



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ECONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE LOS MODELOS DE MEDICIÓN DE RIESGOS Y**

**ALTERNATIVAS PARA SU MEDICIÓN**

**INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIATURA:**

**Por**

**Carlos Alan Fernández Márquez**

**Director: cDr. Miguel Cervantes Jiménez**

**Ciudad de México**

**2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## **Contenido**

### 1. Introducción

#### 1.1 Objetivos

### 2. Breve historia del riesgo financiero

### 3. Metodologías de medición de riesgo de mercado

#### 3.1 Teoría clásica de portafolios

#### 3.2 Teoría del valor en riesgo (VaR)

#### 3.3 Metodología por simulación histórica

#### 3.4 Metodología por varianzas y covarianzas o delta normal

#### 3.5 Metodología Montecarlo

#### 3.6 Evaluación de las metodologías

### 4. Metodologías alternativas para la medición de riesgo de mercado

#### 4.1 Modelos ARMA – GARCH

#### 4.2 Modelos EWMA

#### 4.3 Otras metodologías

### 5. Conclusiones y recomendaciones

### Bibliografía

## Introducción

En la coyuntura económica los mercados internacionales han tenido un comportamiento ambivalente, por una parte Estados Unidos ha tenido una tendencia alcista en los últimos meses, derivado de la recuperación en el mercado interno propiciada por una reducción en su tasa de desempleo e indicadores macroeconómicos estables, lo que ha conllevado a consolidar la demanda interna y un aumento en la expectativa del producto interno bruto.

Por otro lado en Europa, en el último año, los mercados estaban a la baja debido a la situación de Grecia, su inestabilidad económica, sus obligaciones financieras y la presión del banco central europeo en el sector financiero del país. Asimismo las señales de estancamiento en la eurozona y el “Brexit”, la salida de Gran Bretaña de la UE, han mantenido a los mercados europeos en terrenos neutrales y bajistas. Todo esto ha propiciado un ambiente de incertidumbre en los mercados europeos que aunado al entorno mundial ha provocado cierta desconfianza de los inversores en la Eurozona.

Asimismo, China ha mostrado signos claros de desaceleración, su balanza comercial ha visto como las exportaciones se reducen al compararlas con los niveles de años previos, mientras que las importaciones han aumentado, para contrarrestar esta tendencia el Banco Central de China devaluó el yuan, lo cual desencadenó pérdidas en los mercados asiáticos y en general en los países en desarrollo, adicionalmente, para paliar la caída en las exportaciones, China disminuyó la demanda global de commodities, lo cual provocó

caídas en los mercados mundiales de dichos productos, aumentando el impacto en los mercados globales.

Dentro de este marco internacional, México se encuentra en un entorno socio-económico marcado por la inestabilidad, por una parte los problemas sociales han creado una tensión entre el gobierno y la población y en el plano económico, la baja del precio del petróleo, ha provocado un desajuste de gran magnitud en las finanzas públicas, adicionalmente, la depreciación del peso con respecto al dólar a impactado la demanda interna de los productos importados y por ende, impactado a los mercados bursátiles de manera negativa y a la desaceleración de la economía en su conjunto.

Debido a estas condiciones en los mercados financieros alrededor del mundo, el análisis del riesgo adquiere mayor importancia ya que es de imperiosa necesidad mantener un sistema financiero saludable y con una medición de riesgo adecuada, para que los mismos tomadores de riesgo sean eficientes en sus decisiones y el mercado pueda funcionar de forma óptima.

Por consiguiente, surge la necesidad de hacer una evaluación del riesgo en los mercados financieros, establecer modelos analíticos que permitan observar y analizar el cambio en los precios, su volatilidad y el riesgo que conlleva operar los activos financieros. Aunado a lo anterior, es necesario establecer medidas de riesgo que permitan definir el valor de las posibles pérdidas en un portafolio o en un activo individual. Una de las medidas de riesgo de mercado más usadas en el mundo es el Valor en Riesgo (VaR), el cual es una

medida estadística que permite medir el nivel de riesgo en el que incurren los agentes de mercado al operar ciertos activos financieros.

La metodología para el cálculo del valor en riesgo puede ser diversa y no existe un consenso sobre cual es el mejor método para evaluar el riesgo, ya que las diferentes metodologías presentan ventajas y desventajas dependiendo de la información estadística así como del estado del mercado, algunos métodos actúan de forma más eficiente con mercados de mayor volatilidad, otros métodos son más eficientes con un horizonte de tiempo más amplio.

Los métodos usados más ampliamente para la medición de riesgos son el método de simulación histórica, el método de varianza y covarianza y la simulación Monte Carlo. El método de simulación histórica asume que la historia de los precios en un periodo determinado va a ser similar en un futuro, por lo que compara los precios actuales con las pérdidas potenciales en un horizonte de tiempo determinado y ordena dichas pérdidas tomando un percentil de confianza, generalmente mayor o igual al 95% en base al cual se define el valor en riesgo del portafolio. El método de varianza y covarianza asume que los retornos de los activos están normalmente distribuidos, en base a esto se calcula el retorno esperado y la desviación estándar, similar al método de simulación histórica, se toma un percentil de confianza y se observa el peor retorno de dicho percentil. Finalmente, la simulación de Monte Carlo se refiere a un modelo el cual genera n número de resultados aleatorios y se elige un percentil de confianza adecuado el cual determina los peores resultados posibles para definir el valor en riesgo.

Los métodos enunciados anteriormente son los más usados en la práctica por los bancos de inversión y casas de bolsa, sin embargo, existen diferentes métodos para la evaluación del riesgo, los cuales pueden representar con mayor claridad el riesgo bajo ciertas condiciones específicas de mercado, debido a esto es necesario observar las implicaciones de dichos modelos y compararlos con otras metodologías.

El objetivo general de la tesina es revisar la teoría de los diferentes modelos de riesgo de mercado existentes y analizar dichos métodos alternativos para determinar las ventajas y desventajas de cada uno.

El documento se estructura en tres apartados, en el primero se revisa la historia del riesgo financiero y las diferentes implicaciones que ha tenido en los diferentes eventos económicos; en la segundo apartado se describen los modelos de riesgo de mercado más utilizados de forma comprensiva, para poder establecer una idea clara de los que nos ofrece cada metodología y en la tercera parte se agregan los métodos alternativos y menos comunes para la medición de riesgo de mercado con el propósito de tener una visión amplia de las diferentes metodologías y poder establecer ventajas y desventajas entre cada una de ellas.

La conveniencia de la tesina radica en que especifica las metodologías para la medición de riesgos de mercado y permite entender la parte teórica sin adentrarnos demasiado en la cuestión técnica de los modelos, pero a la vez establecer una idea clara de las diferencias

entre cada una de las metodologías y en que caso es mejor la utilización de una sobre otra. Asimismo es relevante debido a que permite a las personas que desean realizar una carrera en la administración de riesgos o en inversiones sobre los fundamentales de la medición de los riesgos de mercado, adicionalmente, beneficiará a las personas que participan en los mercados financieros para establecer una clara relación entre riesgo y rendimiento y mejorar sus expectativas a futuro.



## 2. Breve historia del riesgo financiero

A través de la historia, los mercados financieros han estado ligados a eventos históricos de relevancia, ya sea siendo influenciados por la coyuntura económica o siendo los detonantes de dichos eventos, naturalmente el riesgo financiero ha jugado un rol importante en las diferentes etapas de la historia económica y financiera. Algunos autores (Calomiris & Gorton , 1991) han descrito la historia de la regulación financiera como una serie de eventos traumáticos que a su vez han creado nuevas instituciones financieras.

Durante los siglos XV a XVIII las naciones fueron regidas por un sistema económico militar, donde las instituciones económicas servían hacia los fines militares de cada país (Flood, 2012), sin embargo, fue en Reino Unido donde las necesidades de la milicia desencadenaron un desarrollo de los mercados financieros, después de la revolución gloriosa, en 1688, el parlamento adquirió mayor poder y fue posible hacer a la monarquía responsable de sus deudas, lo cual atrajo a varios prestamistas al mercado financiero de dicha nación, esto desencadenó un desarrollo del mercado de deuda así como de los mercados financieros privados.

