los bonos se necesitó primero su base histórica pero con la incorporación del número de bonos que se

obtuvieron por cada línea de los 25 bonos iniciales, dato que ya se calculó con anterioridad.

La siguiente tabla muestra lo antes mencionado, con el ejemplo de cinco bonos y con solamente un mes de datos históricos (recordemos que la base histórica de precios cuenta con los 25 bonos y con los datos históricos de tres años).

Tabla 5.18 Cotización diaria de cada bono y número de bonos obtenidos por línea.

Bono	AMERICA WEST AIRLS INC	AMERICAN EXPRESS CO	ACE CAP TR II	BHP BILLITON FIN USA LTD	CARNIVAL CORP
# de bonos por línea	355.00	267.00	265.00	396.00	328.00
02/09/2014	\$ 112.550	\$ 149.780	\$ 150.800	\$ 100.860	\$ 121.920
03/09/2014	\$ 114.500	\$ 149.780	\$ 150.800	\$ 100.860	\$ 121.920
04/09/2014	\$ 112.520	\$ 149.780	\$ 148.209	\$ 99.100	\$ 121.920
05/09/2014	\$ 112.520	\$ 149.780	\$ 148.209	\$ 99.100	\$ 121.920
08/09/2014	\$ 112.520	\$ 149.780	\$ 147.268	\$ 99.100	\$ 121.920
09/09/2014	\$ 112.520	\$ 149.719	\$ 147.268	\$ 99.100	\$ 121.920
10/09/2014	\$ 112.520	\$ 149.719	\$ 147.268	\$ 99.100	\$ 121.920
11/09/2014	\$ 112.520	\$ 149.719	\$ 147.268	\$ 96.507	\$ 121.920
12/09/2014	\$ 111.600	\$ 146.148	\$ 147.950	\$ 95.763	\$ 121.920
15/09/2014	\$ 116.030	\$ 146.148	\$ 147.950	\$ 95.763	\$ 121.920
16/09/2014	\$ 115.750	\$ 146.148	\$ 147.950	\$ 95.763	\$ 121.920
17/09/2014	\$ 115.750	\$ 146.148	\$ 147.950	\$ 95.763	\$ 121.920
18/09/2014	\$ 115.750	\$ 146.001	\$ 147.950	\$ 95.763	\$ 121.920
19/09/2014	\$ 109.000	\$ 146.001	\$ 147.950	\$ 96.027	\$ 121.920
22/09/2014	\$ 109.000	\$ 146.001	\$ 147.950	\$ 96.500	\$ 121.920
23/09/2014	\$ 114.500	\$ 146.001	\$ 147.950	\$ 96.259	\$ 121.920
24/09/2014	\$ 114.500	\$ 146.001	\$ 147.950	\$ 96.259	\$ 121.920
25/09/2014	\$ 115.000	\$ 146.001	\$ 147.950	\$ 96.570	\$ 121.920
26/09/2014	\$ 114.500	\$ 146.001	\$ 149.365	\$ 96.570	\$ 121.920
29/09/2014	\$ 114.500	\$ 146.001	\$ 149.365	\$ 96.105	\$ 121.920
30/09/2014	\$ 114.500	\$ 146.001	\$ 149.365	\$ 95.643	\$ 121.920

Fuente: elaboración propia.

Lo interesante de esta tabla es que muestra la cantidad de bonos que adquirimos de las 25 firmas, así que se podrá obtener el valor de mercado del portafolio.

El valor de mercado se generó mediante la multiplicación del precio de cierre individual por el número de bonos que se adquirieron de cada línea.

De esta forma y para ejemplificar que el precio en que cerro el bono de “AMERICA WEST AIRLS INC”, el 2 de septiembre de 2014, se ha multiplicado por el número de bonos que se adquirieron de “AMERICA WEST AIRLS INC” más el precio en que cerro “AMERICAN EXPRESS CO” el 2 de septiembre de 2014 multiplicado por el número de bonos que se adquirieron de “AMERICAN EXPRESS CO”, etc. Este cálculo se realiza con

el resto de los 23 bonos restantes para así generar una suma producto la cual arrojará un resultado que será el valor de mercado del portafolio para el 2 de septiembre de 2014, por lo tanto este procedimiento se realiza para cada una de las fechas registradas durante los tres años históricos.

Lo que nos indicara el valor de mercado durante los tres años será la variación y el cambio monetario que tuvo la cartera durante los tres años considerados, es decir, indicara el precio de mercado que fue adoptando el portafolio a través del periodo seleccionado reflejando las condiciones de mercado.

De esta manera el valor de mercado se podrá visualizar y considerando, como la tabla anterior, el primer mes de la base histórica, se enfatiza que la base histórica de precios cuenta con el cálculo de cada una de las fechas registradas durante los tres años seleccionados:

Tabla 5.19 Valor de mercado del portafolio.

Fecha	Valor de Mercado del portafolio
02/09/2014	\$ 998,792.097
03/09/2014	\$ 999,098.713
04/09/2014	\$ 997,410.772
05/09/2014	\$ 996,067.278
08/09/2014	\$ 991,971.636
09/09/2014	\$ 991,695.527
10/09/2014	\$ 991,046.271
11/09/2014	\$ 989,858.330
12/09/2014	\$ 987,081.800
15/09/2014	\$ 987,404.609
16/09/2014	\$ 987,647.056
17/09/2014	\$ 987,556.620
18/09/2014	\$ 988,394.491
19/09/2014	\$ 983,673.684
22/09/2014	\$ 983,741.821
23/09/2014	\$ 986,768.918
24/09/2014	\$ 985,687.725
25/09/2014	\$ 985,295.795
26/09/2014	\$ 985,460.373
29/09/2014	\$ 985,500.726
30/09/2014	\$ 984,115.326

Fuente: elaboración propia.

Como interpretación del valor de mercado, se cuenta que del 2 de septiembre de 2014 al 3 de septiembre de 2014 se visualizó un aumento en el valor del portafolio dadas las condiciones del mercado, sin embargo, para el 4 de septiembre de 2014 los bonos que conforman el portafolio pierden valor ya que el portafolio vale una cantidad menor que el día anterior.

Este análisis se podría hacer día por día, generando un análisis bastante tedioso y desgastante, de manera que se planeó generar algunas medidas de desempeño para el portafolio las cuales medirán el rendimiento tanto monetario como porcentual.

5.6 Estimación del rendimiento del portafolio

En la siguiente tabla podemos ver los cambios monetarios y porcentuales del portafolio del primer mes de la base histórica enfatizando que en la base histórica, de precios cuenta con el cálculo de cada una de las fechas registradas durante los tres años seleccionados:

Tabla 5.20 Rendimiento porcentual y monetario del valor de mercado.