Durante el siglo XVIII, la revolución industrial fue un detonante para una mayor formalización en los mercados de capitales, derivado del desarrollo de industrias con requerimientos de capital intensivo (Flood, 2012), un ejemplo de esto fue en 1773, donde varios brokers, formaron y abrieron una Bolsa de Valores más organizada, dando nacimiento a la Bolsa de Valores de Londres. De manera similar, en 1772, 24 brokers

firmaron el acuerdo de Buttonwood dando nacimiento a la bolsa de valores de Nueva York (Sylla, 2005) (Minneapolis, 1988).

Durante el siglo XIX los mercados financieros siguieron desarrollándose e introduciendo nuevos mecanismos a los agentes del mercado, por ejemplo, en el pánico financiero de Londres en 1825, el Banco de Inglaterra actuó como prestamista de última instancia para mitigar la falta de liquidez para contener el pánico, esto era una acción que no se había probado antes y de cierta forma ayudó a mejorar las finanzas. En Estados Unidos la era de banca libre (Free Banking Era), que ocurrió desde 1837 hasta 1862, se caracterizó por la inexistencia de un banco central, no fue hasta 1863, dentro de la Acta Bancaria Nacional (National Banking Act) (Minneapolis, 1988) (Tucker, 2008) que se instauró un sistema de bancos nacionales, sin embargo, derivado de una serie de pánicos financieros, en específico el pánico financiero de 1917 (Tucker, 2008), fue que se hizo evidente la creación de un sistema centralizado bancario. Aunado a lo anterior, otro factor importante que ha afectado a los mercados, a través de la historia, es el impacto de las instituciones regulatorias, debido a que han propiciado innovación en las empresas y en los agentes del mercado, ya que la regulación provoca mayor burocracia, lo cual incentiva a los agentes a comerciar bienes y valores fuera de mercados regulados y supervisados, un ejemplo de esto son los mercados “over the counter” los cuales comercian valores fuera de la supervisión institucional y que funcionan con reglas ajenas a las formales y en muchos casos más innovadoras y eficientes que en los mercados regulados.

Otro punto importante que ha afectado la evolución de los mercados financieros ha sido la disponibilidad de información a través de todos los agentes, de igual importancia son las herramientas de comunicación para participar en los mercados desde cualquier locación, este proceso es conocido como “integración de mercados de capitales” (Obstfeld & Taylor , 2004). El acceso a la información fue dándose de manera gradual a través de la historia, pero un gran desarrollo en el comercio internacional se dio en el siglo XV donde las naciones, impulsadas por el comercio de oro y plata del continente americano, desarrollaron sistemas de comercio más refinados, por ejemplo, la Compañía Holandesa de Indias Orientales, así como el parlamento británico, fueron pioneros en la innovación de la administración de riesgos, al implementar la responsabilidad limitada de los accionistas lo cual significaba que los inversores no podían perder nada, más allá de su participación inicial fija en la compañía, adicionalmente la Bolsa de Valores de Amsterdam creó el mercado secundario para acciones (Flood, 2012).

En consecuencia, los mercados financieros se fueron expandiendo y evolucionando, asimismo la interrelación de los mercados fue acentuándose, por ejemplo, la dependencia financiera de las economías emergentes con las economías más desarrolladas provocó diversos episodios de pánico financiero, como la crisis Asiática, derivada de un ataque especulativo hacia el bath tailandés en 1997 (Woo, Jeffrey , & Schwab, 2000) o el default de la deuda soberana de Rusia en 1998, lo cual afectó a los mercados financieros de manera significativa, debido a que el mercado de capitales en ese momento estaba altamente apalancado y era muy sensible a disminuciones de liquidez, lo cual sucedió cuando Rusia suspendió los pagos (Lowenstein, 2001) (Devlin, 2008). Recientemente el

ejemplo más claro se encuentra en la crisis financiera de 2007-08, la cual se vio detonada en el mercado inmobiliario el cual estaba financiado mediante una serie de productos financieros, como los derivados, en particular los “credit default swaps” los cuales fueron comerciados en todo el mundo y por ende aumentando la exposición al riesgo de la burbuja inmobiliaria. Estos ejemplos de crisis financieros, fueron posibles debido a las mejoras en la comunicación entre los mercados.

Asimismo, el riesgo financiero y su administración también han dependido en gran medida de las innovaciones tecnológicas, esto ligado a la globalización de los mercados ya que posibilitan una comunicación mucho más eficiente. La evolución de la tecnología en el comercio internacional a impactado en la administración de riesgos, en un inicio, en la Europa medieval, los mercantes fueron pioneros en asegurar las mercancías, los cuales ya necesitaban calcular de alguna medida el riesgo, así como segmentar a su mercado dependiendo del riesgo en que incurrían al trasladar las mercancías, el cual podía depender de la distancia, el tipo de mercancía, la localización, per debido a la poca comunicación muchas veces resultaba imposible establecer un nivel de riesgo adecuado. En este sentido, las tecnologías de comunicación revirtieron especial importancia en el desarrollo de las finanzas, siendo el telégrafo una revolución en la administración de riesgos, ya que se hizo posible la comunicación a larga distancia, posibilitando flujos de comunicación rápidos y efectivos, lo cual a su vez, permitió disminuir el riesgo de las variaciones en los precios de las mercancías ya que se podía conocer los precios de manera rápida. Fue así como empezó a tomar mayor importancia la medición del riesgo, derivado de esto, también fueron apareciendo nuevos fundamentos teóricos

probabilísticos los cuales ayudaron a mejorar la administración del riesgo (Devlin, 2008). Sin embargo pasaron varios siglos para que los fundamentos teóricos fueran aplicados de manera formal en las compañías aseguradoras.

A principios del siglo XX donde existió otra gran revolución en los mercados con el desarrollo de la computación, ya que posibilitó la aplicación de diversos avances teóricos como la teoría clásica de selección de portafolios, desarrollada por Markowitz y que veremos más adelante. Otro ejemplo fue el desarrollo del análisis Montecarlo, el cual calcula la probabilidad de un número de escenarios posibles de un evento establecido, el cual tiene su base teórica en la teoría de probabilidades que ayudó a desarrollar Fermat en 1654 junto con Pascal. La ejecución práctica, en la administración de riesgos, del análisis de Montecarlo fue posible debido al desarrollo de las computadoras. Recientemente, el desarrollo del poder computacional así como el desarrollo del internet a altas velocidades a permitido automatizar mediante algoritmos, la compra y venta de activos financieros, esta automatización ha permitido arbitrar con los precios de los activos a velocidades mayores a las que puede reaccionar la mente humana, esto es conocido como “high frequency trading (HFT)” o comercio de alta frecuencia, por una parte el HFT ha permitido maximizar ganancias de los agentes del mercado aunque por otra parte un desajuste en los algoritmos o un error humano en las indicaciones puede ser el motivo de un impacto severo en los mercados, como se vio en el “Flash Crash” del 2010. (Lauricella & Mckay, 2010)

Los puntos anteriormente vistos, han motivado a mejorar la administración de riesgos, así como incentivar la creación de profesionales en esta materia, de ahí la importancia de conocer los diferentes modelos de riesgo así como sus ventajas y desventajas y aplicar dichas herramientas teóricas y prácticas al mercado financiero y procurar un estado saludable de dichos mercados.

El siguiente cuadro ejemplifica la relación entre las crisis y las instituciones creadas para responder a dichos a eventos.

Tabla 1.1 Crisis e instituciones creadas

Crisis	Instituciones creadas
Guerra civil EU (1861-65)	Sistema nacional bancario y regulador de las divisas
Pánico financiero de 1907	Reserva federal
Gran depresión (1930s)	Corporación federal de depósitos y seguros (FDIC "Federal deposit insurance corporation")
	Comisión de mercado de valores (SEC Securites exchange commission) Administración de vivienda federal(FHA), asociación hipotecaria federal nacional (Fannie Mae), y sistema bancario nacional de préstamo hipotecario Banco de Canadá

Crisis de papeleo (late 1960s)	Corporación de protección para el inversor de valores (SIPC)
Bancarrota del banco de Herstatt (1974)	Comité de Basilea para la supervisión bancaria (BCBS)
Crisis de ahorros y préstamos (1980s)	Oficina para la supervisión del ahorro (OTS), and junta de financiación de la vivienda federal (FHFB)
Crisis financiera global (2007-09)	Oficina de investigación financiera (OFR), consejo de supervisión de estabilidad financiera (FSOC), oficina federal de seguros (FIO), y oficina de protección financiera del consumidor (CFPB)
	Junta europea de riesgo sistémico (ESRB)

Fuente: (Flood, 2012)

### 3. Metodologías de medición de riesgo de mercado

En economía y finanzas, el riesgo financiero está asociado a la incertidumbre de los inversores al momento de comerciar los valores, debido a los movimientos de precio que experimentan en el mercado. Dicha incertidumbre está asociada al retorno esperado, donde es generalmente aceptado que a mayor expectativa de retorno existe un mayor riesgo de pérdida. El riesgo financiero se puede definir como la posibilidad que una variable afecte las ganancias de uno o varios participantes en el mercado financiero, adicionalmente podemos definir al riesgo financiero como “la variación del valor del instrumento o del portafolio con respecto a su valor actual, debido a los movimientos en los factores de riesgo” (Berendsohn, 2003). Más adelante se verá que el riesgo puede depender de muchos factores, como el entorno macroeconómico, la coyuntura económica, la estrategias de inversión, entre otros.

#### 3.1 Teoría clásica de portafolios

Markowitz publicó en 1952 su “Selección de portafolios” (Markowitz, 1952) lo cual dio pauta para desarrollar la teoría clásica de portafolios, donde se identifica al riesgo como la varianza de los rendimientos esperados de los activos.

Según esta teoría clásica de la inversión, el portafolio con el máximo retorno esperado no es necesariamente aquél con la menor varianza, más bien, tiende a existir una relación



directa entre retorno esperado y varianza, a mayor varianza del portafolio también aumenta el retorno esperado y a menor retorno esperado, también disminuye la varianza.

Dicha relación, descrita por Markowitz, se representa de la siguiente manera:

$$E = \sum_{i=1}^N X_i \mu_i$$

Donde:

$E$  = Retorno esperado del portafolio

$X_i$  = El porcentaje de los activos del inversor que está alocados en el activo  $i$ -ésimo.

$\mu_i$  = El valor esperado de retorno del activo  $i$ -ésimo.

Y la varianza es :

$$V = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sigma_{ij} X_i X_j$$

Donde:

$\sigma_{ij}$  = Covarianza entre el retorno esperado del activo  $i$  y el retorno esperado del activo  $j$ .

$X_i$  = El porcentaje de los activos del inversor que está alocados en el activo  $i$ -ésimo.

$X_j$  = El porcentaje de los activos del inversor que está alocados en el activo  $j$ -ésimo.

En las ecuaciones anteriores “el inversor puede decidir entre distintas combinaciones de  $E$  y  $V$  dependiendo de las elecciones en su portafolio ( $X_1, \dots, X_n$ )” (Markowitz, 1952). Es

decir, el riesgo será una variable que va a estar definida por las distintas combinaciones de activos que el inversor decida elegir en un portafolio, de forma análoga, el retorno esperado de dicho portafolio estará definido por la elección de dichos activos. El modelo asume que, si bien, la elección de E-V no implica superioridad sobre portafolios no diversificados, si implica una elección eficiente de portafolios, sin embargo, la diversificación debe realizarse de manera correcta para obtener resultados óptimos, Markowitz nos ejemplifica que no es lo mismo invertir en un portafolio con diferentes activos de una misma clase, que en activos de diferentes industrias y diferentes países. En materia de riesgo financiero, un inversor puede disminuir el riesgo de su portafolio al combinar activos que no estén correlacionados positivamente, sin disminuir su retorno esperado.

### 3.2 Teoría del valor en riesgo (VAR)

A pesar de las innovaciones en la administración del riesgo que trajo consigo la teoría de portafolios, los trabajos permanecían alejados de la práctica financiera, no fue hasta la década de los 70 y 80 donde se hizo evidente la necesidad de encontrar nuevas formas de administrar el riesgo (Holton, 2002), en parte por las innovaciones financieras y por la proliferación de los instrumentos derivados, debido a que las formas tradicionales de administrar el riesgo no podían aplicarse a dichos mercados. Sin embargo, los diferentes bancos de inversión y casas de bolsa, usaban métodos específicos para el cálculo del

valor en riesgo, no fue hasta 1992 donde el grupo de los 30<sup>1</sup> publicó un reporte donde ofrecían recomendaciones para el manejo de los derivados, uno de los puntos de dicho reporte, hablaba sobre la administración del riesgo y el uso VAR como medida de riesgo. Adicionalmente, JP Morgan empezó a usar para sus operaciones diarias una medida de VAR, para 1994, desarrollaron un servicio llamado “Riskmetrics” el cual contenía una metodología de VAR (Holton, 2002) la cual fue adoptada por gran parte del sector.

Formalmente, el Valor en Riesgo o VAR es una medida “que proporciona un único número que resume el riesgo total en un portafolio de instrumentos financieros” (Hull, 2012), matemáticamente se define de la siguiente manera:

$$VaR_{\alpha T} = \{x \in R \mid [Pr > x] = \alpha\}$$

Es decir, una pérdida (Pr) en T que sea igual a X, perteneciente a los números reales y que sea igual a un alpha. Lo anterior se puede interpretar como un “ nivel de pérdidas (Pr) (del o los activos de que se trate) tal, que la probabilidad “ $\alpha$ ” de que la pérdida exceda esta cantidad en un periodo de tiempo dado, corresponde a un cierto nivel de confianza escogido” (Banco de México, 2002). El análisis del VAR funciona de la siguiente manera, se escoge un nivel de confianza determinado, generalmente 95%, así como un periodo establecido, el cual sirve para fijar los movimientos en los factores de riesgo observados en dicho periodo, estos parámetros se utilizan para determinar las pérdidas

---

<sup>1</sup> Fundado en 1978, el grupo de los 30 es una organización sin fines de lucro de ejecutivos, reguladores y académicos. Mediante reuniones y publicaciones, buscaba ahondar en la economía internacional y en las finanzas.

potenciales en la distribución de pérdidas y ganancias del activo o portafolio que se este calculando y se elijen las pérdidas dependiendo del nivel de confianza establecido.

### 3.3 Metodología por simulación histórica

El método de cálculo de VAR por simulación histórica calcula las pérdidas potenciales en un periodo de tiempo para una cartera de activos o un activo en específico, este método utiliza la información histórica para pronosticar las pérdidas potenciales. La idea básica del VAR con el método de simulación histórica es reorganizar los precios históricos a un nivel de confianza definido en un orden descendente, después en base al percentil de confianza establecido se observa el dato correspondiente para definir el VAR, el presente modelo asume que la historia se repetirá por lo que los movimientos de los activos financieros seguirán un patrón similar al previamente observado. Formalmente, lo definimos mediante la siguiente ecuación (Li , Fan, Li , Zhou, Jin , & Liu, 2012):

$$VaR_{t+1}^p = \text{percentil}\{\{r_{t+1-r}\}_{r=1}^m, (100 \cdot p)\%$$

Es decir, el VaR del periodo t+1 con un nivel de confianza p, está definido por el percentil de una serie de retornos del día 1 hasta m y del nivel de confianza definido. El primer paso para el cálculo del VAR mediante este método es identificar los factores de riesgo que afectan al portafolio que queremos valorar, dichos factores dependen del activo financiero, por ejemplo para derivados y bonos pueden ser, tasas de interés, precio de acciones, tipo de cambio nacional e internacional, precios de commodities, etc., para

acciones, el precio spot de la acción es el factor de riesgo. El segundo paso será recolectar información de todos los días al plazo definido para todos los factores de riesgo, posteriormente se realizan los escenarios para cada horizonte de tiempo, generalmente un día, los cuales denotarán el cambio porcentual diario de todos los valores. El siguiente paso es aplicar los escenarios al último precio observado, es decir al precio actual, de esta manera obtenemos la valuación de los activos incorporando los movimientos observados en todos los escenarios, posteriormente se calcula las pérdidas y ganancias de cada escenario, el cual es comparado con la valuación actual del portafolio o instrumento financiero. Finalmente ordenamos los resultados para obtener una distribución de pérdidas y ganancias y en base al percentil de confianza elegido, por ejemplo 95%, correspondemos el cuantil correspondiente a la distribución de pérdidas y ganancias y dicho dato representará nuestro VaR.