Fecha	Valor de Mercado del portafolio	Rendimiento (\$)	Rendimiento (%)
02/09/2014	\$ 998,792.097		
03/09/2014	\$ 999,098.713	\$ 306.616	0.031%
04/09/2014	\$ 997,410.772	-\$ 1,687.941	-0.169%
05/09/2014	\$ 996,067.278	-\$ 1,343.494	-0.135%
08/09/2014	\$ 991,971.636	-\$ 4,095.642	-0.411%
09/09/2014	\$ 991,695.527	-\$ 276.109	-0.028%
10/09/2014	\$ 991,046.271	-\$ 649.256	-0.065%
11/09/2014	\$ 989,858.330	-\$ 1,187.941	-0.120%
12/09/2014	\$ 987,081.800	-\$ 2,776.530	-0.280%
15/09/2014	\$ 987,404.609	\$ 322.809	0.033%
16/09/2014	\$ 987,647.056	\$ 242.447	0.025%
17/09/2014	\$ 987,556.620	-\$ 90.436	-0.009%
18/09/2014	\$ 988,394.491	\$ 837.871	0.085%
19/09/2014	\$ 983,673.684	-\$ 4,720.807	-0.478%
22/09/2014	\$ 983,741.821	\$ 68.137	0.007%
23/09/2014	\$ 986,768.918	\$ 3,027.097	0.308%
24/09/2014	\$ 985,687.725	-\$ 1,081.193	-0.110%
25/09/2014	\$ 985,295.795	-\$ 391.930	-0.040%
26/09/2014	\$ 985,460.373	\$ 164.578	0.017%
29/09/2014	\$ 985,500.726	\$ 40.353	0.004%
30/09/2014	\$ 984,115.326	-\$ 1,385.400	-0.141%

Fuente: elaboración propia.

De esta manera se interpreta que del 2 de septiembre de 2014 al 3 de septiembre de 2014 se generó un rendimiento monetario de \$306.616, es decir, el valor del portafolio aumento en un 0.031%; sin embargo, del 3 de septiembre de 2014 al 4 de septiembre de 2014 se visualizó un rendimiento monetario negativo, perdiendo \$1,687.941, es decir el valor del portafolio disminuyo un 0.169%. Sucesivamente este análisis se llevaría a cabo para los siguientes valores arrojados, acá solamente presentamos una muestra de cómo se realiza el cálculo.

Teniendo de esta forma el rendimiento del valor de mercado del portafolio solo faltaría tomar en cuenta los flujos de efectivo de los pagos de cupón para culminar el cálculo del

rendimiento diario del portafolio. Ahora bien, la siguiente tabla muestra los cupones periódicos en tres años:

Tabla 5.21 Fechas de pago de cupón de cada bono.

1.- AMERICA WEST AIRLS INC	Cupones	2.- AMERICAN EXPRESS CO	Cupones	3.- ACE CAP TR II	Cupones
02/01/2015	4.0285	19/09/2014	4.075	01/10/2014	4.85
02/07/2015	4.0285	19/03/2015	4.075	01/04/2015	4.85
02/01/2016	4.0285	19/09/2015	4.075	01/10/2015	4.85
02/07/2016	4.0285	19/03/2016	4.075	01/04/2016	4.85
02/01/2017	4.0285	19/09/2016	4.075	01/10/2016	4.85
02/07/2017	4.0285	19/03/2017	4.075	01/04/2017	4.85
4.- BHP BILLITON FIN USA LTD	Cupones	5.- CARNIVAL CORP	Cupones	6.- CITIGROUP INC	Cupones
24/02/2015	2.0625	01/10/2014	3.6	30/01/2015	2.9375
24/08/2015	2.0625	01/04/2015	3.6	30/07/2015	2.9375
24/02/2016	2.0625	01/10/2015	3.6	30/01/2016	2.9375
24/08/2016	2.0625	01/04/2016	3.6	30/07/2016	2.9375
24/02/2017	2.0625	01/10/2016	3.6	30/01/2017	2.9375
24/08/2017	2.0625	01/04/2017	3.6	30/07/2017	2.9375
7.- FIRSTMERIT CORP	Cupones	8.- HAWAIIAN AIRLS	Cupones	9.- WAL-MART STORES INC	Cupones
04/02/2015	2.175	15/01/2015	2.475	08/01/2015	2.4375
04/08/2015	2.175	15/07/2015	2.475	08/07/2015	2.4375
04/02/2016	2.175	15/01/2016	2.475	08/01/2016	2.4375
04/08/2016	2.175	15/07/2016	2.475	08/07/2016	2.4375
04/02/2017	2.175	15/01/2017	2.475	08/01/2017	2.4375
04/08/2017	2.175	15/07/2017	2.475	08/07/2017	2.4375
10.- VALLEY NATL BANCORP	Cupones	11.- ALTRIA GROUP INC	Cupones	12.- PHILIP MORRIS INTL INC	Cupones
27/09/2014	2.5625	02/11/2014	2.25	15/11/2014	2.4375
27/03/2015	2.5625	02/05/2015	2.25	15/05/2015	2.4375
27/09/2015	2.5625	02/11/2015	2.25	15/11/2015	2.4375
27/03/2016	2.5625	02/05/2016	2.25	15/05/2016	2.4375
27/09/2016	2.5625	02/11/2016	2.25	15/11/2016	2.4375
27/03/2017	2.5625	02/05/2017	2.25	15/05/2017	2.4375
13.- CONTINENTAL AIRLS INC	Cupones	14.- TIME WARNER COS INC	Cupones	15.- SUSQUEHANNA BANCSHARES INC	Cupones
29/10/2014	2	15/01/2015	3.425	15/02/2015	2.6875
29/04/2015	2	15/07/2015	3.425	15/08/2015	2.6875

29/10/2015	2	15/01/2016	3.425	15/02/2016	2.6875
29/04/2016	2	15/07/2016	3.425	15/08/2016	2.6875
29/10/2016	2	15/01/2017	3.425	15/02/2017	2.6875
29/04/2017	2	15/07/2017	3.425	15/08/2017	2.6875
16.- SMURFIT CAP FDG PLC	Cupones	17.- GRAND MET INVT CORP	Cupones	18.- COLUMBIA / HCA HEALTHCARE CORP	Cupones
20/11/2014	3.75	15/10/2014	3.725	15/12/2014	3.845
20/05/2015	3.75	15/04/2015	3.725	15/06/2015	3.845
20/11/2015	3.75	15/10/2015	3.725	15/12/2015	3.845
20/05/2016	3.75	15/04/2016	3.725	15/06/2016	3.845
20/11/2016	3.75	15/10/2016	3.725	15/12/2016	3.845
20/05/2017	3.75	15/04/2017	3.725	15/06/2017	3.845
19.- HSBC HLDGS PLC	Cupones	20.- ENEL AMERICAS S A	Cupones	21.- LLOYDS TSB BK PLC RETAIL MEDIUM TERM SR	Cupones
14/01/2015	3.05	01/12/2014	3.3	06/01/2015	2.05
14/07/2015	3.05	01/06/2015	3.3	06/07/2015	2.05
14/01/2016	3.05	01/12/2015	3.3	06/01/2016	2.05
14/07/2016	3.05	01/06/2016	3.3	06/07/2016	2.05
14/01/2017	3.05	01/12/2016	3.3	06/01/2017	2.05
14/07/2017	3.05	01/06/2017	3.3	06/07/2017	2.05
22.- UNION PAC RR CO 2001-1 PASS THRU TR	Cupones	23.- AB SVENSK EXPORTKREDIT - SWEDISH EXPT CR	Cupones	24.- ALLIED SIGNAL INC	Cupones
27/01/2015	3.315	05/10/2014	0.5625	01/12/2014	4.5325
27/07/2015	3.315	05/04/2015	0.5625	01/06/2015	4.5325
27/01/2016	3.315	05/10/2015	0.5625	01/12/2015	4.5325
27/07/2016	3.315	05/04/2016	0.5625	01/06/2016	4.5325
27/01/2017	3.315	05/10/2016	0.5625	01/12/2016	4.5325
27/07/2017	3.315	05/04/2017	0.5625	01/06/2017	4.5325
25.- BARCLAYS BK PLC MEDIUM TERM NTS BOOK ENT			Cupones		
16/02/2015			1.75		
16/08/2015			1.75		
16/02/2016			1.75		
16/08/2016			1.75		
16/02/2017			1.75		
16/08/2017			1.75		

Fuente: elaboración propia.

Gracias a esta tabla se puede apreciar con claridad las fechas en las cuales cada uno de los bonos paga cupones así como la cantidad de su respectivo cupón. Para el cálculo de los flujos de efectivo de igual manera se generó una tabla en donde se juntaron todas las fechas en las cuales se pagan los cupones, claro está que no todos los bonos pagan cupón el mismo día, de tal manera se generó una base de datos en la cual se ubican todos los cupones. Los flujos de efectivo son calculados por el cupón individual multiplicado por el número de instrumentos que se adquirieron de cada línea.

Esto indica que, por ejemplo, el cupón pagado el 2 de enero de 2015 de “AMERICA WEST AIRLS INC” será multiplicado por el número de bonos que se adquirieron “AMERICA WEST AIRLS INC” más el cupón de otra firma que en este caso también pague el cupón el mismo día y, si no es así, si solo ese día se paga un cupón solo ese dato será el flujo de efectivo.

Este cálculo se realiza con el resto de los 23 bonos restantes, el cual arrojará un resultado: los flujos de efectivo del portafolio y, por lo tanto, este procedimiento se realiza para cada una de las fechas registradas en las cuales los cupones deben ser pagados durante los tres años históricos.

Lo anterior, nos indicará los flujos de efectivo durante los tres años y será igual la suma monetaria que se agrega al portafolio por el pago de cupones generados en el periodo establecido.

La siguiente tabla permite observar los flujos de efectivo del portafolio que se generaron durante el primer semestre, puesto que los pagos de cupón de todos los bonos son bianuales, se entenderá que en seis meses todos los bonos habrán pagado por lo menos su primer cupón.

Tabla 5.22 Flujos de efectivo del portafolio.

Fecha del primer pago de cupón	Flujos de efectivo del portafolio
02/09/2014	-\$ 998,792.097
19/09/2014	\$ 1,088.025
27/09/2014	\$ 968.625
01/10/2014	\$ 2,466.050
05/10/2014	\$ 227.250
15/10/2014	\$ 1,046.725
29/10/2014	\$ 778.000
02/11/2014	\$ 904.500
15/11/2014	\$ 892.125
20/11/2014	\$ 1,312.500
01/12/2014	\$ 2,406.050
15/12/2014	\$ 1,388.045
02/01/2015	\$ 1,430.118
06/01/2015	\$ 781.050
08/01/2015	\$ 860.438
14/01/2015	\$ 936.350
15/01/2015	\$ 2,139.475
27/01/2015	\$ 1,160.250
30/01/2015	\$ 963.500

04/02/2015	\$	830.850
15/02/2015	\$	1,015.875
16/02/2015	\$	689.500
24/02/2015	\$	816.750

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, el flujo de efectivo para el 2 de septiembre de 2014 es negativo y está representado de color rojo, ya que recordemos que ese día se adquirieron los 8784 bonos que conforman la cartera. Este valor representa una salida de capital por parte del inversionista y es por esa razón que se encuentra negativo.

Este valor es calculado por el número de bonos que se adquirieron de cada una de las 25 firmas multiplicado por el precio del bono individual, en la fecha en que se adquirió (2 de septiembre de 2014).

¿Qué pasa si los bonos no cotizaron el 2 de septiembre de 2014? La respuesta es muy simple, se toma el precio anterior inmediato. Si el bono no cotizó, hasta dos meses atrás, se tomara en cuenta ese precio, es decir, se tomara en cuenta el último precio que haya registrado antes no importando si tiene días, semanas, quincenas, meses o años sin cotizar.

Posterior a ese dato la primera fecha de pago de cupón se realiza el 19 de septiembre de 2014 que corresponde a la firma "AMERICAN EXPRESS CO", el cupón a pagar es de \$4.075 que multiplicado por el número de bonos que se compraron de "AMERICAN EXPRESS CO" que son 267 títulos generan un ingreso de \$ 1,088.025. De esta forma se realiza el cálculo de todos los flujos de efectivo de cada uno de los cupones del portafolio.

Teniendo una vez el valor de mercado y los flujos de efectivo del portafolio, queda pendiente solamente por calcular la tasa interna de retorno, de esa forma quedaría completo el análisis de rendimiento para un portafolio de inversión de renta fija. Sin embargo, para el cálculo esta tasa, se necesita tener tanto el valor de mercado y los flujos de efectivo en una sola base.

La siguiente tabla muestra los rendimientos del portafolio, del primer mes, considerando tanto el valor de mercado y los flujos de efectivo para generar la Yield to maturity.

Cabe señalar que, para fines prácticos la base se ha acomodado de forma diferente, como podemos observar los datos se colocan del más reciente al más antiguo.

Tabla 5.23 Rendimiento del portafolio teniendo en cuenta el pago de cupón.

Fecha	Valor de Mercado	Rendimiento (\$)	Rendimiento (%)	Cupones	Rendimiento total (%)
01/09/2017	\$ 1,029,102.175	-\$ 1,871.81	-0.182%		-0.182%
31/08/2017	\$ 1,030,973.984	\$ 1,625.06	0.158%		0.158%
30/08/2017	\$ 1,029,348.923	-\$ 1,069.28	-0.104%		-0.104%
29/08/2017	\$ 1,030,418.201	-\$ 167.45	-0.016%		-0.016%
28/08/2017	\$ 1,030,585.655	\$ 724.84	0.070%		0.070%
25/08/2017	\$ 1,029,860.813	\$ 278.91	0.027%		0.027%
24/08/2017	\$ 1,029,581.903	-\$ 1,332.96	-0.129%	\$ 816.75	-0.050%
23/08/2017	\$ 1,030,914.863	\$ 986.16	0.096%		0.096%
22/08/2017	\$ 1,029,928.706	\$ 1,900.40	0.185%		0.185%
21/08/2017	\$ 1,028,028.303	-\$ 845.86	-0.082%		-0.082%
18/08/2017	\$ 1,028,874.164	\$ 1,041.65	0.101%		0.101%
17/08/2017	\$ 1,027,832.516	\$ 952.50	0.093%		0.093%
16/08/2017	\$ 1,026,880.011	\$ 1,605.10	0.157%	\$ 689.50	0.224%
15/08/2017	\$ 1,025,274.915	\$ 248.11	0.024%	\$ 1,015.88	0.123%
14/08/2017	\$ 1,025,026.807	\$ 107.07	0.010%		0.010%
11/08/2017	\$ 1,024,919.735	\$ 707.43	0.069%		0.069%
10/08/2017	\$ 1,024,212.309	\$ 1,577.57	0.154%		0.154%
09/08/2017	\$ 1,022,634.738	-\$ 1,954.60	-0.191%		-0.191%
08/08/2017	\$ 1,024,589.338	-\$ 86.70	-0.008%		-0.008%
07/08/2017	\$ 1,024,676.041	-\$ 2,605.49	-0.254%		-0.254%
04/08/2017	\$ 1,027,281.527	-\$ 50.64	-0.005%	\$ 830.85	0.076%

03/08/2017	\$ 1,027,332.169	-\$ 444.46	-0.043%		-0.043%
02/08/2017	\$ 1,027,776.627	\$ 1,930.46	0.188%		0.188%
01/08/2017	\$ 1,025,846.172	-\$ 1,207.87	-0.118%		-0.118%

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior es similar a la del rendimiento monetario y porcentual del valor de mercado del portafolio, pero se añadió una columna de cupones o flujos de efectivo y una que indica el rendimiento del portafolio, presentando no solo los cambios dentro del valor de mercado, sino también los flujos de efectivo, es decir un “Holding Period of Return”.