Las ventajas de la utilización de este método radican en su simplicidad de uso, además no es necesario realizar supuestos de normalidad debido a que el VaR está determinado por el movimiento de los precios (Aswath, 2007). Sin embargo, el método histórico tiene algunas desventajas, debido a que todos los datos tienen la misma ponderación, la variación de precios de los escenarios más alejados tendrán el mismo impacto que el cambio en periodos recientes, para contrarrestar esta crítica, algunos autores (Boudoukh, Richardson, & Whitelaw, 1998) han propuesto una variante del modelo, donde se incorpora un factor de decaimiento el cual le da mayor ponderación a los elementos más recientes. Adicionalmente, debido a la naturaleza de este método al incorporar información histórica, si existen nuevos factores de riesgo, el modelo no será certero ya

que no existirá información histórica suficiente para incorporar al modelo. En resumen el método de simulación histórica es una herramienta sólida para el cálculo del VaR, donde la simplicidad de uso así como la ausencia de supuestos de distribución, permiten una fácil incorporación de la administración de riesgos para las agentes del mercado, sin embargo, es necesario tener en consideración que en mercados de alta volatilidad, el método de simulación histórica puede arrojar resultados poco certeros, análogamente en mercados estables, los resultados del modelo pueden resultar muy certeros.

### 3.4 Metodología de varianzas y covarianzas o delta-normal

Este modelo entra en la clasificación de VaR paramétrico, calcula el riesgo de los activos derivado de una probabilidad de pérdidas esperadas(o retornos esperados), este método calcula la volatilidad de los activos que conforman el portafolio y asumida una distribución de probabilidad definida, calcula el valor de las máximas pérdidas en las que se puede incurrir. Este método, asumida normalidad en la distribución de probabilidad de pérdidas/retornos esperados, dicho supuesto de normalidad nos permite inferir que si los movimientos de los factores de riesgo presentan un comportamiento lineal, entonces los activos del portafolio también se comportaran de dicha manera. Es debido a este supuesto que el presente método funciona mejor para portafolios con activos con un comportamiento normal.

Asumiendo normalidad, se puede definir formalmente el VaR de un activo de la siguiente manera (Salinas, 2009):

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

En donde  $V_0$  será el valor del portafolio,  $K(\alpha)$  es el nivel de confianza del VaR y  $\sigma\sqrt{t}$  es la volatilidad de los rendimientos.

La volatilidad depende de la desviación estándar del portafolio la cual puede ser obtenida de la siguiente manera (Salinas, 2009):

$$\sigma_p = \sqrt{[w_1, \dots, w_i] \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1i} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \dots & \sigma_{2i} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{i1} & \sigma_{i2} & \dots & \sigma_i^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_i \end{bmatrix}}$$

Donde  $w_i$  es la proporción del portafolio invertido en el activo  $i$ -ésimo y  $\sigma$  va a representar las covarianzas entre los distintos activos del portafolio.

Este método exige el cálculo de la matriz de var-cov de todos los activos, sin embargo, si se tiene un portafolio extenso no sería práctico calcular todos los elementos de esa matriz, es por ello que para simplificar el procedimiento se realiza un mapeo de los factores de riesgo de todo el portafolio, esto debido a que muchos activos comparten los mismos factores de riesgo, por lo que resulta mucho más práctico realizar el cálculo de dichos factores que de todos los instrumentos que conforman el portafolio. Una vez identificados los factores de riesgo, se procede a calcular las varianzas y covarianzas de la información

histórica de dichos factores, el periodo elegido dependerá del horizonte temporal al cual se requiere calcular el VaR. Finalmente se calcula el VaR, que dependerá de la volatilidad de los rendimientos, el nivel de confianza elegido y del valor del portafolio.

La principal ventaja del método de varianzas y covarianzas, asumiendo la normalidad en la distribución de los retornos, radica en su facilidad de cálculo para las instituciones financieras, sin embargo, en la realidad puede ser que en la distribución de los retornos esperados exista una mayor cantidad de valores extremos de los que una distribución de probabilidad normal nos pronosticaría (Glasserman, 2001), por lo que el cálculo del VaR estaría subestimando el riesgo real incurrido. Adicionalmente, si las varianzas y covarianzas de los factores de riesgo cambian a través del tiempo, se estaría estimando de manera errónea el VaR. A pesar de las desventajas, el método de var-cov es un método adecuado si los elementos de un portafolio presentan un comportamiento lineal a través del tiempo, así como la facilidad de cálculo proveen al administrador de riesgo de una manera relativamente eficiente para conocer el riesgo de mercado al cual está expuesto.

### 3.5 Metodología Monte Carlo

La idea básica del presente método, radica en suponer cierto comportamiento para cada uno de los factores de riesgo que afectan a los activos del portafolio, una vez definidas las probabilidades de distribución de dichos factores y se especifica los movimientos que asumen entre si los factores de riesgo, el paso siguiente es la simulación de los rendimientos mediante la generación de escenarios aleatorios donde cada resultado



reflejará un pronóstico distinto (Aswath, 2007), después de simular múltiples veces el rendimiento del portafolio (alrededor de diez mil simulaciones), se obtiene la distribución de probabilidad y de ella se establece el VaR del portafolio.

Siguiendo el modelo de Wiener Gauss, el cual describe el comportamiento de una variable cuando sigue un proceso estocástico, en términos generales “el comportamiento de una variable que sigue un proceso Wiener puede ser entendida al considerar los cambios en su valor en pequeños intervalos de tiempo.” (Pedraja & Rodríguez, 2000), aplicado a finanzas, se puede estimar el cambio de los rendimientos de los activos a través del tiempo e incorporando un factor estocástico. El modelo es el siguiente (Hull, 2012):

$$\frac{\delta P_t}{P_t} = \mu dt + \sigma \varepsilon_t \sqrt{dt}$$

Donde la variación del rendimiento de un activo ( $\frac{\delta P_t}{P_t}$ ) estará determinado por la rentabilidad esperada ( $\mu$ ) en el horizonte de tiempo de cálculo ( $dt$ ) y la volatilidad del activo financiero ( $\sigma$ ) la cual será de carácter estocástico ( $\varepsilon_t \sqrt{dt}$ ) donde  $\varepsilon_t$  será el coeficiente aleatorio del activo financiero.

La valuación de los rendimientos sigue este proceso estocástico; se repite n número de veces, generalmente diez mil, para determinar múltiples resultados que expliquen el comportamiento del activo, una vez hechos este paso, se realiza una distribución de

probabilidades para describir los resultados y un nivel de confianza para poder definir el nivel del VaR. Para simplificar el método, se pueden escoger los factores de riesgo que afectan el portafolio y simular los resultados en base dichos factores para no simular el movimiento de todos los activos del portafolio sino solo de los factores de riesgo que influyen en el mismo.