De esta manera se aprecia el contraste entre la columna de rendimiento y rendimiento total, por ejemplo en la fecha 24 de agosto de 2017, sin considerar los flujos de efectivo tenemos un rendimiento negativo de -0.129%, pero al considerar el ingreso monetario que representa el pago de cupón por \$816.75, el rendimiento real del portafolio igual sigue siendo negativo pero ahora del -0.050%, es decir, ese flujo de efectivo suavizo la caída de valor del portafolio, generando una disminución menos significativa.

De esta manera que rendimiento total es igual al rendimiento del portafolio de renta fija de cada una de las fechas registradas durante los tres años históricos seleccionados.

Ya que solo faltaba calcular la tasa de rendimiento, para obtener las tres formas de rendimiento de un portafolio de deuda, al final de la columna de rendimiento total solo basta con obtener el promedio diario y posteriormente multiplicarlo por 252 para generar la tasa de rendimiento de manera porcentual y anualizada.

La siguiente tabla muestra la tasa de rendimiento del portafolio de inversión de instrumentos de renta fija, del 2 de septiembre de 2014 al 2 de septiembre de 2017:

Tabla 5.24 Rendimiento anual del portafolio.

Tasa de rendimiento del portafolio	
Promedio diario	0.024%
Anualizada	6.082%

Fuente: elaboración propia.

Esto muestra que la tasa de rendimiento del portafolio es del 6.082%, lo cual es lógico ya que el promedio entre los rendimientos de los 25 bonos es de aproximadamente del 2%, sin haber tomado en cuenta los pagos de cupón, además de que el movimiento de los bonos durante el periodo fue el siguiente:

La gráfica 1 demuestra la evolución del portafolio a lo largo de los tres años históricos que se decidió seleccionar, en la gráfica podemos observar el valor del portafolio considerando los pagos de cupón más el valor de mercado.

En la gráfica se podrá observar, también ciertas tendencias alcistas, además de momentos en los cuales el portafolio bajo su valor.

Desde que se adquirió el portafolio, se invirtió una cantidad de \$ 998, 792. 097 USD y al final del periodo seleccionado el portafolio termino con un valor de \$ 1, 029, 102. 175 USD, generando una ganancia de \$ 30, 310.08 USD.

Gráfica 5.1 Evolución del valor del portafolio.



Fuente: elaboración propia.

La siguiente grafica (2), muestra el rendimiento acumulado del portafolio:

Gráfica 5.2 Rendimiento acumulado del portafolio.



Fuente: elaboración propia.

Dado que se cuenta con el valor de mercado, los flujos de efectivo y con la tasa de rendimiento del portafolio se podrán proseguir con las simulaciones antes mencionadas.

5.7 Medición del VaR

Se decidió realizar dos tipos del cálculo del VaR; por simulación histórica y por simulación Montecarlo.

El valor en riesgo (VaR) es una medida de riesgo no solo de mercado, también puede utilizarse como medida de riesgo crédito, que estima la máxima pérdida esperada que puede tener un portafolio en determinado tiempo, con un nivel de confianza dado bajo condiciones de mercado normales⁸².

Al tener en cuenta una serie de datos históricos de un portafolio con “n” activos cuya distribución de densidad se comporte de manera normal se deberá calcular aquella zona donde la densidad de los datos deja un 5%. Aquella zona referida se llama valor en riesgo.

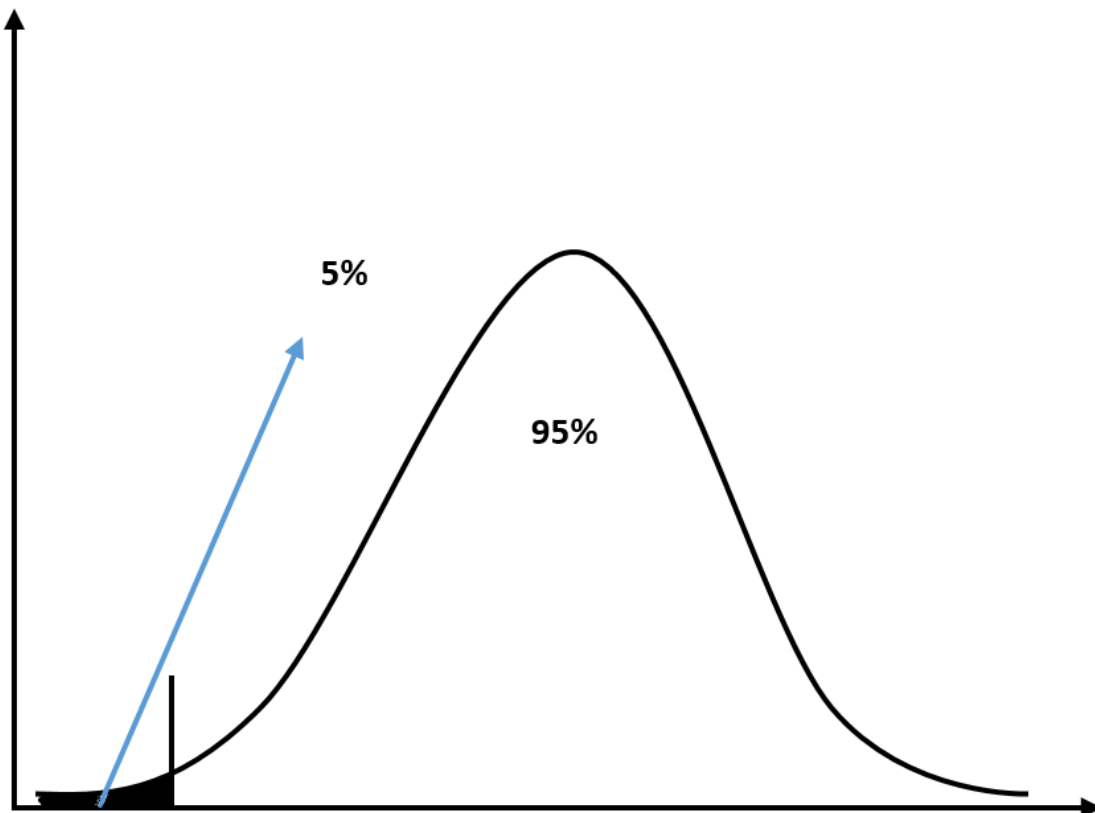
⁸² Jorion 2001

El VaR por simulación histórica y por simulación Montecarlo fue calculado a través del VaR de los rendimientos del portafolio de inversión.