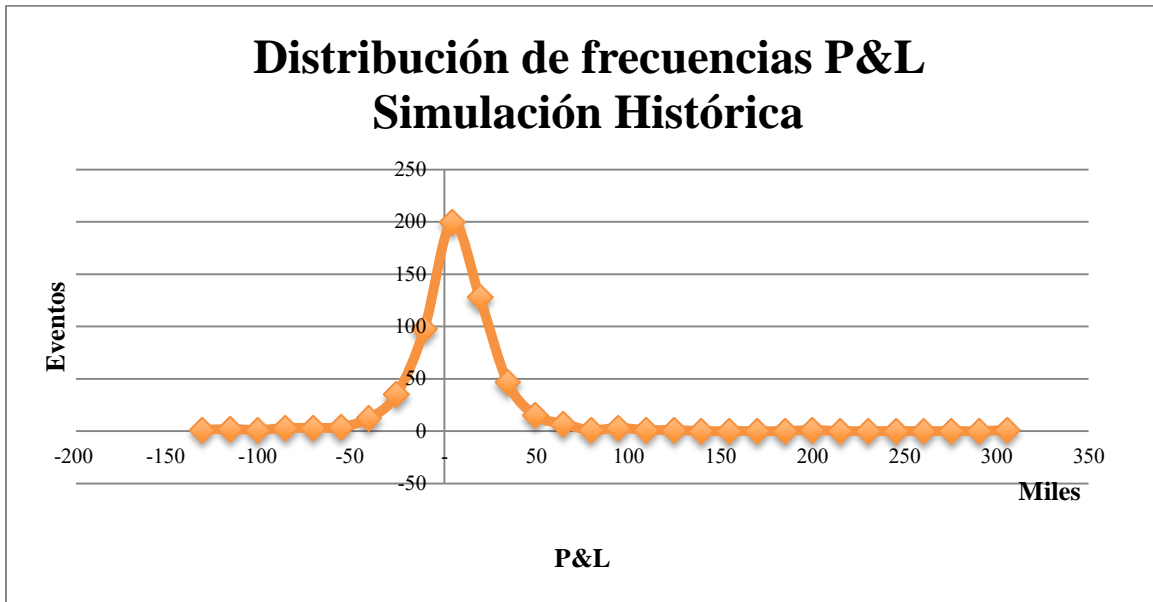
Una de las ventajas de este método es la libertad de poder elegir distribuciones de probabilidad específicas para las variables, por lo que no es necesario mantener el supuesto de normalidad en los retornos que no siempre se cumple en la realidad, adicionalmente el método de Monte Carlo funciona para activos más dinámicos como las opciones o los SWAPS, sin embargo, en caso de que el portafolio contenga un número grande de activos financieros y que estos sean de diferentes clases, el número de simulaciones para obtener resultados significativos, aumenta de manera drástica, por lo que los recursos computacionales y de tiempo pueden ser excesivos para el administrador de riesgos. Finalmente el método es un trade-off entre flexibilidad de supuestos de distribución y los recursos necesarios para valorar el VaR.

### 3.6 Evaluación de las metodologías

Para comparar las metodologías se realizan valuaciones de VaR a un portafolio con tres acciones y una ponderación de 1/3 para cada uno de los activos. Los instrumentos elegidos fueron Cemex, Ica y Walmex, con un periodo de dos años de enero del 2014 a febrero de 2016, tomando niveles de confianza del 95% y 99%. En la gráfica 2.1 se

observa la distribución de las pérdidas y ganancias realizando el método de simulación histórica.

Gráfica 2.1

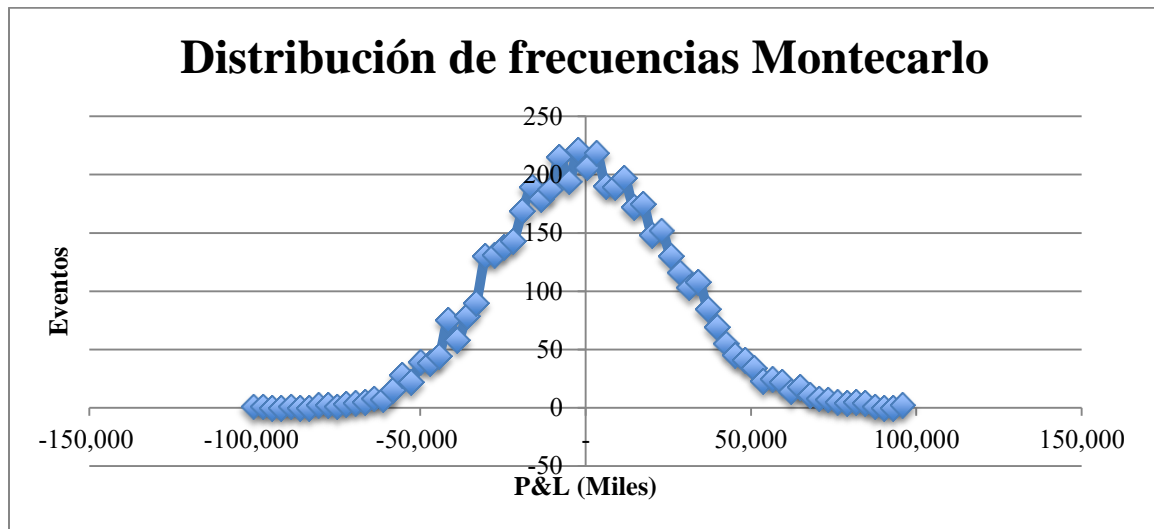


Fuente: Elaboración propia con datos de <http://finance.yahoo.com/>

Realizando un análisis de las pérdidas y ganancias del portafolio se estimó que la curtosis es mayor a 3 lo cual permite deducir que es una distribución leptocúrtica, lo que va alineado con la gráfica 2.1, la cual tiene colas anchas y es más alta en el medio, esto permite concluir que los movimientos extremos en el portafolio son más comunes que los de un portafolio con una distribución normal. Debido a la forma de la distribución de pérdidas y ganancias, se puede anticipar que el resultado del VaR por el método delta normal o paramétrico tenderá a subestimar el valor a mayores niveles de confianza, ya que dicho método asume normalidad en su distribución de frecuencia y los datos presentan una distribución no normal.

En la gráfica 2.2 se expone la distribución de frecuencias de la simulación de resultados mediante el método de Montecarlo.

Gráfica 2.2



Fuente: Elaboración propia con datos de <http://finance.yahoo.com/>

Como se aprecia en la gráfica 2.2, la distribución de frecuencias presenta un comportamiento normal, lo anterior debido a que el método de Montecarlo utiliza una muestra mucho más extensiva de escenarios ya que no depende directamente de la información histórica sino de las simulaciones estocásticas de los factores de riesgo, en este caso 5,001 simulaciones para cada factor, y según la teoría del límite central, entre mayor sea la muestra, la función de probabilidad tiende a una distribución normal, como se observa en la muestra.

En la tabla 2.1 muestro los las características del portafolio muestra, el cual cuenta con 3 acciones, \$CEMEX, \$ICA y \$WALMEX, de las cuales \$CEMEX e \$ICA son del sector inmobiliario el cual a presentado desaceleración durante los últimos meses, en especial la

acción de \$ICA se ha visto afectada, ya que la empresa ha tenido dificultades para pagar su deuda y en algunos de sus bonos ha entrado en default, por lo que el precio de la acción lleva una tendencia descendente y volátil, en cambio \$WALMEX pertenece al sector consumo el cual conserva su fortaleza a pesar de la coyuntura financiera. Cada uno de los activos cuenta con una ponderación de 1/3 para simplificar el análisis y con una inversión inicial de \$1,500,000.00.

Tabla 2.1

Portafolio	Posición	Spot	Inversión
\$CEMEX	48,030.74	\$10.41	\$500,000.00
\$ICA	113,895.22	\$4.39	\$500,000.00
\$WALMEX	11,671.34	\$42.84	\$500,000.00
Total	173,597.29		\$1,500,000.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.2 se exponen los resultados del cálculo del VaR del portafolio compuesto para dos niveles de confianza, 95% y 99%, así como el valor en pesos del nivel de riesgo y el valor relativo con respecto al total del portafolio, los resultados son para cada una de las metodologías de VaR, simulación histórica, delta normal y Montecarlo.