Se sabe que el VaR calcula la máxima cantidad monetaria que puede perderse durante un nivel de significancia del 95% o 99% a una cola, es decir, si se asume que los rendimientos se comportan de manera normal, se podrá pensar que lo máximo que se podrá perder será el 5% sombreado al final de la cola de una distribución, de esta manera lo que nos arrojará el VaR serán aquellas pérdidas potenciales que llegaran a suceder durante condiciones adversas dentro del mercado.

La siguiente gráfica muestra lo dicho, al calcular el VaR a una cola un nivel de significancia del 95% mostrará la máxima pérdida, 5%, lo cual está representado por la zona sombreada:

Gráfica 5.3 VaR al 5%.



Fuente: elaboración propia.

El método de simulación histórica deduce la distribución utilizando los cambios en los rendimientos y precios que resultaron del periodo histórico seleccionado, en este caso los tres años históricos del portafolio.

Por último, se compara dicha distribución con el valor actual para calcular la ganancia o pérdida del portafolio y mediante al nivel de confianza seleccionado finalmente se establece la máxima pérdida esperada

Al calcular el VaR con un nivel de significancia de 95% con base a las series de retornos históricos el VaR arroja lo siguiente:

Tabla 5.25 Simulación histórica al 95% de nivel de confianza.

Simulación Histórica	
95th Percentil VaR	-0.298%

Fuente: elaboración propia.

Este cálculo resultó de la búsqueda del percentil al 95% de confianza.

De esta manera el cálculo del VaR con base a los rendimientos históricos del portafolio de inversión nos indica que -0.298% es la pérdida máxima que experimenta el portafolio de bonos usando VaR de simulación histórica a un nivel de confianza del 95%, con una significancia del 5%.

Es decir, el 5% del tamaño de la muestra reflejo una pérdida mayor al -0.298% que convertido a una pérdida monetaria resulta en $-\$ 3,065.63$.

El único dilema que se encuentra dentro de la simulación histórica es que se asume que los valores registrados dentro de la base histórica se repetirán en el futuro.

El valor inferior del 5% de la distribución de los datos no es más que la comprobación de los resultados obtenidos y resulta de la búsqueda del enésimo valor más pequeño del número de observaciones históricas debajo del 5%, de esta manera es casi de igual proporción.

Dentro de la simulación histórica también se seleccionó un cálculo del VaR con un nivel de significancia del 99%

Tabla 5.26 Simulación histórica al 99% de nivel de confianza.

Simulación Histórica	
99th Percentil VaR	-0.496%

Fuente: elaboración propia.

De esta manera el cálculo del VaR, de acuerdo a los rendimientos históricos del portafolio de inversión nos indica que -0.496% es la pérdida máxima que experimenta el portafolio de bonos usando VaR de simulación histórica a un nivel de confianza del 99% con una significancia del 1%.

Es decir, el 1% del tamaño de la muestra reflejó una pérdida mayor al -0.496% que convertido a una pérdida monetaria resulta en $-\$ 5, 108. 54$.

El valor inferior del 5% de la distribución de los datos en este caso, si bien también está cerca de la misma cantidad pero no es tan exacta como la medida al 95% y esto se explica ya que la simulación al estimarla al 95% se tiene mayor error, es decir, al simular con un nivel de significancia al 99% el valor calculado está asumiendo que los rendimientos son normales.

Teniendo una vez el VaR por simulación histórica, se continuó con el análisis de VaR por simulación Monte Carlo.

Considerando los supuestos teóricos más importantes de un VaR por simulación Montecarlo que son:

Se desarrolló primeramente una selección aleatoria de bonos, después se consideró un vector de realizaciones, en este caso por razones metodológicas al VaR Montecarlo se consideraron 10,000,000; simuladas para todos los días considerando los parámetros históricos de rendimiento y volatilidad.

Como se comentó en el análisis teórico, la simulación Monte Carlo permite distribuciones de los rendimientos observados gracias al cálculo de secuencias de números aleatorios.

El método Monte Carlo es una simulación que va más allá de la simulación histórica, el Monte Carlo recurre a un método de valoración más completa.

La diferencia más clara dentro de ambas simulaciones es que la histórica da posibles trayectorias de los rendimientos con base a los rendimientos históricos en los tres años mientras que la simulación Monte Carlo toma el proceso estocástico del rendimiento del portafolio, proyectando trayectorias para el mismo rendimiento que afectan al portafolio sujeto a la medición de riesgo de mercado.

El método Monte Carlo mide el VaR mediante una construcción de distribuciones de factores de riesgo a través de una simulación futura de los escenarios de las variables seleccionadas, en este caso se hará una simulación futura del rendimiento del portafolio de inversión.

De esta manera se necesitó el promedio diario del portafolio así como la desviación estándar diaria en términos porcentuales.

Tabla 5.27 Rendimiento y desviación estándar del portafolio.

Simulación Monte Carlo 10,000 simulaciones	
Rendimiento diario	0.024%
Desviación estándar	0.609%

Fuente: elaboración propia.

Para la construcción metodológica del VaR y la consecuente validación usando un back test al 95% de confianza, se consideró el rendimiento diario del portafolio de bonos y la volatilidad diaria ajustada a la baja, donde lo relevante fue capturar los picos en el valor del portafolio a la baja, es decir, cuando se producen minusvalías. Este concepto de volatilidad es congruente con la llamada “Downside risk volatility”.⁸³

Posteriormente usando la distribución normal inversa para los días de cotización de mercado, se obtuvo el VaR por simulación Montecarlo con 10,000 trayectorias simuladas, ajustadas a los parámetros históricos de rendimiento y volatilidad.

Tabla 5.28 Simulación para los días tomando en cuenta la volatilidad y rendimiento histórico.

Distribución Normal Inversa	
Lunes	-0.591%
Martes	0.161%
Miércoles	0.220%
Jueves	-0.751%
Viernes	0.873%

Fuente: elaboración propia.

Una de las bondades de la distribución normal inversa, es que nos permite encontrar el inverso de la distribución normal acumulativa para el promedio y la desviación, que son de nuestro interés.

A continuación, de forma ilustrativa, se presentan 10 de los valores aleatorios obtenidos en el desarrollo de la simulación del valor de mercado del portafolio. Los resultados presentados son de periodicidad diaria; en la columna 2 se muestra el valor de mercado del portafolio y en la columna 3 el rendimiento diario.

Tabla 5.29 Valores aleatorios.

Números Aleatorios	Valor de mercado	Rendimiento
1	-\$ 2,889.16	-0.281%
2	\$ 1,139.02	0.111%
3	\$ 191.94	0.019%
4	-\$ 2,563.54	-0.249%
5	\$ 6,654.27	0.647%
6	-\$ 3,471.89	-0.337%
7	\$ 1,896.58	0.184%
8	-\$ 206.13	-0.020%
9	\$ 6,238.22	0.606%
10	\$ 3,580.43	0.348%

⁸³ La volatilidad “downside” es la estimación de la posible pérdida sufrida por los cambios en el valor de un activo financiero cuando las condiciones del mercado cambian. Esta medición explica un escenario del peor caso de una inversión donde lo que se resalta refiere a lo que el inversionista podría perder.

Fuente: elaboración propia.

El VaR fue construido con base en las 10,000 simulaciones asumiendo que los rendimientos se comportan de forma normal, al 95% de confianza.

De igual manera que con la simulación histórica se calculó el percentil al 95% de nivel de confianza obteniendo lo siguiente:

Tabla 5.30 VaR calculado mediante una simulación Monte Carlo al 95% de nivel de confianza.

Simulación Monte Carlo 10,000 simulaciones		Rendimiento
95th Percentil VaR	-\$ 4,489.34	-0.436%

Fuente: elaboración propia.

De esta manera el cálculo del VaR con base a los rendimientos históricos del portafolio de inversión nos indica que -0.127% es la pérdida máxima que experimenta el portafolio de bonos usando VaR de simulación Monte Carlo a un nivel de confianza del 95%, con una significancia del 5%.

Es decir, 5% del tamaño de la muestra reflejó una pérdida máxima mayor al -0.436% que convertido a una pérdida monetaria resulta en $-\$ 4, 489. 34$.

El valor inferior del 5% de la distribución de los datos nos comprueba el VaR simulado y puesto que se encuentra a un nivel de significancia del 5% cuenta con un mayor error, por tal razón queda exacto al VaR.

5.8 VaR por simulación histórica vs VaR por simulación Montecarlo

Como podemos observar el análisis basado en la simulación histórica arroja un VaR de \$ 3,065.63 USD considerando solo el comportamiento de los precios a través de los 3 años de estudio, mientras que la simulación Montecarlo arrojó un VaR de \$4,489.34 USD.

La diferencia radica en que la simulación Montecarlo toma en cuenta escenarios aleatorios que modifican los precios, de esta forma la simulación histórica al no contemplar ese proceso estocástico queda rezagada ante la metodología Montecarlo.

5.9 Aplicación de pruebas Back test

Por último se realizaron dos pruebas de validación Back Test, la primera es una rectificación Back Test del VaR la cual nos indicara si en verdad los elementos simulados no rebasa el 5% de la muestra, de esta manera tomaremos una cantidad de los valores simulados y no debe de haber más que el 5% fuera de rango, puesto que la prueba de validación se realizó a partir de los rendimientos observados.

El back test es un mecanismo de comprobación estadística para validar y corroborar la estimación del riesgo (VaR).

El esquema regulatorio para el back test se haya en el estudio del grupo de los treinta y sobre los acuerdos de Basilea II donde se establecen los ideales para la verificación de la estimación del VaR además de los ajustes y mejoras que debería tener el modelo para un mejor funcionamiento.















El back test es la prueba de validación del VaR que supone un análisis comparativo del valor en riesgo determinado en la simulación Montecarlo, el objetivo de la prueba de validación es verificar el resultado lanzado por la simulación, es decir, solo se califica la eficiencia del modelo⁸⁴, como su nombre lo indica, valida el resultado del valor en riesgo obtenido. En pocas palabras estamos hablando de una comprobación de la simulación.

Al tener 10,000 simulaciones, solamente el 5% de esos 10,000 datos deben exceder el VaR o ser iguales al VaR. Teniendo un VaR de -\$4,489.34, el 95% de las observaciones dentro de la simulación deben ser menores a dicha cantidad.

De cualquier forma el 5% de 10,000 son 500 observaciones de tal manera que por cada 20 datos observados debe encontrarse un dato que rebase el VaR por simulación Monte Carlo.

El Back Test es el siguiente:

Tabla 5.31 Prueba de validación Back Test tomando 20 valores al azar.

Prueba de validación Back Test				
Numero de observación	Rendimiento en términos porcentuales	Rendimiento en términos monetarios	Criterio	Color
1	-0.247%	-\$ 2,544.13	NO EXCEDIO	
2	-0.244%	-\$ 2,507.02	NO EXCEDIO	
3	0.049%	\$ 500.41	NO EXCEDIO	
4	-0.032%	-\$ 330.22	NO EXCEDIO	
5	-0.046%	-\$ 469.23	NO EXCEDIO	
6	-0.197%	-\$ 2,029.71	NO EXCEDIO	
7	0.227%	\$ 2,340.67	NO EXCEDIO	
8	0.397%	\$ 4,082.50	NO EXCEDIO	
9	0.112%	\$ 1,154.30	NO EXCEDIO	
10	0.441%	\$ 4,534.86	NO EXCEDIO	
11	-0.075%	-\$ 769.96	NO EXCEDIO	
12	0.668%	\$ 6,878.53	NO EXCEDIO	
13	-0.053%	-\$ 547.49	NO EXCEDIO	
14	0.257%	\$ 2,643.20	NO EXCEDIO	

⁸⁴ De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores. Pp. 155

15	0.066%	\$ 675.70	NO EXCEDIO	
16	0.119%	\$ 1,220.13	NO EXCEDIO	
17	0.485%	\$ 4,990.48	NO EXCEDIO	
18	-0.662%	-\$ 6,811.43	EXCEDIO	
19	0.148%	\$ 1,523.77	NO EXCEDIO	
20	0.383%	\$ 3,940.02	NO EXCEDIO	

Fuente: elaboración propia.

Finalmente analizamos los excesos realizados se concluye que al tomar 20 observaciones para realizar nuestro ejercicio de Back Test, los excesos esperados se derivan de calcular el 5% de 20 que representan las muestras, por lo que tenemos que nuestros excesos esperados son iguales a 1 como ya se había explicado.

En la tabla, observamos claramente que en la observación número 16 el nivel de pérdida en el portafolio fue mayor al calculado por nuestro VaR y es en este punto donde se da el único exceso en los 20 datos observados.

En este caso el VaR calculado se comporta de manera aceptable, ya que, no subestima, ni sobre estima el riesgo de pérdidas por más del 5%, pues la cantidad de excesos esperados son menores al VaR en un 95%.

De manera que al final se contabilizan las 10,000 observaciones para rectificar que el 95% estén por debajo del VaR.

Tabla 5.32 Prueba retrospectiva Back Test.

Back Test
496
4.96%

Fuente: elaboración propia.

Con estos datos observamos que el VaR por simulación Montecarlo calculado anteriormente cuenta con 496 datos que sobrepasan dicho VaR los cuales representan el 4.96% de las 10,000 simulaciones.

Claro está que al ser una simulación continua, estos datos constantemente se encuentran en movimiento pero asegurándose de no sobrepasar el 5% de error y si llegara a hacer se asegura con el nivel de confianza establecido que en promedio seguirá por debajo del 5%.

La segunda prueba de validación Back Test se realizó como mecanismo de comprobación estadística para validar y corroborar la validez de la estimación del valor en riesgo (VaR) mediante los valores reales y los estimados. Es decir hace un comparativo entre los valores aleatorios simulados en el VaR con los valores reales que obtuvieron los activos.

Para este caso se tomaron los valores de los activos a partir del día de corte que se consideró para generar la base (2 de septiembre del 2017) y se tomaron 5 meses de historia para la base. Es decir, se seleccionó un nuevo período que data del 3 de septiembre de 2017 al 2 de febrero de 2018, para contrarrestar lo simulado contra lo real.