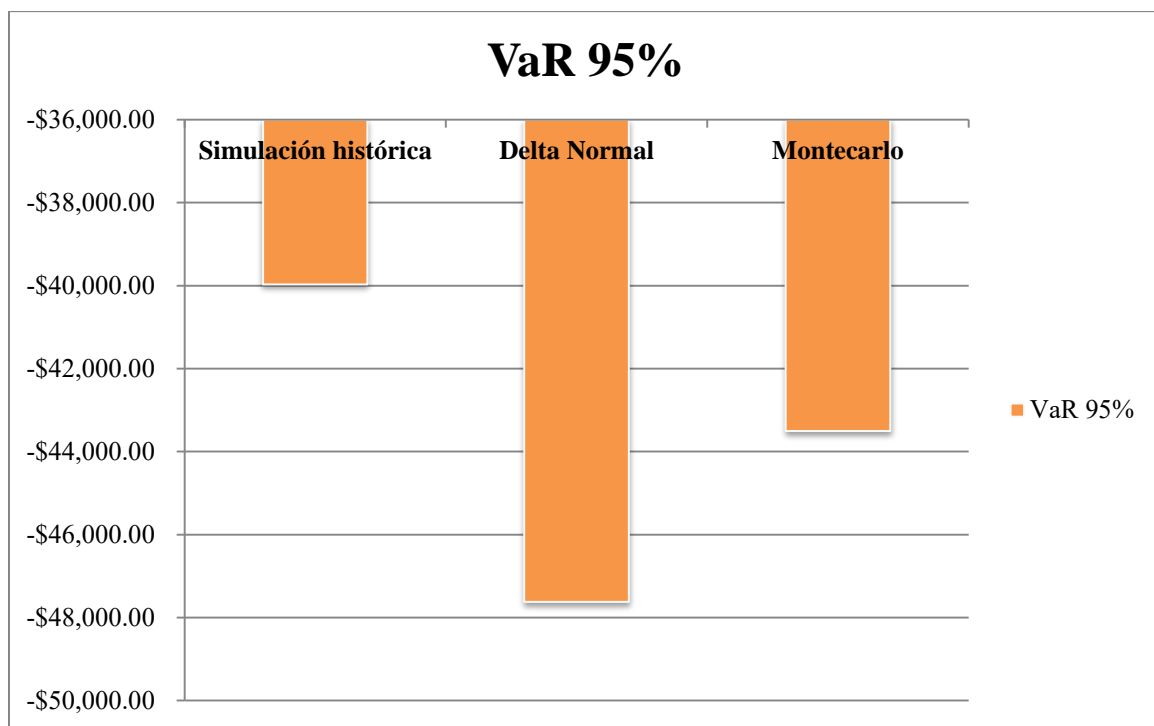
Tabla 2.2

Resultados	Simulación histórica		Delta Normal		Montecarlo	
	Valor	%	Valor	%	Valor	%
<b>Var95%</b>	-\$39,967.75	2.66%	-\$47,620.18	3.17%	-\$43,981.90	2.93%
<b>Var99%</b>	-\$97,624.39	6.51%	-\$67,350.14	4.49%	-\$61,823.63	4.12%

Fuente: Elaboración propia con datos de <http://finance.yahoo.com/>

La base utilizada para calcular el VaR por simulación histórica y delta normal, tiene un horizonte temporal de dos años desde el 3 de enero del 2014 hasta el 2 de marzo de 2016, con un total de 564 datos, para el cálculo del VaR por Montecarlo realicé un total de 5001 simulaciones de los factores de riesgo para aumentar la muestra y obtener un resultado más certero y adecuado para la metodología. En la gráfica 2.3 se presenta el comparativo del VaR a un 95% de nivel de confianza.

Gráfica 2.3



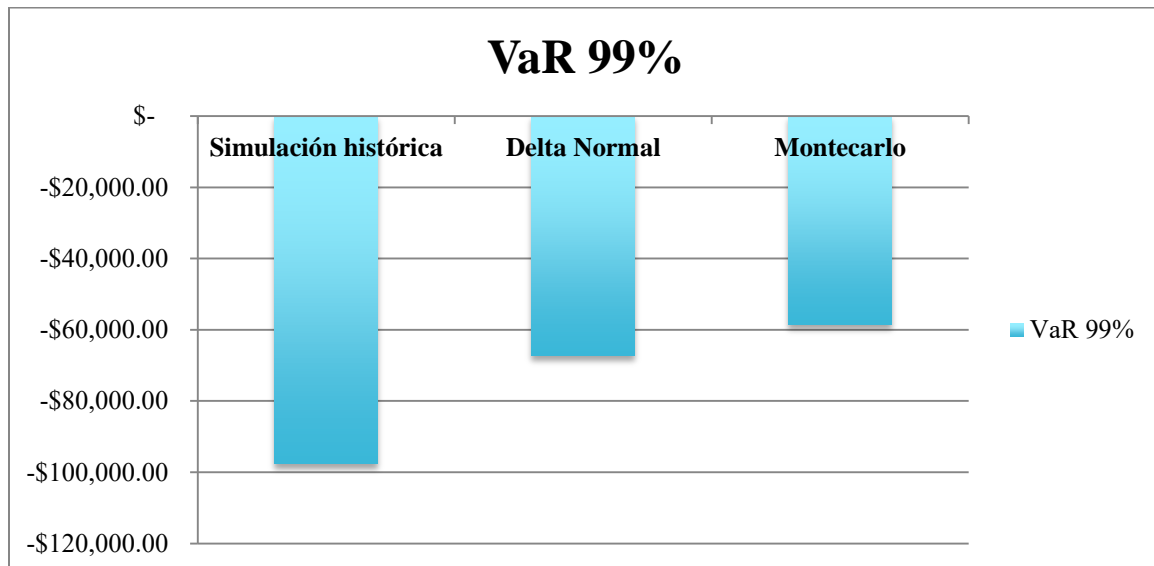
Fuente: Elaboración propia con datos de <http://finance.yahoo.com/>

En la presenta gráfica se observa que, para un nivel del 95% de confianza, el método de simulación histórica calcula con el menor nivel de riesgo el portafolio, esto se explica ya que la distribución de frecuencias presenta una forma leptocúrtica la cual representa que los eventos más alejados de los extremos tienden a tener un menor nivel de riesgo pero a

mayor nivel de confianza, o más cercano a los extremos, el VaR aumenta en comparación a una distribución normal. Análogamente, el VaR por el método de delta normal es el que estima con mayor nivel de riesgo el portafolio, lo cual confirma que al ser un cálculo que utiliza la distribución normal, tiende a sobreestimar el VaR niveles más alejados de los extremos. Finalmente el cálculo de Montecarlo se encuentra en un nivel intermedio de los dos anteriores, lo cual puedo aducir a que al utilizar una muestra mucho más grande que las otras metodologías tiende a normalizar la función de distribución y llegar a un resultado más representativo.

En la gráfica 2.4 se presentan los resultados del VaR con un nivel de confianza del 99%.

Gráfica 2.4



Fuente: Elaboración propia con datos de <http://finance.yahoo.com//>

A un nivel de confianza del 99% se observa que los resultados tienen un comportamiento que va en línea con su resultado previo, en este caso el VaR por simulación histórica es el

que calcula el mayor nivel de riesgo de todas las metodologías, ya que al estar más cercano a los extremos y debido a que la distribución tiene colas anchas, el VaR es de un nivel mayor que aquella metodología que utilice una función de distribución normal, cuyo caso se muestra en el VaR por delta normal y de cierta forma el VaR Montecarlo, sin embargo es necesario recalcar que el cálculo por la metodología de Montecarlo no está condicionado al uso específico de una función de distribución, en el ejemplo la distribución resulto tender a hacia una normal pero no será así en todos los casos. Para el ejemplo concluyo que el dada la naturaleza de los activos, en este caso acciones, dos de las cuales están en sectores con mercados bajistas, la metodología más certera será la de simulación histórica ya que permite tomar en cuenta la alta volatilidad del precio de los activos y por ende definir de manera más cercana el valor en riesgo ante movimientos extremos del portafolio.

La tabla 2.3 muestra analizar las ventajas y desventajas de las metodologías y compara sus resultados

Tabla 2.3 Comparativo de los modelos de Valor en Riesgo.

Metodología	Ventajas	Desventajas
<b>Simulación Histórica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No asume una distribución de probabilidad específica por lo que se puede usar para el cálculo de activos con comportamiento no normal, como los derivados.</li> <li>-Siempre que exista una tendencia en los mercados volátiles, el VaR estará mejor representado ya que toma en cuenta la historia de los activos y la incorpora en el cálculo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Debido a que el cálculo es realizado con la información histórica, ante eventos inesperados que afecten de manera negativa al riesgo, el VaR tardará en incorporar la información y podría subestimar el riesgo en condiciones inesperadas.</li> <li>- Con portafolios muy complejos, los recursos computacionales</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es ampliamente usada en el sistema financiero por lo que sirve como medida comparativa entre diferentes instituciones.</li> </ul>	<p>pueden ser más exigentes por lo que se complicaría el cálculo.</p>
<b>Delta Normal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Debido a su metodología, se puede simplificar el cálculo de un portafolio muy extenso y solo medir el riesgo de los factores de riesgo que tengan en común dichos activos, lo que facilita el cálculo del VaR.</li> <li>-En activos que presentan un comportamiento normal, la presente metodología es la forma más eficiente de cálculo del VaR.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Para portafolios que incorporen activos con un comportamiento dinámico, como los derivados, el VaR no representaría de manera adecuada el riesgo real ya que el método asume un comportamiento normal.</li> </ul>
<b>Montecarlo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La metodología Montecarlo permite analizar los portafolios con un número extenso de simulaciones, por lo que se cubren diversos escenarios en los movimientos de los activos y por ende el resultado es representativo de múltiples escenarios.</li> <li>-Similar al método de simulación histórica, la metodología no está restringida a un función de probabilidad definida, por lo que se puede utilizar para analizar portafolios con una amplia diversificación de activos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La principal desventaja del método radica en que para portafolios con un número significativo de instrumentos, los recursos computacionales se vuelven muy extensivos por lo que necesita mayores recursos temporales y de procesamiento.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

## 4. Metodologías alternativas para la medición de riesgo de mercado

Las metodologías de medición de riesgo vistas anteriormente, si bien son las más usadas en la práctica financiera, cuentan con ciertas desventajas, debido a esto, diversos autores han propuesto variantes de dichas metodologías así como nuevas formas para el cálculo de riesgo, las cuales se discuten a continuación.

### 4.1 Modelos ARMA-GARCH

Esta metodología combina el método de simulación histórica con modelos de varianza condicional, esto los hace más adecuados para analizar el valor en riesgo en mercados volátiles y para portafolios más grandes.

Formalmente, la metodología se ajusta a un modelo ARMA para la parte del VaR y un modelo GARCH para estimar la parte de la varianza. El modelo está descrito por la siguientes ecuaciones (Li , Fan, Li , Zhou, Jin , & Liu, 2012):

$$r_t = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i r_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{t-j}, \varepsilon_t = z_t \sigma_t$$

$$\sigma_t^2 = a_0 + \sum_{i=1}^r c_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^s d_j \sigma_{t-j}^2$$

La primera ecuación representa al modelo ARMA(p,q) para los retornos donde la parte autoregresiva está definida por  $\{a_i\}_{i=1}^p$  y el promedio móvil por  $\{b_j\}_{j=1}^q$ . La segunda ecuación representa la volatilidad de los residuos aleatorios los cuales son función de la volatilidad ( $\sigma$ ) y de los residuos pasados( $\varepsilon$ ).

La evidencia tiende a mostrar que los retornos están negativamente correlacionados con los cambios en los retornos de volatilidad (Li , Fan, Li , Zhou, Jin , & Liu, 2012), a mayor volatilidad, caen los retornos y a menor volatilidad suben los retornos, sin embargo los modelos GARCH no toman en cuenta el sentido de la correlación, solo la magnitud del movimiento, por lo que es importante tomar en cuenta estos resultados al momento de aplicar esta metodología. Como se mencionó anteriormente, las ventajas de aplicar estos modelos al cálculo del VaR, radican en que se adaptan mejor ante entornos de volatilidad en comparación con el método simple de simulación histórica, sin embargo, al ser más complejo, en la práctica financiera puede presentar retos en la implementación de los sistemas de riesgo así como en la aplicación del mismo.

#### 4.2 Modelos EWMA

Este tipo de modelo, nos permite introducir los cambios en la volatilidad en el periodo de estudio, para el cálculo del VaR e introducirlo dentro del método de simulación histórica, de ahí su nombre (“Exponentially weighted moving average”).

Formalmente, se define la siguiente ecuación (Hull & White , Incorporating Volatility Updating Into The Historical Simulation Method for Value at Risk, 1998):

$$h_{tj}^* = \sigma_{Nj} \frac{h_{tj}}{\sigma_{tj}}$$

Debido a que  $h_{tj}$  representa el cambio histórico porcentual de la variable j en el día t y  $\sigma_{tj}^2$  es la varianza del cambio porcentual de la variable j en el día t, se puede definir a  $h_{tj}^*$  como el cociente de las variables anteriores multiplicadas por la varianza al día N de la variable j. Esta adaptación de los cambios porcentuales, permite modificar el método de simulación histórica incluyendo los cambios en la volatilidad. Adicionalmente es necesario adaptar la varianza diaria mediante la siguiente fórmula (Ídem):

$$\sigma_{tj}^2 = \alpha \sigma_{t-1,j}^2 + (1 - \alpha) h_{t-1,j}^2$$

La ecuación describe que la varianza en la fecha t, depende de la varianza del día anterior ( $\sigma_{t-1,j}^2$ ) y de los cambios porcentuales de la variable de estudio ( $h_{t-1,j}^2$ ) elevados al cuadrado, estas variables responden con una sensibilidad definida ( $\alpha$  y  $(1-\alpha)$ ) asignada previamente.

### 4.3 Otras metodologías

Una metodología para el cálculo de riesgo de mercado es la teoría de valores extremos la cual se centra en el cálculo de las desviaciones extremas en una distribución de probabilidades, las ventajas de este análisis radican en cuantificar los eventos donde ocurren incidencias poco probables como la crisis financiera del 2008, haciendo uso de herramientas estadísticas donde se enfoca en los valores extremos por lo que describen las colas del área de distribución con mayor exactitud.

Otra de las metodologías alternativas, es la propuesta por Glasserman, Heidelberger y Shahabuddin (Glasserman, *The Quest for Precision Through Value-at-Risk*, 2001), en donde se combina la metodología del método de varianzas y covarianzas para simplificar el cálculo de un VaR Monte Carlo, con el objetivo de minimizar los requerimientos computacionales y temporales que dicha metodología exige.

Adicionalmente, otro método para la medición del riesgo es el CVaR, se diferencia del VaR ya que en lugar de analizar los movimientos del mercado, mide el flujo operativo de efectivo de un periodo, el objetivo será medir la probabilidad de que el flujo operativo de efectivo caiga debajo de un nivel de confianza determinado, a diferencia del VaR tradicional, el horizonte temporal de esta medida será mucho más largo, generalmente trimestres o años. Esta medida es usada en compañías que no están muy expuestas a los movimientos de mercado y les resulta más valioso analizar el riesgo dentro de la empresa que fuera de ella, al ser un análisis enfocado en flujos de efectivo, los factores de riesgo

serán diferentes, como pueden ser capitalización, rendimiento o desempeño de la compañía en el mercado (Aswath, 2007).

## 5. Conclusiones y recomendaciones

En el presente documento se consideró la importancia de llevar una administración de riesgos en los portafolios de inversión, a través de la historia, los mercados han tenido eventos de volatilidad extrema y crisis, dichos eventos en alguna medida pudieron ser evitados o mitigados mediante una responsable administración de riesgos. A finales del siglo pasado el avance teórico para la correcta medición de riesgos fue evolucionando, ya sea en la academia o dentro de las empresas del sector bursátil. Se puede decir que fue en la década de los 90 con la aportación de “Riskmetrics” en JP Morgan donde se instauró el VaR como medida universal para la medición de riesgo de mercado, sin embargo las metodologías se han ido refinando y usando diferentes enfoques para tener una mejor perspectiva del riesgo al que se ven expuestos los inversores.