Dentro de este Back Test se realizaron 2 pruebas; un back test de 2 meses y un Back Test de 5 meses.

La funcionalidad del Back Test es la siguiente: hablando particularmente del Back Test de 2 meses se contarán los valores reales que sobrepasan el VaR calculado por simulación Montecarlo a un nivel de confianza del 95% (-\$4489), estos valores que sobrepasen el VaR se dividirán por el total de valores contabilizados para los 2 meses y el resultado nos indicará si el VaR y la prueba de validación están dentro del rango de aceptación del 95%.

Para el Back Test de 2 meses se cuentan con 40 datos históricos por lo cual el máximo de datos que pueden sobrepasar el Back son 2; esto se deriva de la multiplicación de 40×0.05 . Se multiplica por 0.05 ya que el VaR simulado se generó a un nivel de confianza del 95% por lo tanto el 5% restante es el margen de error con el que cuenta la simulación.

El Back Test de 2 meses es el siguiente:

Tabla 5.33 Back Test 2 meses.

Back Test 40 Días (2 Meses)	
0	2
0.00%	

Fuente: elaboración propia.

Como podemos observar en los 40 días observados no hubo ningún dato que sobrepasara el VaR, de tal manera que tanto el VaR como el Back funcionan correctamente.

Para el Back Test de 5 meses se contarán los valores reales que sobrepasan el VaR calculado por simulación Montecarlo a un nivel de confianza del 95% (-\$4489), estos valores que sobrepasen el VaR se dividirán por el total de valores contabilizados para los 5 meses y el resultado nos indicará si el VaR y la prueba de validación están dentro del rango de aceptación del 95%.

Para el Back Test de 5 meses se cuentan con 115 datos históricos por lo cual el máximo de datos que pueden sobrepasar el Back son 6; esto se deriva de la multiplicación de 115×0.05 .

El Back Test de 5 meses es el siguiente:

Tabla 5.34 Back test 5 meses.

Back Test 115 Días (5 Meses)	
1	6.1
0.81%	

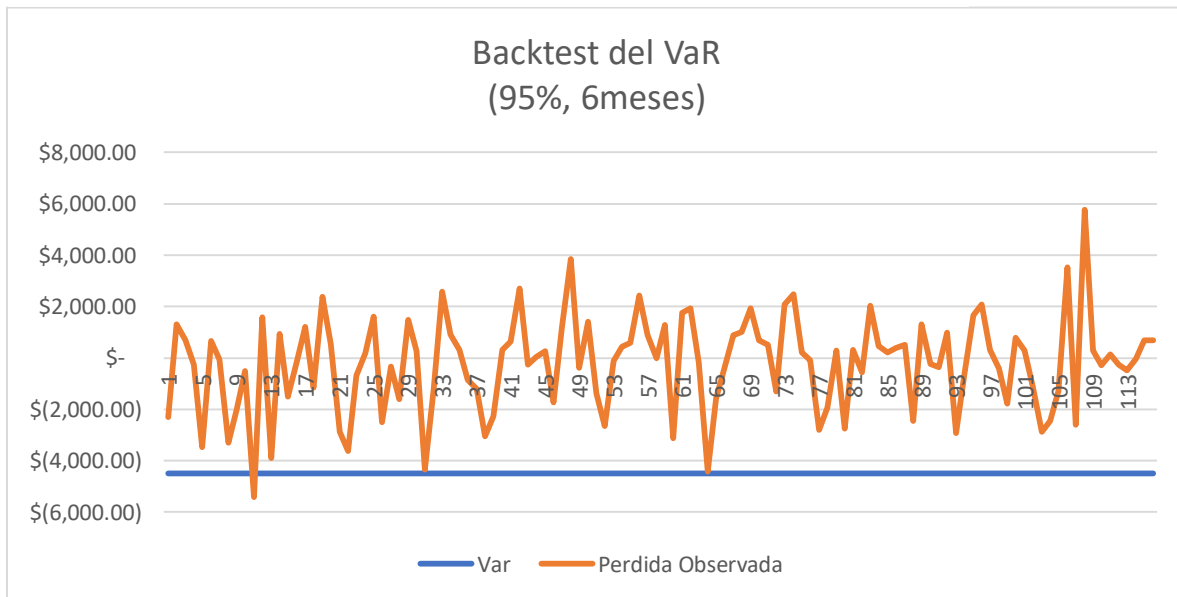
Fuente: elaboración propia.

Como podemos observar en los 115 días observados hubo 1 dato que sobrepasaron el VaR, pero en vista de que el número máximo de valores que podían sobrepasar el VaR son 6 tanto el VaR como el Back funcionan correctamente, porque no sobrepasan el 5%.

El Back test es la prueba de validación del VaR que supone un análisis comparativo del valor en riesgo determinado en la simulación Montecarlo contra las pérdidas y ganancias reales, el objetivo de la prueba de validación es verificar el resultado lanzado por la simulación, es decir, solo se califica la eficiencia del modelo⁸⁵, como su nombre lo indica, valida el resultado del valor en riesgo obtenido.

Para concluir, se puede observar un gráfico que muestra el comportamiento de las perdidas y/o ganancias presentadas del 3 de septiembre del 2017 al 2 de febrero del 2018 en contraste con el VaR visualizando que llega a él contadas veces cumpliendo con el criterio del 5% de error.

Gráfica 5.4 Back test del VaR al 95% de nivel de confianza (6 meses).



Fuente: elaboración propia.

⁸⁵ De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores. Pp. 155

Como se puede observar la línea naranja que se refiere a las pérdidas y/o ganancias observadas sobrepasan el 0.81% al VaR (línea azul).

CONCLUSIONES

A partir de los resultados de la simulación Montecarlo y la prueba back test se subraya la importancia del uso de una metodología que impulse primeramente en la construcción de un portafolio de instrumentos financieros (bonos en el caso específico del presente trabajo) de manera clara y sencilla que permita al público en la participación de manera activa dentro del mercado y una vez dentro asegurarse, previniendo situaciones desagradables.

Es por esto que la mayor parte del presente trabajo, trae consigo una propuesta para la minimización de pérdidas potenciales, además de ubicar la cantidad de dinero la cual está expuesta a movimientos de mercado, todo esto calculado mediante un modelo de medición de riesgo de mercado a través del cálculo de valor en riesgo VaR.

La posibilidad de que el rendimiento esperado de una inversión no se materialice, ya sea por fluctuaciones en los precios, malas operaciones o factores imprevistos que modifican el comportamiento del mercado cada vez se hacen mucho más presentes hoy en día ya sea por el avance tecnológico dentro del campo financiero, por fuertes recesiones que antecede el entorno financiero, etc. Esto ha permitido el desarrollo de diversas metodologías de prevención de eventos desafortunados.

Esto ha llevado a la creación de sistemas de evaluación de riesgos por parte de los intermediarios financieros manteniendo informados a sus clientes acerca de los límites que hayan optado en sus posiciones.

De esta manera, el riesgo de mercado se logra minimizar mediante estrategias perfectamente estructuradas que combinen operaciones de distinta naturaleza, por ejemplo una simulación y una prueba de validación.