Los capítulos anteriores permitieron conocer la importancia de medir el riesgo financiero, para lo cual el administrador de riesgos, tendrá diversas herramientas a su disposición, en este tenor, el riesgo de mercado es una medida que puede ser calculada mediante diferentes metodologías y técnicas. La primera es el método de simulación histórica, el cual analiza una serie histórica de datos y realiza escenarios para compararlos con los niveles observados actualmente, esto nos permite realizar un análisis comparativo para definir la mayores pérdidas potenciales para ese periodo, las ventajas de este método radican en no asumir una distribución de probabilidad de los retornos por lo que no se tenemos que adecuarlo a supuestos de normalidad, lo cual describe mejor el comportamiento real de los mercados, sin embargo, al ser un método que considera todos

los datos con la misma importancia, se puede sobreestimar o subestimar los movimientos de los activos en diferentes etapas del periodo de análisis. La siguiente metodología analizada fue el VaR mediante varianzas y covarianzas o Delta Normal, el cual realiza análisis del riesgo desde una perspectiva de correlaciones y volatilidad, la facilidad de cálculo representa una gran ventaja para los administradores de riesgos, por lo que la aplicación práctica puede ser de fácil implementación, sin embargo, el modelo asume normalidad en la distribución de los retornos por lo que puede alejarse del comportamiento real de los activos y de esta forma subestimar el cálculo del VaR, adicionalmente el método no se recomienda con activos con un comportamiento dinámico como las opciones, ya que el cambio en el subyacente provoca un cambio en el derivado, esto rompe el supuesto de normalidad en el que se basa la metodología, a pesar de esto, la medida es muy útil cuando el portafolio de activos analizados tiene un comportamiento estable. Asimismo, dentro del capítulo dos, se analizó la metodología Monte Carlo donde se valúan múltiples escenarios de los activos y se realiza el cálculo de pérdidas y ganancias en base a los escenarios calculados, este método permite mucha mayor flexibilidad en los supuestos de distribución, por lo que representa en mejor medida a activos dinámicos como las opciones, futuros y otros derivados, adicionalmente, para portafolios con activos de diversas clases también se adecua con mejor precisión, sin embargo, al ser un método que requiere de muchas simulaciones, el poder computacional así como el tiempo de cálculo puede llegar a ser prohibitivo para los administradores de riesgo, en la práctica financiera, este método es de difícil implementación, es por ellos que muchos administradores de riesgo se decantan por otros métodos.



Adicionalmente, en la última parte del presente trabajo, se describieron algunos de las metodologías alternativas para el cálculo de riesgo de mercado, dichos métodos están enfocados en paliar las debilidades de los tres principales métodos, por ejemplo, los modelos ARMA-GARCH nos permiten analizar el riesgo en situaciones de mayor volatilidad y utilizarlos en portafolios grandes, adaptando técnicas econométricas al cálculo del riesgo, sin embargo, es importante tener en cuenta la complejidad al usar dichos modelos, los cuales dificultan la adopción para los administradores de riesgo. Asimismo, se describieron los modelos EWMA los cuales permiten incorporar los cambios de volatilidad en el análisis de simulación histórica, estos modelos son convenientes ya que permiten ajustar el riesgo ante las variaciones de los factores de riesgo, por lo que los escenarios estiman el riesgo de manera más adecuada a los mercados. De manera similar, expusimos otras metodologías que, aunque menos implementadas, intentan ahondar diferentes aspectos de la administración de riesgos, como la teoría de los valores extremos o el cálculo del CVaR que analiza los flujos de efectivo de una compañía en lugar de los movimientos de los activos de un portafolio.

Ahora bien, no se puede concluir que exista una metodología que sea mejor que las demás, la correcta medición del riesgo va a estar determinada por diversos factores, como pueden ser, la cantidad de activos del portafolio, la diversificación de dichos activos, los sectores en los que se encuentran, el mercado en el que se comercian, el número de activos que componen el portafolio, los recursos con los que se cuenta para realizar el cálculo, entre otros factores. Como recomendaciones generales, es necesario identificar el

tipo de activos que componen el portafolio, en caso de ser activos individuales, a que mercado pertenecen, deuda, capital o derivados, asimismo, es necesario especificar el horizonte temporal mediante el cual se realizará el análisis y evaluar el comportamiento de los mercados en dicho horizonte, en condiciones normales y con portafolios de baja volatilidad el método delta normal presenta resultados que representan de manera adecuada el nivel de riesgo incurrido, para portafolios con instrumentos de mayor complejidad y en mercados donde el horizonte temporal represente de manera adecuada el comportamiento de los mismo, se recomienda el uso de la metodología de simulación histórica, ya que permite analizar instrumentos con comportamientos dinámicos y volátiles, inclusive se puede adaptar el modelo para representar con mayor ponderación a los eventos recientes mediante el uso de un modelo con EWMA. Ahora, si no contamos con restricciones computacionales ni de tiempo, el modelo de Montecarlo es una opción adecuada ya que permite el análisis de un portafolio complejo y que toma en cuenta los diversos escenarios a los cuales puede estar expuesto los activos del portafolio, instrumentos más volátiles como los SWAPS u opciones, pueden verse beneficiados por este análisis al tomar en cuenta los diferentes factores que los componen y la volatilidad a la que están expuestos.

Finalmente, debemos de tener en cuenta que la administración de riesgos es parte fundamental para la gestión de inversiones, sin una correcta medición del riesgo, el mercado financiero está expuesto a la volatilidad implícita de los mismos y por ende a sufrir crisis severas como la historia lo ha demostrado. Es por ello que es necesario saber el nivel de riesgo al cual se está expuesto y tomar decisiones óptimas para los diferentes

perfiles de inversión. Por otra parte es necesario tener la herramientas teóricas para estar mejor preparados y enfrentar de manera óptima situaciones extremas en los mercados y poder reaccionar de manera eficiente ante estos eventos. La correcta medición del riesgo no solo optimiza el retorno esperado sino que permite a los inversionistas cubrirse de la mejor manera posible ante situaciones extremas en los mercados.

## Bibliografía

Aswath, D. (2007). Value at Risk.

Banco de México. (2002). Definiciones Básicas de Riesgo.

Berendsohn, M. Z. (2003). Medición de Riesgos Financieros en Sistemas Financieros Menos Desarrollados . In M. Z. Berendsohn, Medición de Riesgo, Valor en Riesgo, Correlaciones, Opciones Financieras, Capital Propio . Lima.

Boudoukh, J., Richardson, M., & Whitelaw, R. (1998). The Best of Both Worlds. Risk .

Calomiris, C., & Gorton , G. (1991). The Origins of Banking Panics: Models, Facts, and Bank Regulation. In G. Hubbard, Financial Markets and Financial Crises (pp. 109-174). University of Chicago Press.

Devlin, K. (2008). The Unfinished Game: Pascal, Fermat, and the Seventeenth-Century Letter that Made the World Modern. Basic Books .

Flood, M. D. (2012). A brief history of financial risk and information . In M. Flood, Handbook of Financial Data and Risk Information . Cambridge University Press .

Glasserman , P., Heidelberger, P., & Shahabuddin, P. (2000). Efficient Monte Carlo Methods for Value at Risk.

Glasserman, P. (2001). The Quest for Precision Through Value-at-Risk. In J. Pickford, Mastering Risk, Vol. I: Concepts (pp. 109-114). Londres: Prentice Hall.

Holton, G. (Julio de 2002). History of Value At Risk: 1922-1998. Contingency Analysis .

Hull , J., & White , A. (1998). Incorporating Volatility Updating Into The Historical Simulation Method for Value at Risk. Journal of Risk .

Hull, J. (2012). Options, Futures and Other Derivatives. Toronto: Prentice Hall.

Lauricella , T., & Mckay, P. (7 de Mayo de 2010). Dow Takes a Harrowing 1,010.14-Point Trip. Retrieved 2015 from The Wall Street Journal: <http://www.wsj.com/articles/SB10001424052748704370704575227754131412596>

Li , H., Fan, X., Li , Y., Zhou, Y., Jin , Z., & Liu, Z. (2012). Approaches to VaR.

Lowenstein, R. (2001). When Genius Failed: The Ruse and Fall of Long-Term Capital Management. Random House.

Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection . The Journal of Finance .

Minneapolis, F. R. (Agosto de 1988). Born of a Panic: Forming the Fed System.

Obstfeld , M., & Taylor , A. (2004). Global Capital Markets: Integration, crisis and growth.

Pedraja , R., & Rodríguez, P. (2000). Modelo Estocástico Wiener Gauss: una Aplicación a la Economía Financiera en el Mercado de Capitales de España. Revista Facultad de Ingeniería .

Salinas, J. J. (2009). Metodologías de Medición de Riesgo de Mercado. Innovar , 19 (34).

Sylla, R. (2005). The Origins of the New York Stock Exchange . In W. G. Rouwenhorst, The Origins of Value: The Financial Innovations that Created Modern Capital Markets (pp. 299-312). Oxford University Press.

Tucker, A. (29 de Octubre de 2008). The Financial Panic of 1907: Running form history. From Smithsonian.com: <http://www.smithsonianmag.com/history/the-financial-panic-of-1907-running-from-history-82176328/?no-ist>

Woo, W., Jeffrey , S., & Schwab, K. (2000). The Asian Financial Crisis: Lessons for a Resilient Asia.