El análisis de riesgo de mercado se ha apoyado dentro de su estimación mediante el cálculo del VaR ya sea de un portafolio constituido por acciones, derivados, opciones, bonos, etc.; por lo cual el margen de estudio de instrumentos de deuda se ha abordado de manera muy escasa y cada análisis de este tipo de instrumentos será relevante.

El riesgo de mercado fue considerado dentro de los acuerdos de Basilea desde el año 1996.

El Comité de Basilea generó la iniciativa de modificar el acuerdo anterior para la integración de una carga de capital para los riesgos inherentes al mercado.

Con ello surgió la famosa medición del VaR; cuya función principal fue dar una base sólida para las cargas de capital. El VaR fue implementado fundamentalmente por bancos sofisticados y con grandes volúmenes de negociación.

Una de las ventajas en el cálculo del VaR por simulación Montecarlo es que el resultado arrojado mediante la simulación representa un número con una muy lógica interpretación al riesgo de mercado, útil para cualquier inversionista, en este caso un comprador de bonos está expuesto.

Con base a lo anterior mediante la simulación Montecarlo y una prueba retrospectiva Back test del VaR del portafolio de bonos se obtuvo una estimación del riesgo mercado que coadyuvara a mejorar el desempeño financiero fungiendo como herramienta indispensable para el analista financiero.

Al escoger de manera aleatoria 25 firmas de las cuales se obtuvieron una cantidad “n” de títulos se construyó un portafolio de aproximadamente \$1, 000,000.00. USD que a lo largo de los tres años de estudio obtuvo un rendimiento promedio anualizado del 6.082%. De acuerdo a los rendimientos diarios arrojados por el portafolio se realizó la búsqueda del percentil al 95% de la curva de normalidad, mediante una simulación de las distribuciones futuras de manera aleatoria. Dentro de la curva de normalidad se encuentra una zona restante del 5% denominada valor en riesgo, la cual fue objeto de estudio.

Una vez calculado el VaR al 5% arrojó una pérdida potencial de -\$4, 489.34 USD que se interpreta como la pérdida máxima esperada dentro de un nivel de significancia de 5%.

En la búsqueda del percentil al 95% se realizó una prueba de validación “Back test” del VaR en donde solo el 5% de las simulaciones arrojadas pueden ser mayores al VaR (-\$4, 489.34 USD) del portafolio, tomando una muestra de 20 simulaciones solamente una de esas muestras puede sobrepasar el VaR mencionando considerando un nivel de significancia del 5%.

Tener un “Back test” dentro de la franja verde hace referencia a que la simulación del valor en riesgo no presenta problemas y que el modelo fue realizado de una manera eficiente.

Teniendo claro que \$4,489.34 es nuestra pérdida máxima esperada tenemos que asegurarnos que los movimientos dentro del mercado no hagan que nuestra pérdida sea mayor a la pronosticada. Dicho esto, la mitigación de pérdidas puede seguir distintas estrategias, por ejemplo, cambiar las ponderaciones en los activos adquiridos, esto mediante el análisis de rendimientos vs volatilidad. Considerando los bonos que presentaron un mayor nivel dentro de sus rangos de rendimientos

podemos ya no invertir solo el 4% de nuestro capital original sino aumentar ese 4% inversamente proporcional con los bonos que presenten un rendimiento más bajo.

Se optó de igual forma generar una simulación histórica con el fin de tener varias formas analíticas de acatar un problema puesto que en la vida financiera diaria se debe de tener más de un camino para afrontar ciertos problemas. El análisis basado en la simulación histórica arrojó un VaR de \$ 3,065.63 USD considerando solo el comportamiento de los precios a través de los 3 años de estudio, mientras que el Montecarlo arrojó un VaR de \$4,489.34 USD. La diferencia radica en que el Montecarlo toma en cuenta escenarios aleatorios que modifican los precios, de esta forma la simulación histórica al no contemplar aquel proceso estocástico queda rezagada ante la metodología del Montecarlo.

Para concluir, la medición de riesgo de mercado solo es una alerta preventiva, que de ignorarla podrían presentarse problemas más graves en el futuro, ya que se puede materializar la máxima pérdida esperada. En el mundo de las inversiones solo hay 2 escenarios: ganar dinero y perderlo, está en nosotros invertir el capital de la mejor forma posible y perder el miedo en invertir, ya que hacerlo sería un gran paso en países como México.

En la actualidad hay muchas estrategias y modelos para la prevención de pérdidas, el punto no es presentar la mejor sino de ir expandiendo el campo de conocimiento e irlo perfeccionándolo a través de la experiencia misma.

BIBLIOGRAFÍA

Banxico, 2019, definiciones básicas. <http://www.banxico.org.mx/sistema-financiero/d/%7B691D5348-6C29-424E-4A6F-C1E6F6F47A00%7D.pdf>

Benth, F. E, Koekebakker, S., Taib, CMIC., (2015) Stochastic dynamical modelling of spot freight rates, IMA Journal of Management Mathematics.

Brealey (2010), en <https://www.studocu.com/en/document/universidad-argentina-de-la-empresa/contabilidad/book-solutions/principios-de-finanzas-corporativas-9ed-myers/1677844/view>

Boyle, P.P. (1977). "Options: A Monte Carlo approach". Journal of Financial Economics, 4.

CFA Level 1 Curriculum Volume 5 (2015). "Equity and Fixed Income"

Cormac Butler (1999). "Mastering Value at Risk". Prentice Hall.

Cuthbertson, K y Nitzsche, D. (1996). "Financial Engineering. Derivatives and Risk Management". Jonh Wiley & Sons, Ltd.

David F. Anderson, Desmond J. Higham, and Yu Sun. (2018) Computational Complexity Analysis for Monte Carlo Approximations of Classically Scaled Population Processes.

De Lara A. (2004). Medición y control de riesgos financieros. México: Limusa Noriega Editores.

Dupire, B. (1994). "Pricing with a Smile". Risk.

Engle, R.F. (1995). "ARCH, selected reading". Oxford University Press.

Fabozzi, Frank.J. (2010). "Bond Markets, Analysis and Strategies". 7th Edition, Pearson.

Fallon, W. (1996). "Calculating Value at Risk". Wharton Financial Institutions Center Workin Paper.

Feria J. (2005). El riesgo de mercado, su mercado y control. México: Delta publicaciones.

Glasserman, P., Heidelberger, P. y Shahabuddin, P. (2000), "Efficient Monte Carlo methods for value at risk".

Gupton, G.M., Finger, C.C., y Bhatia, M (1997). "CreditMetrics Technical Document". J. P. Morgan.

Hull J. (2007). Risk Management and financial institutions. USA: Editorial: WILEY FINANCE.

Jorion P. (2010). Valor en riesgo. México: Limusa.

Jorion P. (2011). Financial risk manager handbook; FRM PART I/ PART II. USA: GARP.

Longerstaey, J. (1996). "RiskMetrics technical document". Technical Report fourth edition, J.P Morgan originally.

Morgan, J.P (1996). "RiskMetrics", Technical Report, J.P. Morgan.

Sundaresan Suresh. (2009). "Fixed Income Markets and their Derivatives", 3rd Edition, Academic Press Advanced Finance Series.

Tuckman Bruce. (2012). "Fixed Income Securities", 2nd Edition, Wiley.

Zangari, P. (1996b). "A VaR methodology for portfolios that include options", RiskMetrics Monitor, 1996 (first quarter).